



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**TEMA:**

---

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DEL BANCO DE  
RESISTENCIAS Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA EN EL  
HORNO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA INEDYC”**

---

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**AUTOR:** Juan Carlos Castillo Vásconez

**TUTOR:** Ing. Marco Jurado M.Sc.

Ambato - Ecuador

Junio - 2012

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el tema: “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DEL BANCO DE RESISTENCIAS Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA EN EL HORNO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA INEDYC”, del señor Juan Carlos Castillo Vásconez, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los tramites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Junio 13, 2012

EL TUTOR

-----  
Ing. Marco Jurado M.Sc.

## **AUTORÍA**

El presente trabajo de investigación titulado: “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DEL BANCO DE RESISTENCIAS Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA EN EL HORNO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA INEDYC”. Es absolutamente original, autentico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato Junio 13, 2012

-----  
Juan Carlos Castillo Vásquez

CC: 180447933-3

## **APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA**

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes: Ing. Oswaldo Paredes M.Sc., Ing. Mario García e Ing. Juan Pablo Pallo, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DEL BANCO DE RESISTENCIAS Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA EN EL HORNO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA INEDYC”, presentado por el señor Juan Carlos Castillo Vásquez, de acuerdo al Art. 18 del Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad técnica de Ambato.

.....

Ing. Oswaldo Paredes M.Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

.....

Ing. Mario García

**DOCENTE CALIFICADOR**

.....

Ing. Juan Pablo Pallo

**DOCENTE CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

A mi familia que han depositado su confianza en mí, en especial a mis padres Sixto y Laura a mis hermanos Marco y Erika quienes me guiaron con verdaderos valores y me han dado el apoyo en todos los ámbitos académicos y personales.

A todas las personas que han formado parte de mis estudios y del desarrollo del proyecto, aquellos quienes depositaron su confianza en mí, impulsando mi superación personal y profesional.

***Juan***

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento sincero a cada uno de los miembros del personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, por impartir sus conocimientos y experiencias, en lo académica y en lo personal, durante el periodo de aprendizaje.

De la misma manera agradezco a las personas que fueron parte del desarrollo del presente trabajo, así mismo al personal de la empresa INEDYC por las facilidades que me dieron para el desarrollo del proyecto.

***Juan***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>APROBACIÓN DEL TUTOR</i> .....	<i>ii</i>
<i>AUTORÍA</i> .....	<i>iii</i>
<i>APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA</i> .....	<i>iv</i>
<i>DEDICATORIA</i> .....	<i>v</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	<i>vi</i>
<i>ÍNDICE DE CONTENIDOS</i> .....	<i>vii</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	<i>xiii</i>
<i>RESUMEN EJECUTIVO</i> .....	<i>xvii</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	<i>xviii</i>
<i>CAPÍTULO I</i> .....	<i>1</i>
<i>EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i> .....	<i>1</i>
1.1. TEMA .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2.1. Contextualización .....	1
1.2.2. Análisis Crítico del Problema .....	2
1.2.3. Prognosis .....	3
1.2.4. Formulación del Problema .....	3
1.2.5. Preguntas Directrices .....	3
1.2.6. Delimitación Del Problema .....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4. OBJETIVOS .....	5
1.4.1. Objetivo General .....	5
1.4.2. Objetivos Específicos .....	5
<i>CAPÍTULO II</i> .....	<i>6</i>
<i>MARCO TEÓRICO</i> .....	<i>6</i>

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	6
2.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	6
2.3. GRÁFICAS DE INCLUSIÓN DE LAS CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	7
2.4. CATEGORÍASFUNDAMENTALES .....	8
2.4.1. Hornos Industriales.....	8
2.4.1.1. Definición.....	8
2.4.1.2. Tipos de Hornos .....	9
a) Hornos de Reverbero .....	9
b) Hornos Rotativos .....	10
c) Hornos de Crisoles .....	11
d) Hornos de Inducción Eléctrica.....	11
e) Hornos de Arco Eléctrico.....	12
f) Hornos de Resistencia Eléctrica. ....	13
g) Hornos a Láser .....	14
h) Hornos Por Haz de Electrones.....	14
2.4.2. Electrónica .....	14
2.4.2.1 Definición.....	14
2.4.3. Sistemas Electrónicos de Control Industrial.....	15
2.4.3.1 Sistemas de Control Automático.....	15
2.4.3.2. Tipos de Sistemas de Control.....	16
a) Sistema de Control de Lazo Abierto .....	16
b) Sistema de Control de Lazo Cerrado .....	17
c) Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo) .....	18
2.4.4. Lazo de Corriente de 4–20 mA.....	21
2.4.4.1. Definición.....	21
2.4.4.2. Componentes de Lazo de Corriente de 4-20 mA .....	22
2.4.4.3. Estándar de Norma de Lazo de Corriente 4-20 mA. ....	23
2.4.4.4. Transmisor de 4-20 mA.....	24
2.4.4.5. Receptor de 4-20 mA. ....	25
2.4.5. Pirómetro .....	26



2.4.5.1. Definición.....	26
2.4.6. Controlador de temperatura .....	27
2.4.7. Sensor De Temperatura .....	27
2.4.7.1. Concepto De Temperatura.....	27
2.4.7.2. Escala de Temperatura .....	28
a) Celsius (Centígrados).....	28
b) Fahrenheit .....	28
2.4.7.3. Tipos de termómetros .....	29
a) Termómetro de vidrio .....	29
b) Termómetro Bimetálico .....	30
c) Termómetro de Bulbo o Capilar.....	30
d) Termómetros de Resistencia .....	31
e) Termistores .....	35
f) Termopares .....	37
2.4.8. Tiristor .....	37
2.4.8.1. Triac.....	38
2.4.8.2. Optoacopladores.....	39
a) Tipos De Optoacopladores.....	41
2.4.9. Resistencia Eléctrica.....	43
2.4.9.1. Características de la Resistencias .....	43
2.4.9.2. Código de Colores .....	44
2.4.9.3. Tipos de Resistencias .....	44
a) Bobinadas.....	45
b) Aglomeradas .....	45
c) Película de Carbono .....	45
d) Pirolíticas .....	45
2.4.9.4. Asociación de Resistencias en Circuitos .....	45
a) Acoplamiento Serie.....	46
b) Acoplamiento Paralelo.....	46
c) Acoplamientos Mixtos .....	46
2.4.9.5. Ley De Ohm .....	47

2.4.10. Microcontroladores.....	48
2.4.10.1. Definición.....	48
2.4.10.2. Características de los Microcontroladores .....	48
2.4.11. Visual Estudio 2010.....	50
2.4.11.1. Visual C#.....	51
2.5. HIPÓTESIS.....	51
2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	51
2.6.1. Variable Dependiente .....	51
2.6.2. Variable Independiente .....	51
<b><i>CAPÍTULO III.....</i></b>	<b><i>52</i></b>
<b><i>METODOLOGÍA.....</i></b>	<b><i>52</i></b>
3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....	52
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	53
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	53
3.6. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	54
3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	54
<b><i>CAPÍTULO IV.....</i></b>	<b><i>55</i></b>
<b><i>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</i></b>	<b><i>55</i></b>
4.1. Encuesta .....	55
<b><i>CAPÍTULO V.....</i></b>	<b><i>62</i></b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i></b>	<b><i>62</i></b>
5.1. CONCLUSIONES .....	62
5.2. RECOMENDACIONES .....	63
<b><i>CAPÍTULO VI.....</i></b>	<b><i>64</i></b>
<b><i>PROPUESTA .....</i></b>	<b><i>64</i></b>
6.1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	64
6.2. JUSTIFICACIÓN .....	64

6.3. OBJETIVOS .....	65
6.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	65
6.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	65
6.4. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	66
6.5. FUNDAMENTACIÓN .....	67
6.5.1. Diagrama de bloques general del sistema electrónico de control.....	67
6.5.2. Microcontrolador PIC18F4550.....	68
6.5.2.1. Introducción.....	68
6.5.2.2. Distribución de pines.....	68
6.5.2.3. Configuración del oscilador .....	69
6.5.2.4. RESET .....	71
a) Master Clear Reset (MCLR) .....	73
6.5.2.5. Puertos de Entrada/Salida.....	73
6.5.2.6. Configuración del módulo CCP (Capture/Compare/PWM) .....	74
a) Modo PWM.....	75
6.5.2.7. Configuración Modulo Conversor A/D.....	76
6.5.3. OPTOTRIAC MOC3010.....	77
6.5.3.1. Configuración de PINES .....	78
6.5.4. Controlador de temperatura BTC-8100.....	78
6.5.4.1. Características eléctricas .....	79
6.5.4.2. Señales de entrada .....	79
6.5.4.3. Salida 1 / Salida 2.....	79
6.5.4.4. Retransmisión Análoga .....	80
6.5.4.5. Interfaz de usuario .....	80
6.5.4.6. Modos de control.....	80
6.5.4.7. Diagrama de conexión del controlador de temperatura.....	81
6.5.5. Microchips bootloader .....	82
6.5.6. Winpic800.....	85
6.5.7. Eagle 5.11 .....	85
6.5.8. PIC C Compiler .....	87
6.5.9. Controlador PID.....	88

6.6. METODOLOGÍA .....	90
6.7. MODELO OPERATIVO .....	91
6.7.1. Etapas del diseño .....	91
a) Diagrama esquemático del circuito de control .....	91
b) Desarrollo del hardware .....	93
b.1) Fuente de alimentación lineal de 5V .....	93
b.2) Etapa de entrada del sensor .....	94
b.3) Etapa de alarma de emergencia.....	95
b.4) Diseño de la etapa de potencia .....	97
c) Desarrollo del Software.....	99
c.1) Diseño del Software de Configuración en C# .....	99
c.2) Funcionamiento interno del software .....	102
c.3) Programación de la ventana principal .....	102
d) Software del PIC18F4550 .....	105
e) Diagrama esquemático .....	110
f) Diagrama de circuito impreso .....	112
g) Configuración del controlador de temperatura.....	113
h) Implementación.....	116
6.8. ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA .....	120
6.8.1. Datos técnicos del sistema electrónico de control .....	120
a) Manual de operación del software de configuración .....	121
b) Mantenimiento del sistema de control .....	124
6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN .....	124
6.10. PRESUPUESTO .....	125
6.11. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	126
6.12. CONCLUSIONES .....	128
6.13. RECOMENDACIONES .....	128
6.14. BIBLIOGRAFÍA.....	129
6.15. ANEXOS.....	133
6.14. GLOSARIO.....	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Inclusión de la Variable Independiente. ....	7
Figura 2. 2. Inclusión de la Variable Dependiente.....	7
Figura 2. 3. Horno de Reverbero.....	10
Figura 2. 4. Horno Rotativo .....	11
Figura 2. 5. Horno de Arco Eléctrico .....	12
Figura 2. 6. Horno Eléctrico de Resistencia.....	13
Figura 2. 7. Diagrama de bloques de un sistema abierto con control directo .....	16
Figura 2. 8. Diagrama de bloques de sistema abierto con control de transductor. 16	
Figura 2. 9. Diagrama de bloques de un sistema cerrado.....	18
Figura 2. 10. Sistema por controlador PID .....	19
Figura 2. 11. Sistema de Control Realimentado .....	20
Figura 2. 12. Componentes de un lazo de corriente.....	22
Figura 2. 13. Lazo de corriente tipo 2 .....	24
Figura 2. 14. Lazo de corriente tipo 3 .....	25
Figura 2. 15. Lazo de corriente tipo 4 .....	25
Figura 2. 16. Termómetro de vidrio .....	29
Figura 2. 17. Termómetro bimetalico .....	30
Figura 2. 18. Termómetro de bulbo .....	31
Figura 2. 19. Curvas de resistencia relativa .....	33
Figura 2. 20. Tipos de sondas de termómetros de resistencia.....	34
Figura 2. 21. Relación temperatura y resistencia del termistor.....	35
Figura 2. 22. Estabilidad de los termistores .....	36
Figura 2. 23. Termopar.....	37
Figura 2. 24. Símbolo del tiristor .....	38
Figura 2. 25. a) Estructura interna del triac b) Símbolo del triac.....	39
Figura 2. 26. Dispositivo optoacoplador .....	40
Figura 2. 27. Esquema constructivo de un optoacoplador. ....	40
Figura 2. 28. Diagrama de un fototransistor .....	41
Figura 2. 29. Curvas de funcionamiento del fototransistor.....	42
Figura 2. 30. Símbolo del optotriac.....	42

Figura 2. 31. Símbolo del optotriac con paso por cero .....	43
Figura 2. 32. Código de colores de las Resistencia.....	44
Figura 2. 33. Acoplamiento Mixto de Resistencias .....	47
Figura 2. 34. Resistores de Alta Potencia .....	47
Figura 4. 1. Resultados de la pregunta #1 de la encuesta.....	56
Figura 4. 2. Resultados de la pregunta #2 de la encuesta.....	57
Figura 4. 3. Resultados de la Pregunta #3 de la encuesta. ....	58
Figura 4. 4. Resultados de la pregunta #4 de la encuesta.....	59
Figura 4. 5. Resultados de la pregunta #5 de la encuesta.....	60
Figura 4. 6. Resultado de la pregunta #6 de la encuesta .....	61
Figura 6. 1. Diagrama de bloques del sistema de control .....	67
Figura 6. 2. Configuración de pines del PIC18F4550.....	69
Figura 6. 3. Conexión del oscilador de cristal/cerámicos resonantes .....	70
Figura 6. 4. Diagrama interno de las funciones de Reset del PIC 18F4550 .....	72
Figura 6. 5. Circuito de conexión del MCLR .....	73
Figura 6. 6. Diagrama del puerto de I/O del PIC 18F4550 .....	74
Figura 6. 7. Diagrama reducido del módulo PWM.....	75
Figura 6. 8. Salida de PWM.....	76
Figura 6. 9. Diagrama del convertor A/D .....	77
Figura 6. 10. Configuración de pines del MOC3010 .....	78
Figura 6. 11. Controlador de temperatura BTC-8100.....	79
Figura 6. 12. Diagrama conexión del controlador de temperatura BTC-8100.....	81
Figura 6. 13. Dirección del archivo para programar el Pic .....	84
Figura 6. 14. Ventana principal del PICDEM FS USB.....	84
Figura 6. 15. Ventana principal del winpic800 .....	85
Figura 6. 16. Ventana principal de EAGLE 5.11.....	86
Figura 6. 17. Ventana para el diseño esquemático de EAGLE 5.11.....	86
Figura 6. 18. Ventana de Ruteo de Eagle 5.11 .....	87
Figura 6. 19. Ventana principal de PIC C Compiler y la creación de un nuevo proyecto.....	88
Figura 6. 20. Respuesta de salida ante una entrada escalón.....	90

Figura 6. 21. Diagrama esquemático del sistema electrónico de control.....	92
Figura 6. 22. Fuente de alimentación .....	93
Figura 6. 23. Conexión de la resistencia al lazo de corriente del controlador de temperatura.....	94
Figura 6. 24. Circuito de control de alarma .....	96
Figura 6. 25. Circuito de cruce por cero.....	97
Figura 6. 26. Circuito aislador.....	99
Figura 6. 27. Diseño del Software de configuración en C# .....	101
Figura 6. 28. Diagrama de flujo de la interfaz (1/3).....	103
Figura 6. 29. Diagrama de flujo de la interfaz (2/3).....	104
Figura 6. 30. Diagrama de flujo de la interfaz (3/3).....	105
Figura 6. 31. Diagrama de flujo del microcontrolador (1/4).....	106
Figura 6. 32. Diagrama de flujo del microcontrolador (2/4).....	107
Figura 6. 33. Diagrama de flujo del microcontrolador (3/4).....	108
Figura 6. 34. Diagrama de flujo del microcontrolador (4/4).....	109
Figura 6. 35. Circuito del sistema electrónico de control .....	111
Figura 6. 36. Circuito Impreso .....	112
Figura 6. 37. Distribución de los elementos en la placa.....	113
Figura 6. 38. Proceso corroído y perforación de la baquelita .....	117
Figura 6. 39. Proceso de soldadura de los elementos (anverso).....	117
Figura 6. 40. Proceso de soldadura de los elementos (reverso) .....	118
Figura 6. 41. Aspecto final (interior) .....	118
Figura 6. 42. Aspecto Final (Parte Frontal).....	119
Figura 6. 43. Funcionamiento del sistema electrónico de control (frente).....	119
Figura 6. 44. Funcionamiento del sistema electrónico de control (interior) .....	120
Figura 6. 45. Ventana principal del software de configuración .....	122
Figura 6. 46. Ventana de Configuración del PIC .....	122
Figura 6. 47. Ventana de Lectura y monitoreo del PIC .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Características de sondas de resistencias. ....	34
Tabla 6. 1. Tipos de osciladores.....	70
Tabla 6. 2. Valores de los resonantes cerámicos y capacitores para los diferentes modos de operación.....	71
Tabla 6. 3. Valores de los osciladores de cristal y capacitores para los diferentes modos de operación.....	71
Tabla 6. 4. Configuración de los módulos Capture/Compare/PWM .....	75
Tabla 6. 5. Configuración del controlador de temperatura BTC-8100 .....	116
Tabla 6. 6. Presupuesto del proyecto .....	126
Tabla 6. 7. Ingreso económico de la empresa .....	126
Tabla 6. 8. Egresos económicos de la Empresa .....	127



## **RESUMEN EJECUTIVO**

El propósito del presente proyecto está enfocado a mejorar el control del banco de resistencias en el horno industrial de la empresa INEDYC, así como, la seguridad, producción y disminuir el índice de mantenimientos realizados.

En el primer capítulo se describe el problema que existe en la empresa INEDYC por el frecuente mantenimiento al banco de resistencias del horno industrial y las pérdidas económicas que este genera a la empresa, así mismo se detalla los objetivos planteados para su investigación, sustentando así el motivo para plantear el tema de investigación.

Basado en la información descrita en el primer capítulo, el segundo contiene información de proyectos relacionados al presente, reglamentos que rigen al proyecto, información relacionada al desarrollo del tema de investigación, esto dentro de las categorías fundamentales, permitiendo de esa manera el planteamiento de la hipótesis.

En el tercer capítulo, se detalla la metodología que se utilizó en la investigación, los indicadores involucrados en el proceso de recabar información técnica necesaria para el desarrollo de la propuesta.

En el capítulo cuatro se describe el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la encuesta. La información obtenida en esta, sirve para determinar los requerimientos necesarios para el desarrollo de la propuesta y para documentar el entorno de implementación. La información obtenida durante los capítulos permitirá determinar las conclusiones y recomendaciones de la investigación hacia la propuesta.

El capítulo seis contiene el desarrollo de la propuesta, requerimientos para la implementación, información técnica de los dispositivos utilizados, la metodología y el desarrollo de la propuesta.

## INTRODUCCIÓN

El documento expuesto a continuación, describe la utilización de los microcontroladores en sistemas de controles industriales, el sistema de control electrónico está orientado a mejorar el control del banco de resistencias en el horno industrial de la empresa INEDYC; con el propósito de mejorar la estabilidad del horno, y reducir costos en los mantenimientos del horno.

Los sistemas de control electrónico son conjuntos de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, y siendo gobernados por microcontroladores, dichos dispositivos son confiables, robustos, compatibles y sus diseños son para trabajar en condiciones ambientales extremas.

En la actualidad todo equipo electrónico dispone de uno o varios microcontroladores, estos son computadores digitales integrados en un chip que cuenta con un microprocesador o unidad central de proceso (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada/salida, su funcionamiento está determinado por el programa almacenado en su memoria, el mismo que puede escribir en distintos lenguajes de programación, estos pueden ser reagrados n veces, y por su alta flexibilidad son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas, sistemas complejos entre otros.

Los sistemas electrónicos que utilizan dispositivos que contengan como base en su funcionamiento a un microcontrolador, son sistemas que se utilizan para el control de cualquier mecanismo de un planta industrial, el cual presenta una parte actuadora, por la confiabilidad que presentan estos.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. TEMA**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DEL BANCO DE RESISTENCIAS Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA EN EL HORNO INDUSTRIAL EN LA EMPRESA INEDYC”**

#### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1. Contextualización**

En la actualidad, en la mayoría de los países el uso de sistemas electrónicos de control para bancos de resistencias son utilizados en diferentes aplicaciones, estas pueden ser: sistemas de calefacción, hornos eléctricos, etc.

Muchas empresas a nivel mundial han optado por utilizar estos sistemas de generación de calor, por los beneficios que brindan, tales como: la implementación, el mantenimiento, y el rendimiento de los hornos industriales, generando a las empresas proveedoras de materiales eléctricos, empresas de diseño de control eléctrico- electrónico un negocio rentable en diseñar, desarrollar e implementar sistemas electrónicos de control para bancos de resistencias.

En el país existe gran cantidad de empresas que han implementado diferentes sistemas de generación de calor siendo estas: eléctricos, gas, diesel. La mayoría de estos pueden tener varios sistemas de generación acoplados, de forma que no se puede detener la producción.

El uso de este tipo de sistemas en diferentes aplicaciones que brindan los hornos eléctricos industriales de resistencia son: hornos de fundición de diferentes metales, máquinas para moldear, calefacción, etc.

Debido al incremento en la utilización de los hornos eléctricos, ha dado la oportunidad de trabajo a diferentes empresas que se dedican al diseño, construcción e implementación de estos sistemas.

Analizando específicamente en la ciudad de Ambato el crecimiento de la industria en los diferentes campos ha brindado oportunidades de trabajo para empresas que desarrollan sistemas electrónicos de control.

Uno de los principales sectores donde se están implementando hornos eléctricos de resistencia es el sector panificador y en un menor porcentaje son utilizados en fábricas para la fundición de metales, sistemas de calefacción entre otros.

Esto ha permitido que muchas empresas que desarrollan automatización industrial puedan diseñar sistemas electrónicos de control para hornos industriales.

La empresa INEDYC ha incursionado en el campo de la investigación para el desarrollo de los sistemas electrónicos de control para hornos industriales, en la ciudad de Ambato con el objetivo de que las industrias de la región central del país, utilicen tecnología de punto para la elaboración de sus productos, contribuyendo así de manera significativa para el desarrollo socioeconómico del país.

### **1.2.2. Análisis Crítico del Problema**

El daño frecuente de los hornos y en especial los bancos de resistencias, provoca que la empresa detenga la producción de manera que se vea afectado por pérdidas económicas y demora en la entrega de los productos e incluso con la imagen de la empresa.

La falta de sensores y/o dispositivos de control adecuados y sistemas de supervisión de errores, forja a no disponer de datos que indique el lugar y/o dispositivo dañado, lo que genera la demora en la reparación del horno e incluso el daño de los dispositivos, obteniendo productos de mala calidad o en si la perdida de la materia prima, lo que implica serias pérdidas económicas a la empresa, y constituye un peligro para el personal técnico que trabaja cerca a los hornos industriales.

El sistema de control implementado que se lo utiliza actualmente, mediante el uso de contactores, hace que el control de potencia disipada por el banco de resistencias sea pobre, con lo cual, la temperatura del horno no sea el adecuado por las variaciones abruptas existentes, los cuales hacen que los productos no sean de buena calidad y sus dispositivos resistivos sean inmunes a dañarse.

### **1.2.3. Prognosis**

Si no se implementa un sistema electrónico para controlar adecuadamente la disipación de potencia del banco de resistencias para mantener una temperatura estable en el horno, la temperatura subiría o bajaría abruptamente constituyéndose en un peligro para el personal, el daño frecuente del horno y productos de mala calidad, afectando directamente en la imagen de la empresa y ocasionando pérdidas económicas considerables, llevando al cierre de la empresa.

### **1.2.4. Formulación del Problema**

¿La falta de un sistema electrónico para el control del banco de resistencias no permite mantener estable la potencia durante el funcionamiento del horno industrial en la empresa INEDYC?

### **1.2.5. Preguntas Directrices**

- ¿Cuál es el sistema de control adecuado para bancos de resistencias que se puedan implementar en hornos eléctricos?

- ¿Qué características técnicas y físicas del lugar se debe tener en consideración para el diseño del sistema de control?
- ¿Qué características debe tener un sistema electrónico de control en la empresa INEDYC?

### **1.2.6. Delimitación Del Problema**

**Campo:** Electrónica-Eléctrica

**Área:** Electrónica Analógica

**Aspecto:** Control de temperatura de un Horno Eléctrico de resistencia

**Delimitación Espacial:** Esta investigación se realizará en la ciudad de Ambato en la empresa INEDYC.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto pretende minimizar los diferentes conflictos provocados con el actual sistema de control utilizado, el cual representa a las empresas excesivas pérdidas económicas por el frecuente daño del horno industrial.

Algunas empresas actualmente han optado por utilizar hornos de resistencia eléctrica, y su objetivo es buscar alternativas de sistemas electrónicos para el adecuado control de potencia y estabilizar la temperatura dentro de un rango y evitar el daño frecuente de los dispositivos.

El objetivo del diseño e implementación del presente proyecto es poner en práctica lo aprendido en las aulas, y de la misma manera aprender el trabajo de estos dispositivos y sistemas en la vida real de una fábrica.

Con la implementación del proyecto en mención, se obtendrán mayores utilidades, tanto para la empresa que lo implemente, como para el consumidor final, por otro lado se pretende tener una mayor vida útil de los

equipos y del sistema en general, el cual ayudará a mejorar el rendimiento en la planta de producción.

Se busca que el proyecto implementado de las seguridades necesarias y un garantice un funcionamiento adecuado, con el cual se pretende obtener un rendimiento muy alto de la planta y brindar un lugar seguro de trabajo al personal, con la finalidad que otras empresas obtén por este sistema electrónico de control para hornos de resistencia eléctrica.

Se ha visto la necesidad de desarrollar un proyecto que sea accesible para las empresas que deseen implementar el cual debe tener una alta confiabilidad y rentabilidad.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Implementar un sistema electrónico para el control del banco de resistencias y estabilización de potencia en el funcionamiento de hornos industriales de fundición en la empresa INEDYC.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la situación actual del sistema de control eléctrico empleado en los hornos industriales.
- Realizar un estudio sobre los sistemas de control electrónico que se puedan utilizar en la estabilización de potencia en los hornos de fundición de la empresa INEDYC.
- Diseñar un sistema alternativo de control mediante el uso de banco de resistencias que permita estabilizar la potencia en los hornos de fundición en la empresa INEDYC.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

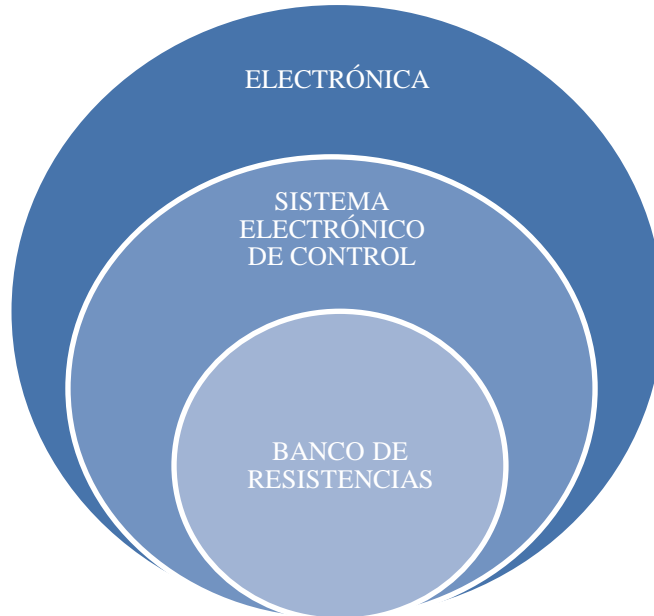
Una vez indagado los diferentes proyectos de tesis existentes en la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial se llegó a la conclusión que ninguno de ellos son parecidos.

#### **2.2. FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

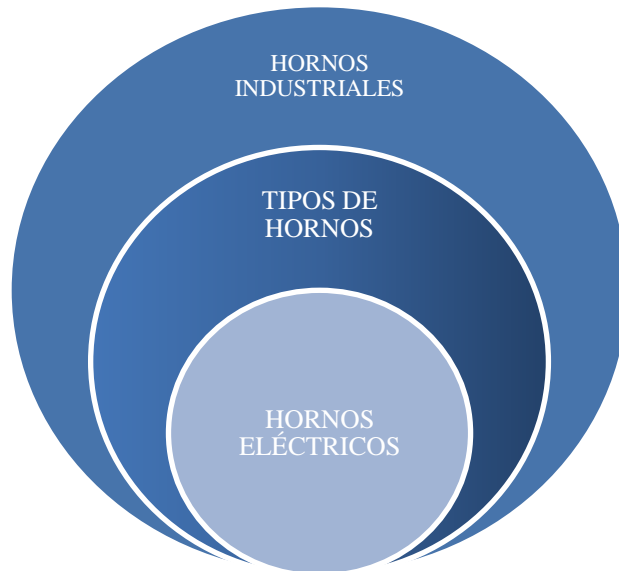
Esta investigación se basó en las políticas y regulaciones para el diseño e implementación de este tipo de sistema electrónico que se estipula en los reglamentos de la empresa, en los reglamentos y normas establecidas por organismos del estado y organismos internacionales de estandarización y en los reglamentos de la UTA como requisito previo para la graduación como Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.



### 2.3. GRÁFICAS DE INCLUSIÓN DE LAS CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



*Figura 2. 1. Inclusión de la Variable Independiente.  
Elaborado por el investigador*



*Figura 2. 2. Inclusión de la Variable Dependiente  
Elaborado por el investigador*

## **2.4. CATEGORÍASFUNDAMENTALES**

### **2.4.1. Hornos Industriales**

#### **2.4.1.1. Definición<sup>1</sup>**

Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimiento cerrado denominado caldera. Utilizado en la industria metalúrgica, para realizar tratamientos térmicos sobre los materiales, obteniendo propiedades mecánicas y micro estructuras deseadas para algún uso particular (mediante el agregado de aleantes y/o el método de enfriado).

Estos son utilizados principalmente para:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades.
- Recubrir las piezas con otros elementos.
- Arcas de recocer en la industria del vidrio.
- Incineradores, equipos destinados a la combustión y/o eliminación de residuos.

La energía calorífica requerida para el calentamiento de los hornos puede proceder de:

- Gases calientes producidos en la ignición de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.
- Energía eléctrica en diversas formas.
- Arco voltaico de corriente alterna o continua.

---

<sup>1</sup> <http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>

- Inducción electromagnética.
- Alta frecuencia en forma de dielectricidad o microondas.
- Resistencia óhmica directa de las piezas.
- Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor.

#### **2.4.1.2. Tipos de Hornos**

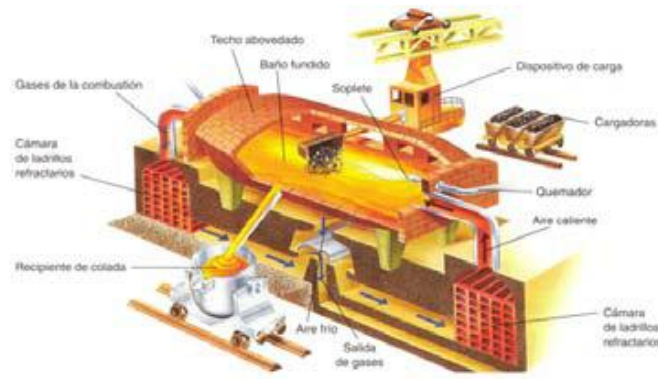
##### **a) Hornos de Reverbero<sup>2</sup>**

Los hornos de reverbero son de poca altura y gran longitud como se muestra en la figura 2.3. En uno de los extremos se encuentra el hogar donde se quema el combustible, y en el extremo opuesto la chimenea. Las llamas y productos de la combustión atraviesan el horno y son dirigidos, por la bóveda de forma adecuada hacia la solera del horno, donde está situada la carga del metal que se desea fundir. Esta carga se calienta, no solo por su contacto con las llamas y gases calientes sino también por el calor de radiación de la bóveda del horno de reverbero.

Los hornos de reverbero se utilizan para la fundición de piezas de grandes dimensiones, tanto de metales férreos como de metales no férreos, como cobre latón, bronce y aluminio.

---

<sup>2</sup> <http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>



**Figura 2. 3. Horno de Reverbero**

**Fuente:** <http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>

### **b) Hornos Rotativos<sup>3</sup>**

Los hornos rotativos se han considerado como hornos de reverbero perfeccionados, ya que además de calentarse la carga por el contacto de las llamas y gases y por la radiación de la bóveda caliente, se calienta también por el contacto directo con la parte superior del horno, que al girar queda bajo la carga. Con esto se consigue un notable acortamiento del tiempo de fusión, pues se logra evitar el efecto aislante de la capa de escorias, que flota sobre el baño, que en los hornos de reverbero ordinarios dificulta el calentamiento de la masa del metal.

Los hornos rotativos están formados por una envoltura cilíndrica de acero, de eje sensiblemente horizontal, que termina con dos troncos de cono, uno en cada extremo como se puede observar en la figura 2.4.

---

<sup>3</sup> <http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>



**Figura 2. 4. Horno Rotativo**

**Fuente:** <http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>

### **c) Hornos de Crisoles<sup>4</sup>**

Los crisoles son recipientes de arcilla mezclada con grafito y otras sustancias, provistos de tapa para cierre hermético, que una vez cargados y cerrados se caldean en los denominados hornos de crisoles, utilizando como combustible carbón o, más modernamente, gasoil.

La fusión en crisoles es uno de los procedimientos más antiguos y sencillos para elaborar metales, y todavía se emplea, y probablemente se empleara siempre por la economía de su instalación, sobre todo para fundir pequeñas cantidades.

### **d) Hornos de Inducción Eléctrica**

Este tipo de hornos establecen corrientes parásitas en la muestra a través de un campo magnético variable generalmente inducido por una bobina exterior en medios cerrados o abiertos. Las corrientes al circular por el material, el cual posee una resistencia dada, producen calentamiento en forma volumétrica por el denominado efecto Joule. Con estos hornos se puede focalizar el lugar donde se produce el calentamiento, teniendo la ventaja de producir materiales de alta pureza o crecimiento de grano controlado.

---

<sup>4</sup> <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

### e) Hornos de Arco Eléctrico<sup>5</sup>

En este tipo de hornos se introduce una corriente eléctrica en la muestra a través de su superficie, provista por un electrodo no consumible adecuadamente elegido. El principio de funcionamiento es similar al de las soldadoras T.I.G. El crisol debe ser seleccionado de tal forma que sea conductor eléctrico, resista las condiciones de trabajo y no reaccione químicamente con el material a fundir.

Estos hornos están formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario, los electrodos suelen ser de grafito o de carbón amorfo. Los electrodos de carbón amorfo se forman en el mismo horno, llenando las camisas que llevan los porta electrodos de una mezcla formada por antracita, cok metalúrgico, cok de petróleo y grafito amasados con alquitrán. En la figura 2.5 podemos observar el horno de arco eléctrico.



*Figura 2. 5. Horno de Arco Eléctrico*

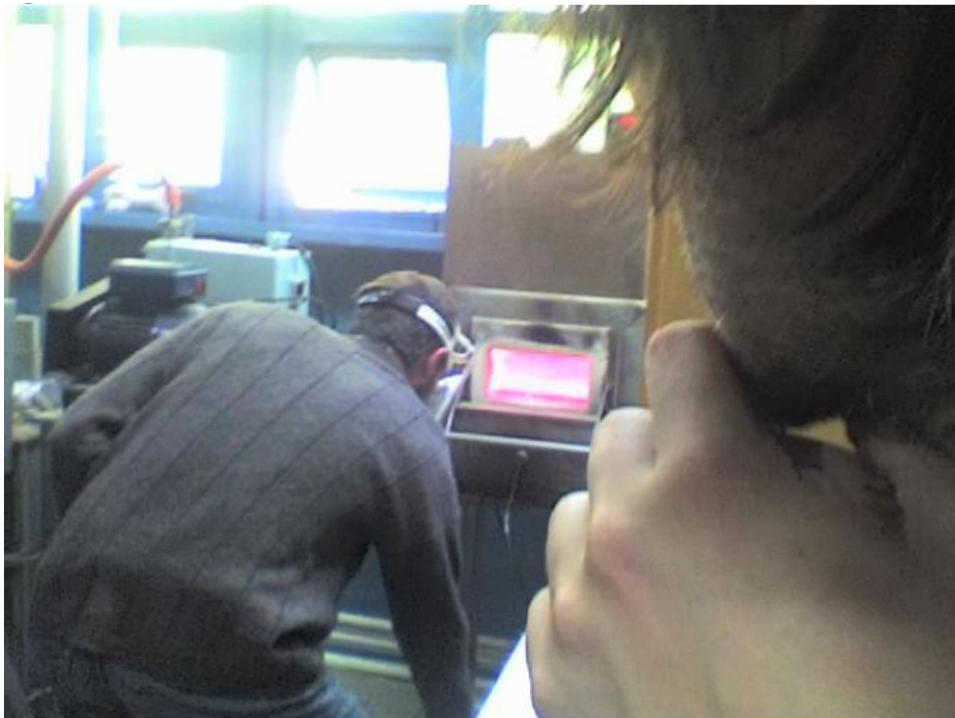
*Fuente:* <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

---

<sup>5</sup> <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

**f) Hornos de Resistencia Eléctrica.<sup>6</sup>**

Esta clase de hornos produce la elevación de temperatura de un ambiente en donde se introduce el material a fundir. Tal elevación de temperatura es realizada por el paso de altas densidades de corriente eléctrica a través de una resistencia elegida para tal fin. El calor llega desde la resistencia al material a través de radiación y convección. Se debe aislar adecuadamente el ambiente de calentamiento para no perder eficiencia calorífica. La mayoría de estos hornos suelen llegar hasta los 1100 °C. En un horno de este tipo fue donde se realizó el calentamiento de las probetas para realizar con ellas, las comparaciones de los distintos métodos de endurecimiento. La figura 2.6. Nos muestra un horno eléctrico de resistencia.



*Figura 2. 6. Horno Eléctrico de Resistencia*

*Fuente:* <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

---

<sup>6</sup> <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

### **g) Hornos a Láser**

Los hornos láser, como su nombre lo indica, hacen incidir uno o varios haces láser en la superficie del material a fundir, con lo que se eleva la temperatura del mismo hasta la condición deseada. Las configuraciones son diversas, pero en general se trabaja con atmósfera controlada de gases inertes o vacío. Tiene la gran ventaja de ser altamente preciso en la focalización del calentamiento producido y las altas temperaturas logradas.

### **h) Hornos Por Haz de Electrones<sup>7</sup>**

Este horno trabaja con condiciones similares al horno láser, con la diferencia que en este caso se hacen incidir electrones sobre la superficie de la muestra, lo cual permite mayor penetración y permite derretir mayor volumen de material. Este tipo de hornos funden en atmósfera de vacío dado el bajo camino libre medio de los electrones en pequeñas presiones absolutas de gas.

## **2.4.2. Electrónica<sup>8</sup>**

### **2.4.2.1 Definición**

La electrónica es el campo de la ingeniería y de la física aplicada que estudia el diseño de circuitos que permiten generar, modificar o tratar una señal eléctrica. En otras palabras, dichos circuitos se encargan de generar, procesar, transmitir, recibir y/o almacenar información, esto puede ser en forma de sonidos, imágenes, datos, etc.

Los circuitos electrónicos pueden clasificarse en análogos y digitales, según se trate de circuitos que permiten el tratamiento de una señal análoga o digital. Una señal es analógica cuando puede tomar cualquier valor en el tiempo dentro de un rango permitido, y es digital multivaluada cuando varía

---

<sup>7</sup> <http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

<sup>8</sup> *ELECTRÓNICA Y ELECTRICIDAD*, Julio Olmo Escribano, Ed. Oxford, 2005



en el tiempo a intervalos concretos. Sin embargo, cuando únicamente puede tener dos valores, uno máximo y otro mínimo, se denomina digital binaria.

El funcionamiento de cualquier circuito electrónico solo puede explicarse a partir del conocimiento de la tipología, los parámetros y las características de cada uno de los componentes interconectados que lo integran. Estos se pueden clasificar en dos grupos: componentes pasivos y componentes activos. Tanto unos como otros se fabrican por lo general normalizados, es decir, con parámetros o valores característicos.

Los componentes electrónicos pasivos no generan ni amplifican por sí mismo señales eléctricas. Se comportan como cargas o receptores que pueden atenuar, compensar o ajustar una señal eléctrica en un circuito. Los componentes pasivos más habituales son las resistencias, condensadores y bobinas o inductancias.

Por su parte, los componentes electrónicos activos pueden generar, modificar y amplificar el valor de una señal eléctrica. Se les considera como componentes activos a las baterías, diodos, generadores y transistores.

### **2.4.3. Sistemas Electrónicos de Control Industrial**

#### **2.4.3.1 Sistemas de Control Automático<sup>9</sup>**

Un sistema automático de control es un conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir sin intervención de agentes exteriores (incluido el factor humano), corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento.

Actualmente, cualquier mecanismo, sistema o planta industrial presenta una parte actuadora, que corresponde al sistema físico que realiza la acción, y

---

<sup>9</sup> *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*, Antonio Creus Solé 6ta Edición, Ed. Alfaomega Grupo Editor S.A., 1998.

otra parte de mando o control, que genera las órdenes necesarias para que esa acción se lleve o no se lleve a cabo.

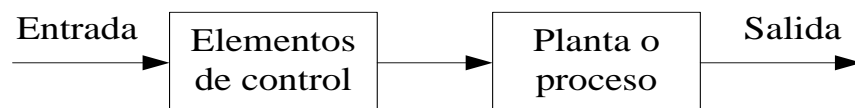
### 2.4.3.2. Tipos de Sistemas de Control

Los sistemas de regulación se pueden clasificar en: Sistemas de bucle o lazo abierto y Sistemas de bucle o lazo cerrado.

#### a) Sistema de Control de Lazo Abierto<sup>10</sup>

Un sistema de control en lazo o bucle abierto es aquél en el que la señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La exactitud de estos sistemas depende de su calibración, de manera que al calibrar se establece una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. En la figura 2.7 se puede observar el diagrama de un sistema abierto.

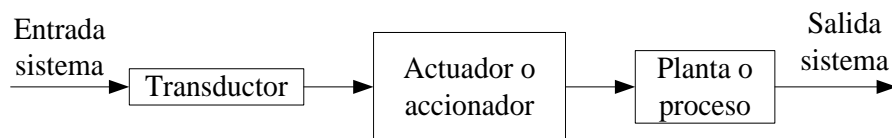
El diagrama de bloque de un sistema en lazo abierto es:



*Figura 2. 7. Diagrama de bloques de un sistema abierto con control directo*

*Elaborado por el investigador*

El sistema se controla bien directamente, o bien mediante un transductor y un actuador. El esquema típico del sistema se indica en la figura 2.8, en este caso:



*Figura 2. 8. Diagrama de bloques de un sistema abierto con control de transductor.*

*Elaborado por el investigador*

<sup>10</sup> INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, Antonio Creus Solé 6ta Edición, Ed. Alfaomega Grupo Editor S.A., 1998.

## b) Sistema de Control de Lazo Cerrado<sup>11</sup>

Si en un sistema en lazo abierto existen perturbaciones, no se obtiene siempre la variable de salida deseada. Conviene, por tanto, utilizar un sistema en el que haya una relación entre la salida y la entrada.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquél en el que la acción de control es, en cierto modo, dependiente de la salida. La señal de salida influye en la entrada. Para esto es necesario que la entrada sea modificada en cada instante en función de la salida. Esto se consigue por medio de lo que llamamos realimentación o retroalimentación (feedback).

La realimentación es la propiedad de un sistema en lazo cerrado por la cual la salida (o cualquier otra variable del sistema que esté controlada) se compara con la entrada del sistema (o una de sus entradas), de manera que la acción de control se establezca como una función de ambas.

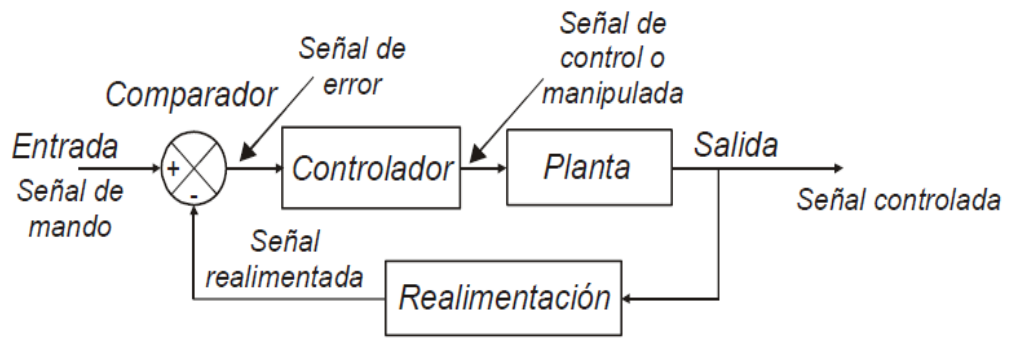
A veces también se le llama a la realimentación transductor de la señal de salida, ya que miden cada instante el valor de la señal de salida y proporciona un valor proporcional a dicha señal.

Por lo tanto podemos definir también los sistemas de control en lazo cerrado como aquellos sistemas en los que existe una realimentación de la señal de salida, de manera que ésta ejerce un efecto sobre la acción de control. Como podemos visualizar en la figura 2.9.

El diagrama de bloques correspondiente a un sistema de control en lazo cerrado es:

---

<sup>11</sup> INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, Antonio Creus Solé 6ta Edición, Ed. Alfaomega Grupo Editor S.A., 1998.



*Figura 2. 9. Diagrama de bloques de un sistema cerrado.*

*Elaborado por el investigador*

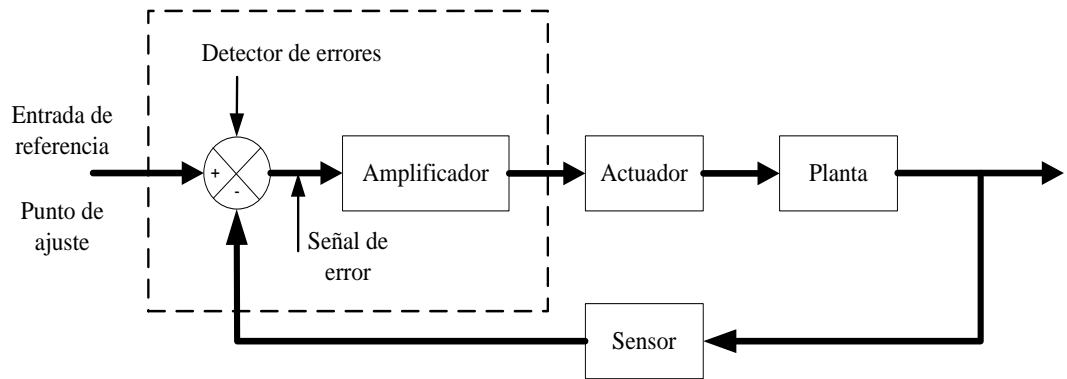
### c) **Controlador PID (Proporcional Integral Derivativo)**<sup>12</sup>

Un controlador es un bloque electrónico encargado de controlar uno o más procesos. Al principio los controladores estaban formados exclusivamente por componentes discretos, conforme la tecnología fue desarrollándose se emplearon procesadores rodeados de memorias, circuitos de entrada y salida. Actualmente los controladores integran todos los dispositivos mencionados en circuitos integrados que conocemos con el nombre de microcontroladores.

Los controladores son los instrumentos diseñados para detectar y corregir los errores producidos al comparar y computar el valor de referencia o “Set point”, con el valor medido del parámetro más importante a controlar en un proceso. En la figura 2.10 podemos observar un sistema por controlador PID.

---

<sup>12</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.*



*Figura 2. 10. Sistema por controlador PID  
Elaborado por el investigador*

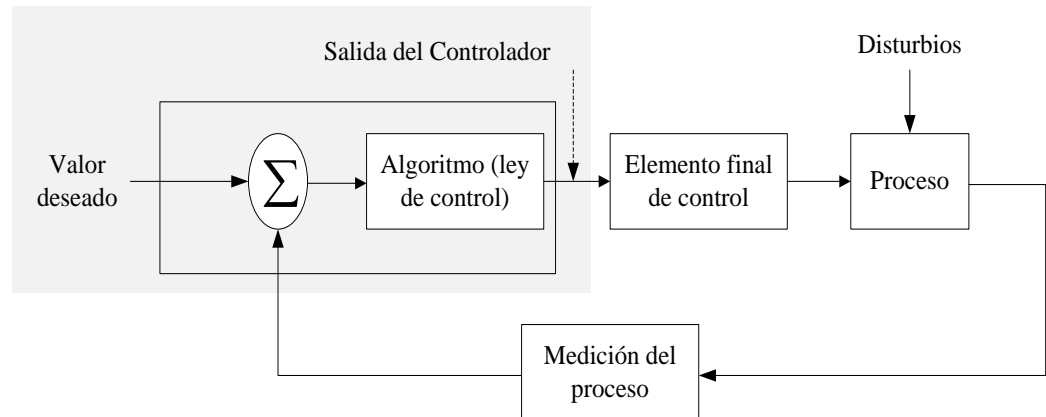
La actuación puede ser de forma clásica de acuerdo al tamaño y tiempo de duración del error, así como la razón de cambio existente entre ambos o aplicando sistemas expertos a través de la lógica difusa y redes neuronales.

Cada proceso tiene una dinámica propia, única, que lo diferencia de todos los demás; es como la personalidad, la huella digital de cada persona, como su ADN... Por lo tanto, cuando en un Lazo de Control sintonizamos los algoritmos P (Proporcional), I (Integral) y D (Derivativo) de un Controlador, debemos investigar, probar, compenetrarnos con la ‘personalidad’ del proceso que deseamos controlar, debemos medir calibrar y mantener todo tipo de variables de proceso, y sintonizar los parámetros de los algoritmos de control.

Por consiguiente, la sintonización de los parámetros P, I y D debe realizarse en tal forma que calce en la forma más perfecta posible con la dinámica propia del proceso en el cual hemos instalado un lazo de control, sea éste simple o complejo”.

Los conceptos de “Tiempo Muerto”, “Constante de Tiempo”, “Ganancia del Proceso”, “Ganancia Última” y “Período Último”, da la idea de la diferencia entre los procesos, aunque sean del mismo tipo, La figura 2.11 muestra un Lazo de Control en el que se aplica la estrategia de “Control Realimentado”.

Como sabemos, el concepto central de esta estrategia es medir en forma continua el valor de aquella variable del proceso que nos interesa controlar y compararla con el Valor Deseado (“Set Point”) de esa variable que hemos ajustado en el Controlador. Cualquier diferencia entre ambos valores, el medido y el deseado, constituye un “error”, que será utilizado por el controlador.



**Figura 2. 11.** Sistema de Control Realimentado

*Elaborado por el investigador*

El Control Realimentado es la propiedad de un sistema de lazo cerrado que permite que la salida (o cualquier otra variable controlada del sistema) sea comparada con la entrada al sistema (o con una entrada de cualquier componente interno del mismo o con un subsistema) de manera tal que se pueda establecer una acción de control apropiada como función de la diferencia entre la entrada y la salida.

Los controladores pueden ser del tipo: manual, eléctrico, electrónico, neumático o digitales; así como las computadoras con tarjetas de adquisición de datos y los PLC (Controladores Lógicos Programables).

Los modos de controlar procesos PID pueden ser:

- ON/OFF. En este sistema el controlador enciende o apaga la fuente de alimentación de un actuador y es utilizado para el control de una variable, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un pre-destinado nivel de luminosidad.
- Proporcional (P). En este sistema la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no es solamente un nivel pre-destinado sino toda la gama de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos utilizan un sistema proporcional para determinarle valor de actuación del actuador.
- Proporcional derivativo (PD). En este sistema, la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.
- Proporcional integral (PI). Este sistema es similar al anterior, solo que la señal se integra en vez de derivarse.
- Proporcional integral derivativo (PID). Este sistema combina los dos anteriores tipos.
- Redes neuronales. Este sistema modela el proceso de aprendizaje del cerebro humano para aprender a controlar la señal de salida.

#### **2.4.4. Lazo de Corriente de 4–20 mA**

##### **2.4.4.1. Definición<sup>13</sup>**

En un sistema de control de lazo cerrado, se puede determinar que la entrada de este corresponde al valor deseado de la variable que se quiere controlar, ya sea temperatura, nivel de líquido, velocidad, etc. La salida será el actuador que afectara el estado de la variable que se está controlando, y

---

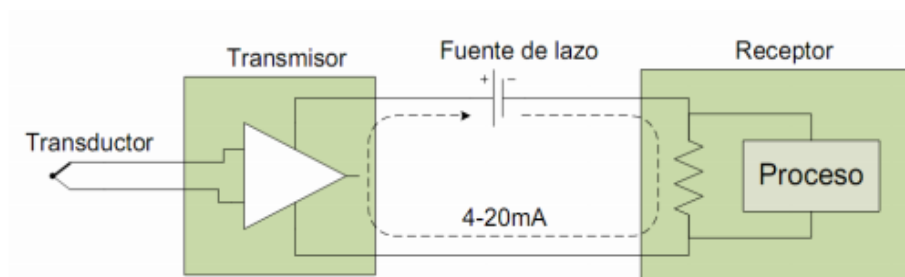
<sup>13</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

como retroalimentación será común encontrar sensores, que tomen el estado actual de la variable a controlar en el sistema.

Las señales analógicas provenientes de estos sensores son susceptibles a ruidos, por lo que no pueden transmitir su señal a distancias remotas a algún controlador, PLC o actuador, esto se resuelve colocando transmisores de lazo de corriente de 4-20 mA.

#### 2.4.4.2. Componentes de Lazo de Corriente de 4-20 mA

Un circuito de lazo de corriente de 4-20mA, consta de por lo menos 4 elementos: un sensor/transductor, un convertidor de voltaje a corriente también llamado transmisor o acondicionador de señal, una fuente de alimentación para el lazo, y un receptor/monitor. Esto podemos apreciar en la figura 2.12.



*Figura 2. 12. Componentes de un lazo de corriente.*

*Elaborado por el investigador*

Los sensores proveen una salida de voltaje cuyo valor representa la variable física que es medida (por ejemplo, un termopar es un tipo de sensor que provee un nivel de voltaje muy bajo a sus salida, que puede ser proporcional a la temperatura a la que es sometida). El transmisor amplifica y acondiciona la salida del sensor, luego convierte el voltaje a un nivel de corriente directa en un rango de 4-20mA, que circula en serie a través de un lazo cerrado. El receptor/monitor, normalmente es una sección o parte de un medidor o



sistema de adquisición de datos, que convierte la corriente entre 4-20mA de regreso a voltaje, el cual podrá ser utilizado en algún proceso posterior.

La salida en el transmisor es de corriente y es proporcional a la variable física censada. Se establece que para un lazo de corriente de 4-20 mA: 4mA será la correspondencia a uno extremos de la variable física sensada y 20mA corresponde al extremo opuesto.

La fuente de alimentación de lazo, generalmente proporciona, cualquier requerimiento de energía tanto al transmisor como al receptor, u algún otro componente del lazo. Una fuente de 24 Volts, llega a ser un valor de voltaje muy utilizado en aplicaciones de monitoreo de 4-20 mA, además que 24 Volts es un voltaje utilizado para la alimentación de otros elementos e instrumentos electromecánicos.

También existe el lazo alimentado por fuentes 12Volts, ya que es un voltaje típico para sistemas en los que se utilizan computadoras.

#### **2.4.4.3. Estándar de Norma de Lazo de Corriente 4-20 mA.<sup>14</sup>**

La norma lazo de corriente de 4-20 mA tiene su origen en “The American National Standards Institute (ANSI)” Y “The Instrumentation Systems, and Automation Society (ISA)”. Estas instituciones cuentan con numerosos documentos referentes a la transmisión de señales, incluyendo la norma 4-20 mA que puede ser obtenida del ANSI/ISA-S50.1-1982(R1992) Compatibility of Analog Signals for Electronic Industrial Process Instruments.

---

<sup>14</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

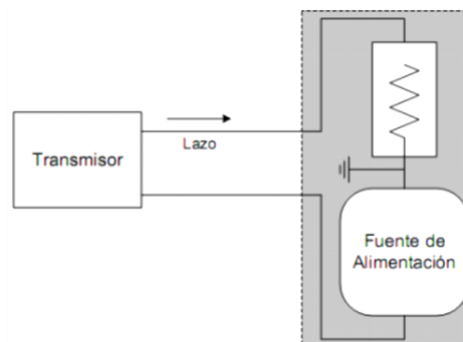
#### 2.4.4.4. Transmisor de 4-20 mA.<sup>15</sup>

Dependiendo de los elementos disponibles para energizar, tanto en el transmisor como en el receptor, será el tipo de clasificación que corresponda al lazo de corriente.

Tipo 2: es un transmisor de 2 hilos, por los que se provee energía y se extrae la corriente proporcional a la variable sensada. Se considera al transmisor como flotante, ya que la fuente de alimentación se encuentra en el receptor así como la señal de tierra. Como podemos visualizar en la figura 2.13.

La fuente de alimentación opera de 5V a 30V y existe un consumo mínimo de 4mA correspondientes al valor inicial de la variable sensada.

El uso de 2 hilos facilita la instalación, pero demanda una electrónica más compleja en el transmisor.



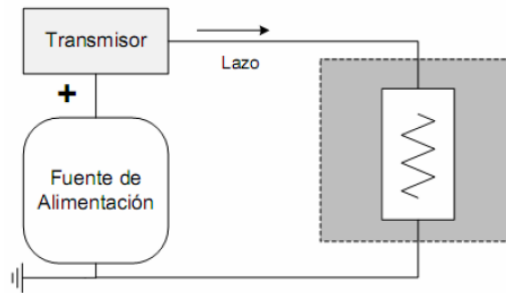
**Figura 2. 13.** Lazo de corriente tipo 2

*Elaborado por el investigador*

Tipo 3: Es un transmisor de 3 hilos, en el que se alimenta al transmisor por un hilo adicional, otro hilo corresponde al lazo de corriente y el tercer hilo es común entre el transmisor, la fuente y el receptor. En este modo se obtiene una electrónica más simple en el transmisor, por el uso de un hilo adicional en las conexiones. Como se puede apreciar en la figura 2.14.

---

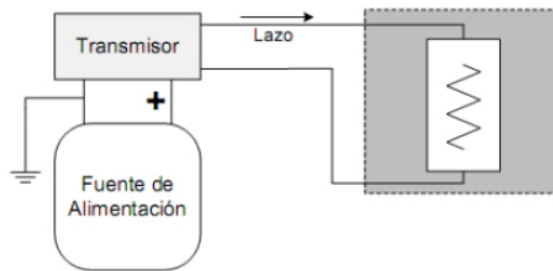
<sup>15</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.



**Figura 2. 14.** Lazo de corriente tipo 3

*Elaborado por el investigador*

Tipo 4: Este transmisor es el resultado de la combinación de los dos anteriores. Se tiene un transmisor alimentado con una fuente de corriente y un receptor con carga flotante. Como podemos observar en la figura 2.15.



**Figura 2. 15.** Lazo de corriente tipo 4

*Elaborado por el investigador*

#### 2.4.4.5. Receptor de 4-20 mA.<sup>16</sup>

La parte receptora del lazo de corriente obtiene el nivel de lazo y lo convierte en algún dato útil, para su posterior utilización en el sistema. Regularmente el receptor convierte el lazo en un equivalente a voltaje y este a su vez pasa por algún convertidor AD, que proporcione el dato digital. En la mayoría de los procesos el receptor suele representar para el lazo una carga resistiva.

<sup>16</sup>ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

## 2.4.5. Pirómetro

### 2.4.5.1. Definición<sup>17</sup>

Se utilizan dos métodos generales para la medición de temperaturas por medio de termocuplas adecuadas. En uno de ellos la termocupla se conecta directamente a un galvanómetro o milivoltímetro, calibrándose el instrumento indicador directamente en grados. Tal disposición se denomina “Pirómetro termoeléctrico”.

En el sistema recién descrito, la magnitud de la corriente termoeléctrica se toma como índice de la temperatura en la cupla.

En el segundo método se utiliza la FEM para indicar la temperatura bajo observación. A fin de medir convenientemente y con precisión la termofem, se recurre al potenciómetro. La termocupla y el potenciómetro asociado a ella constituyen lo que se denomina “Pirómetro potenciometrico”.

Existen termómetro eléctricos, en los que se aprovechan las propiedades que tienen los cuerpos conductores de la electricidad, de variar su resistencia con la temperatura, termómetros ópticos, llamados “Pirómetros ópticos”, que se basan en los cambios de color con las variaciones de temperatura.

Los pirómetros son instrumentos que sirven para medir o supervisar temperaturas altas o muy altas, comprendidas en el rango que va de los 680 a 4500°K (407 a 3727°C aproximadamente).

Su principio de funcionamiento está basado en las leyes del cuerpo negro y la radiación de energía que emite el cuerpo a medir. Un radiador standart es un cuerpo negro, el cual es definido como un cuerpo que absorbe toda la energía radiada que le llega.

---

<sup>17</sup>[http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C07.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C07.pdf)

## **2.4.6. Controlador de temperatura<sup>18</sup>**

El comportamiento de un circuito de control depende de las características de cada uno de los elementos, los cuales son múltiples y variados, entre ellos tenemos uno de vital importancia: El controlador.

El controlador es un dispositivo que mide el comportamiento del circuito de control, compara el valor de la variable con el punto de ajuste y realiza la acción correctiva correspondiente al error. La habilidad de un controlador para producir un buen control depende de cómo se acoplen sus características con las del proceso.

## **2.4.7. Sensor De Temperatura<sup>19</sup>**

### **2.4.7.1. Concepto De Temperatura**

La temperatura es la cantidad de calor expresada en grados que contiene un cuerpo, siendo el calor una de las formas de presentarse la energía.

La temperatura es una de las variables de mayor importancia en los procesos industriales. Por medio de ella se dan numerosos procesos químicos en los cuales predominan la energía calorífica como agente catalizador o simplemente, como agente modificador de algunas propiedades físicas de gases y líquidos.

La forma más común de transferir calor a un cuerpo para que aumente la temperatura, es ponerlo en contacto con otros cuerpos que se encuentran a un nivel superior de calor. Esto produce un aumento en la temperatura y, en consecuencia se obtiene cambios en todas las propiedades físicas del mismo, como pueden ser:

---

<sup>18</sup> <http://www.criba.edu.ar/cribabb/servicios/secelec/mycdetemp.htm>

<sup>19</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistor)
- F.E.M (Fuerza Electromotriz) creada en la unión de dos metales distintos (termopares)
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetro de radiación)
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal...)

#### **2.4.7.2. Escala de Temperatura**

Existen varias escalas de temperaturas conocidas, las principales se detallan a continuación.

##### **a) Celsius (Centígrados)**

Generalmente se usa en los países donde se ha adoptado el sistema métrico decimal. Esta escala fue introducida en el año 1743 por CELSIUS DE UPSALA (Suecia). En ella se ha marcado con cero grados el punto de hielo puro y con 100 grados el punto de ebullición del agua destilada, con una presión de una atmosfera (760mm de mercurio). Se designa esta escala con la letra "C".

##### **b) Fahrenheit**

Esta escala se identifica con la letra "F" y se diferencia de la escala en grados centígrados solamente por su graduación. En su construcción se ha marcado el punto de fusión del hielo con 32° en lugar de 0°C y el punto de ebullición del agua con 212°, en vez de 100°C. El cero de esta escala es la

temperatura que se obtiene al mezclar pesos iguales de cloruro de amonio y nieve. Cuando Fahrenheit introdujo esta escala eligió este punto cero porque pensó que representaba la temperatura más baja que se podría lograr en el laboratorio.

### 2.4.7.3. Tipos de termómetros

#### a) Termómetro de vidrio

El termómetro de vidrio consta de un dispositivo de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar. En la figura 2.16 podemos observar el termómetro de vidrio.

Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son:

Mercurio. . . . .	– 35 hasta + 280°C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas) –	35 hasta + 450°C
Pentano . . . . .	– 200 hasta + 20°C
Alcohol . . . . .	– 110 hasta + 50°C
Tolueno . . . . .	– 70 hasta + 100°C

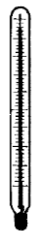


Figura 2. 16. Termómetro de vidrio<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

## b) Termómetro Bimetálico

Los termómetros bimetálicos se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar (35,5 %) laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices. Como se indica en la figura 2.17.

Un termómetro bimetálico típico contiene pocas partes móviles, solo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico. La precisión del instrumento es de  $\pm 1\%$  y su campo de medida es de  $-200$  a  $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

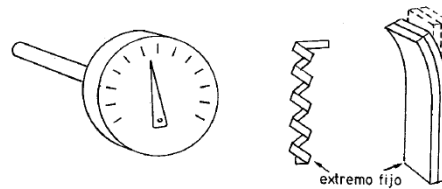


Figura 2. 17. Termómetro bimetálico<sup>21</sup>

## c) Termómetro de Bulbo o Capilar

Los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo

Existen 4 clases de este tipo de termómetros:

Clase I: Termómetros actuados por líquido

Clase II: Termómetros actuados por vapor

---

<sup>21</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.



Clase III: termómetros actuados por gas

Clase IV: termómetros actuados por mercurio

Los termómetros actuados por líquido tienen el sistema de medición lleno de líquido y como su dilatación es proporcional a la temperatura, la escala de medición resulta uniforme. El volumen del líquido depende principalmente de la temperatura del bulbo, de la del capilar y de la del elemento de medición (temperatura ambiente). Por lo tanto, para capilares cortos hasta 5 m, solo hay que compensar el elemento de medición para evitar errores debido a variaciones de la temperatura ambiente (clase IB). Para capilares más largos hay que compensar también el volumen del tubo capilar (clase IA). Los líquidos que se utilizan son: alcohol y etc.

En la siguiente figura 2.18 podemos ver el termómetro de bulbo:

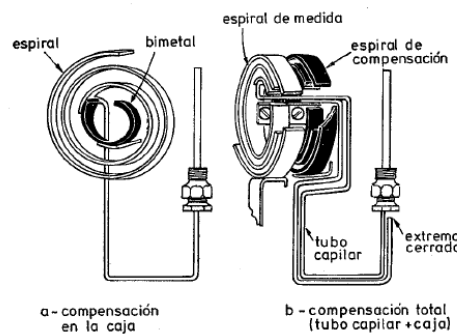


Figura 2. 18. Termómetro de bulbo<sup>22</sup>

El campo de medición de estos instrumentos varía entre 150 hasta 500 °C, dependiendo del tipo de líquido que se emplee.

#### d) Termómetros de Resistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencias depende de las características de resistencias en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

<sup>22</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado <coeficiente de temperatura de resistencia> que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la siguiente expresión (Ecuación 1):

$$R_t = R_o(1 + \alpha t) \text{ (Ec. 1)}$$

donde:

$R_o$  =resistencia en ohmios a 0 °C

$R_t$  =Resistencia en ohmios a t °C

$\alpha$  = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor está entre 0° y 100 °C es de  $0,003850 \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  de acuerdo a la escala practica de temperatura internacional (IPTS-68).

Si la relación resistencia-temperatura no es lineal la ecuación general pasa a:

$$R_t = R_o[1 + A \cdot t + Bt^2 + C \cdot (t - 100) \cdot t^3] \text{ valido -200 a 0 } ^\circ\text{C} \text{ (Ec. 2)}$$

o bien

$$R_t = R_o \cdot (1 + At + Bt^2) \text{ valida 0 a 850 } ^\circ\text{C} \text{ (Ec. 3)}$$

donde:

$$A = 3.90802 \times 10^{-3}$$

$$B = -5.802 \times 10^{-7}$$

$$A = -4.27350 \times 10^{-12}$$

En la figura 2.19 se puede observar las curvas de resistencia relativa deben poseer las siguientes características:

- Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, ya que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
- Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad)
- Relación lineal resistencia-temperatura.
- Rigidez y ductilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).
- Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

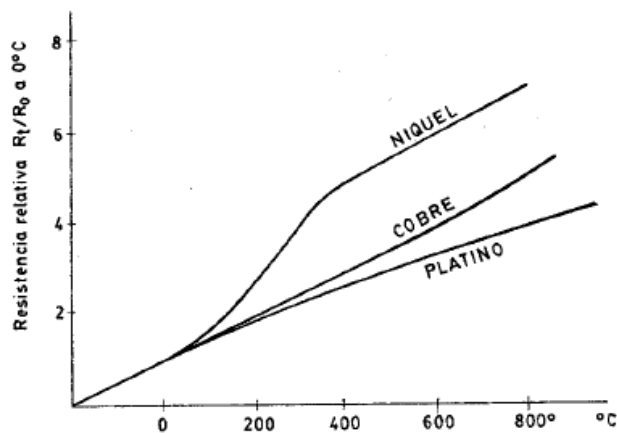


Figura 2. 19. Curvas de resistencia relativa<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

Metal	Resistividad $\mu\Omega/\text{cm}$	Coefficiente temp. $\Omega/\Omega$ , $^{\circ}\text{C}$	Intervalo útil de temp $^{\circ}\text{C}$	$\varnothing$ min de kilo mm	Coste relativo	Resis. Sonda $0^{\circ}\text{C}$ , ohmios	Precisión a $^{\circ}\text{C}$
Platino	9.83	0.00385	-200 a 950	0.05	Alto	25, 100, 130	0.01
Níquel	6.38	0.0063 a 0.0066	-150 a 300	»	Medio	100	0.50
cobre	1.56	0.00425	-200 a 120	»	bajo	10	0.10

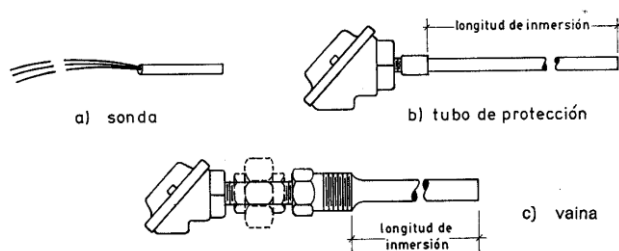
**Tabla 2. 1.** Características de sondas de resistencias.

*Elaborado por el Investigador*

El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y de estabilidad pero presenta el inconveniente de su coste. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios.

El cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable, y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad

Las bobinas que llevan arrolladas el hilo de resistencia están encapsuladas y situadas dentro de un tubo de protección o vaina de material adecuado al fluido del proceso (acero, acero inox. 304, acero inox. 316, hastelloy, monel, etc.). En la figura 2.20 pueden observarse varios tipos de sondas.



**Figura 2. 20.** Tipos de sondas de termómetros de resistencia<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

### e) Termistores

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, por lo general vienen encapsulados.

La relación entre la resistencia del termistor y la temperatura viene dada por la expresión.

$$R_t = R_o e^{\beta \left( \frac{1}{T_t} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

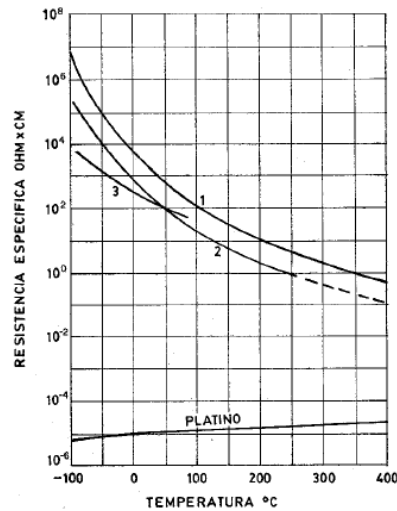


Figura 2. 21. Relación temperatura y resistencia del termistor<sup>25</sup>

$R_t$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta  $T_t$

$R_o$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia  $T_o$

<sup>25</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

$\beta$  = Constante dentro de un intervalo moderado de temperatura

En la figura 2.21 pueden verse las curvas características de dos tipos de materiales de termistores en comparación con el platino.

Hay que señalar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente, tal como se indica en la figura 2.22. Los termistores se conectan a puentes de wheatstone convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencias y permiten incluso intervalos de medida de 1 °C (span). Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de 0.5 a 10 segundos.

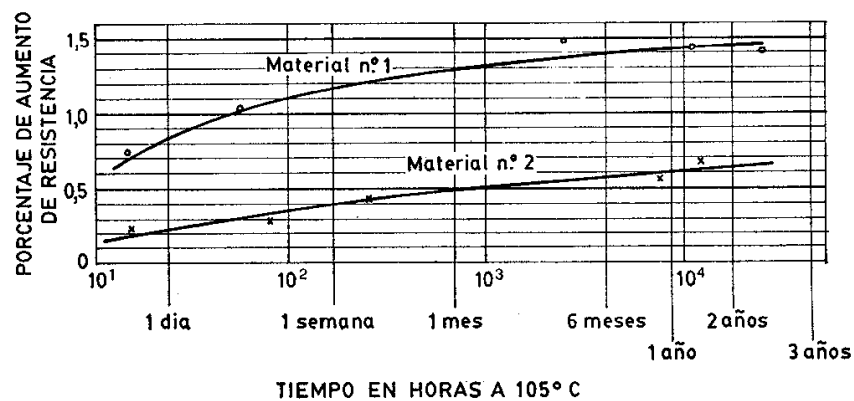


Figura 2. 22. Estabilidad de los termistores<sup>26</sup>

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso.

<sup>26</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición de temperatura diferencial.

#### f) Termopares

El termopar se basa en el efecto descubierto por Seebeck en 1821, de la circulación de una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones (unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura figura 2.23. Esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thomson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperatura.

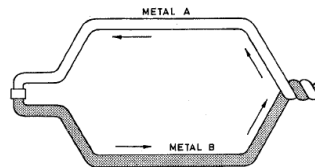


Figura 2. 23. Termopar<sup>27</sup>

#### 2.4.8. Tiristor

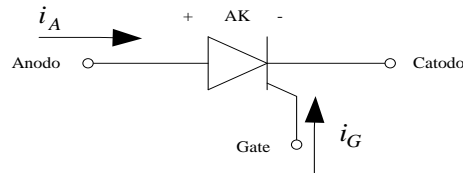
También se los conoce como SCR (rectificadores controlados de silicio), y fueron creados en 1957 por General Electric. Son los dispositivos semiconductores que poseen una mayor capacidad de manejo de potencia.

Como vemos el símbolo de la figura 2.24, el tiristor es como el diodo pero con un nuevo terminal, conocido como gate o puerta, el cual es el terminal mediante el cual podremos controlar la conducción a través del tiristor. Por lo tanto podemos decir que el tiristor es como un diodo en el que circula la

---

<sup>27</sup> Fuente: *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

corriente desde el ánodo hacia el cátodo, pero además de la condición que cumplía el diodo para entrar en conducción (el ánodo tiene que tener un mayor potencial que el cátodo) en el tiristor tendrá que darse una condición mas, y es que la entrada en conducción se deberá confirmar por el terminal gate con un pulso positivo.



**Figura 2. 24.** Símbolo del tiristor  
Elaborado por el investigador

#### 2.4.8.1. Triac<sup>28</sup>

Un triac es un dispositivo de tres terminales utilizado para controlar el valor promedio de la corriente que fluye a una carga. Un triac es diferente a un SCR porque puede conducir corriente en ambos sentidos cuando es llevado a conducción. El símbolo y su configuración interna se muestran en la figura 2.25.

Cuando el triac es bloqueado, no puede fluir corriente entre sus terminales, independiente de la polaridad de la fuente externa aplicada, por lo tanto el triac actúa como un interruptor abierto.

Cuando el triac es llevado a conducción, este presente una resistencia muy baja al paso de la corriente entre sus terminales, en el cual el flujo de corriente depende de la polaridad de la fuente externa. Cuando el voltaje es más positivo en MT2, la corriente fluye de MT2 a MT1 y si el voltaje es más positivo en MT1, la corriente fluye de MT1 a MT2.

<sup>28</sup> *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS*, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.



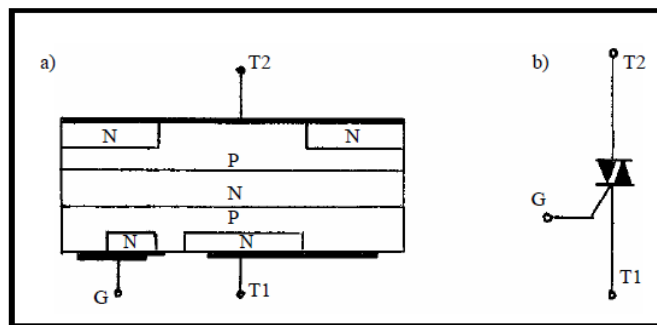


Figura 2. 25. a) Estructura interna del triac b) Símbolo del triac<sup>29</sup>

Un triac no está limitado a 180° de conducción por ciclo. Con el adecuado arreglo de disparo, puede conducir por la totalidad de los 360° por ciclo. Entonces proporciona control de potencia de onda completa en lugar del control de potencia de media onda posible con un SCR.

Los triac tienen las mismas ventajas que tienen los SCR y los transistores sobre los interruptores mecánicos. No tienen el rebote de contacto, no se produce arco en contactos parcialmente abiertos, y pueden operarse mucho más rápido que los interruptores mecánicos, por tanto permiten un control de corriente más preciso.

#### 2.4.8.2. Optoacopladores<sup>30</sup>

Un optoacoplador es un componente formado por la unión de al menos un emisor (diodo LED) y un fotodetector (fototransistor u otro) acoplados a través de un medio conductor de luz, pueden ser encapsulados o de tipo discreto. En la figura 2.26 podemos observar un dispositivo optoacoplador.

<sup>29</sup> ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS, Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.

<sup>30</sup> [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)

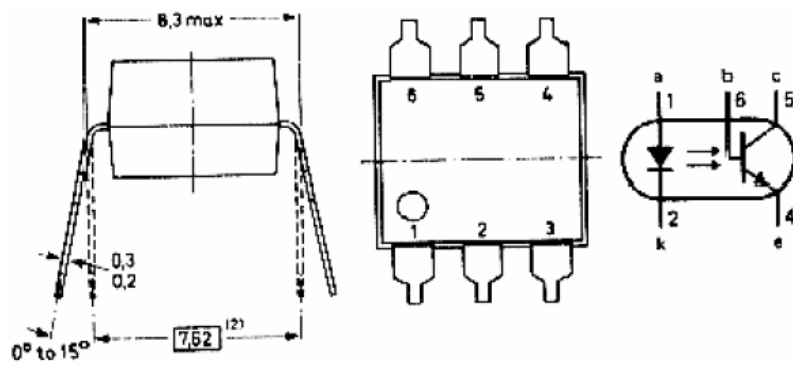


Figura 2. 26. Dispositivo optoacoplador

Fuente: [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)

Cuanta mayor intensidad atraviesa el fotodiodo, mayor será la cantidad de fotones emitidos y, por tanto, mayor será la corriente que recorra el fotoreceptor. Se trata de una manera de transmitir una señal de un circuito eléctrico a otro. Obsérvese que no existe comunicación eléctrica entre los dos circuitos, es decir existe un trasiego de información pero no existe una conexión eléctrica: la conexión es óptica.

Las implementaciones de un optoacoplador son variadas y dependen de la casa que los fabrique. Una de las más populares se ve en la Figura 2.27. Se puede observar como el LED, en la parte superior, emite fotones que, tras atravesar el vidrio, inciden sobre el fotoreceptor.

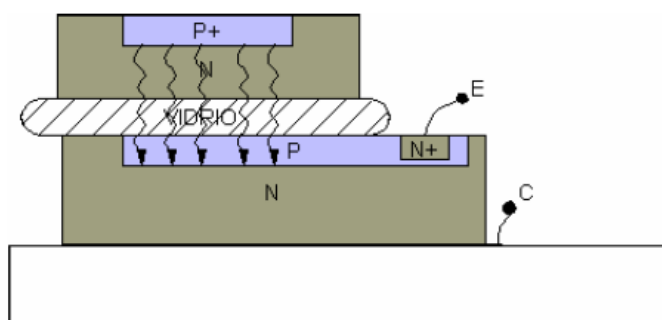


Figura 2. 27. Esquema constructivo de un optoacoplador.

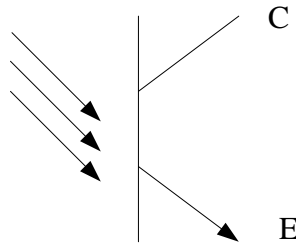
Fuente: [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)

También podemos observar el aislamiento eléctrico entre el fotoreceptor y el diodo led emisor.

## a) Tipos De Optocopladores<sup>31</sup>

### a.1) Fototransistor

Se compone de un optocoplador con una etapa de salida formada por un transistor BJT. Se trata de un transistor bipolar sensible a la luz. Como se puede apreciar en la figura 2.28.



*Figura 2. 28. Diagrama de un fototransistor*

*Fuente: [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)*

La radiación luminosa se hace incidir sobre la unión colector base. En esta unión se generan los pares electrón - hueco, que provocan la corriente eléctrica.

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

Un fototransistor opera, generalmente sin terminal de base ( $I_b=0$ ) aunque en algunos casos hay fototransistores que tienen disponible un terminal de base para trabajar como un transistor normal.

La sensibilidad de un fototransistor es superior a la de un fotodiodo, ya que la pequeña corriente fotogenerada es multiplicada por la ganancia del transistor. Las curvas de funcionamiento de un fototransistor son las que aparecen en la figura 2.29. Como se puede apreciar, son curvas análogas a

---

<sup>31</sup> [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)

las del transistor BJT, sustituyendo la intensidad de base por la potencia luminosa por unidad de área que incide en el fototransistor.

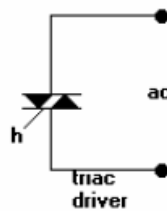


*Figura 2. 29. Curvas de funcionamiento del fototransistor*

*Fuente: [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)*

### a.2) Fototriac

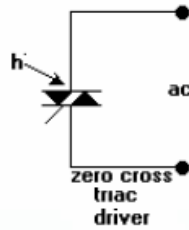
Se compone de un optocoplador con una etapa de salida formada por un triac. En la figura 2.30 podemos observar un optotriac.



*Figura 2. 30. Símbolo del optotriac*

*Fuente: [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)*

También se puede tener fototriac de paso por cero como se puede apreciar en la figura 2.31. Un optocoplador en cuya etapa de salida se encuentra un triac de cruce por cero. El circuito interno de cruce por cero conmuta al triac sólo en los cruces por cero de la corriente alterna.



**Figura 2. 31.** Símbolo del optotriac con paso por cero

*Fuente:* [www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf](http://www.circuitos-electronicos.com/enlaces/componentes/optocopladores.pdf)

### 2.4.9. Resistencia Eléctrica<sup>32</sup>

Cualquier material natural ofrece oposición al paso de la corriente eléctrica a través de ella. Este efecto se llama resistividad. Los materiales conductores presentan una resistividad casi nula, los aislantes no permiten el flujo de corriente y los resistivos presentan cierta resistencia. Las resistencias son componentes eléctricos pasivos en lo que la tensión que se les aplica es proporcional a la intensidad que circula por ellos. La medición en resistencias se hace en ohmios, su símbolo que es este  $\Omega$ .

#### 2.4.9.1. Características de la Resistencias

Todas las resistencias tienen una tolerancia, esto es el margen de valores que rodean el valor nominal y en el que se encuentra el valor real de la resistencia. Su valor viene determinado por un porcentaje que va desde 0.001% hasta 20% el más utilizada es el de 10%. Esta tolerancia viene marcada por un código de colores. Los materiales empleados para la fabricación de las resistencias son muy variados pero los más comunes son aleaciones de cobre, níquel y zinc en diversas proporciones de cada uno lo que hará variar la resistividad.

---

<sup>32</sup> ANÁLISIS BÁSICO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS, D.E. Johnson, J.L. Hilburn y J.R. Johnson. Ed. Prentice Hall.

### 2.4.9.2. Código de Colores

Hay varios tipos de resistencias que vienen determinados por una representación de códigos de colores. Esto se realiza por medio de la estampación de unos anillos de colores en el cuerpo de la resistencia.

Estos anillos son cuatro o cinco y vienen especificados según se muestra en la figura 2.32.

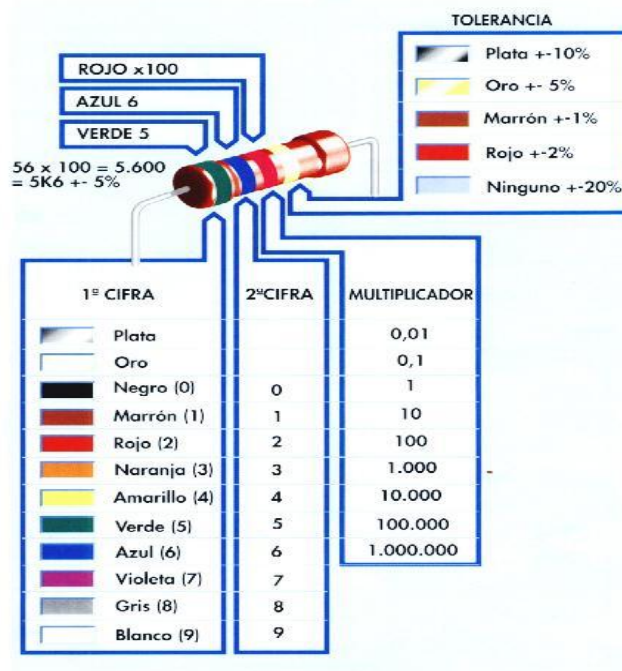


Figura 2. 32. Código de colores de las Resistencia<sup>33</sup>

### 2.4.9.3. Tipos de Resistencias

Hay varios tipos de resistencias pero en definitiva se agrupan en fijas y variables. Las fijas se denominan de esta forma:

<sup>33</sup> Fuente: ANÁLISIS BÁSICO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS, D.E. Johnson, J.L. Hilburn y J.R. Johnson. Ed. Prentice Hall.

**a) Bobinadas**

Suelen venir así para disipar potencia. Se fabrican sobre una base aislante en forma cilíndrica para enrollar un hilo de alta resistividad (wolframio, manganina, constatán). La longitud y sección del hilo darán su resistividad juntamente con la composición de éste. Suelen venir marcadas en la superficie y se utilizan para las grandes potencias pero con el inconveniente de ser inductivas.

**b) Aglomeradas**

Están realizadas de una pasta con granos muy finos de grafito. Estas son de las más utilizadas. Sus valores vienen determinados por el código de colores. Al igual que las bobinadas constan de un hilo enrollado pero se le somete a un proceso de vitrificación a alta temperatura. Es en este barniz donde se marca el código de colores.

**c) Película de Carbono**

Se pone una capa fina de pasta de grafito encima de una base cilíndrica de cerámica. Esta sección y composición determinarán el valor de la resistencia.

**d) Pirolíticas**

Estas son muy parecidas a las anteriores, pero la constitución de esta es con una película de carbón rayada en forma de hélice para ajustar el valor de la resistencia. Por lo general estas son inductivas.

**2.4.9.4. Asociación de Resistencias en Circuitos**

Los circuitos electrónicos se clasifican en circuitos en serie, paralelos y mixtos. Cada uno tiene una característica específica en tensión y corriente.

**a) Acoplamiento Serie**

En un circuito en serie la corriente que circula por todos los elementos del circuito es la misma, esto es lógico, ya que la cantidad de electrones que salen del terminal negativo debe pasar por cada una de las resistencias y este debe ser igual a la cantidad que ingresa por el positivo. Por lo tanto la resistencia que encuentra el flujo de corriente es la suma de todas las resistencias que va encontrando en el camino, es decir:

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \text{ etc.} \quad (\text{Ec. 5})$$

**b) Acoplamiento Paralelo**

En el acoplamiento de resistencias en paralelo, las resistencias no están una seguida de la otra sino que están una al lado de la otra, entonces tenemos que ambos extremos de la resistencia están conectados a los dos extremos de la resistencia vecina, por lo tanto cuando la corriente llegue a uno de estos puntos tendrá dos caminos dividiéndose para pasar por cada una de ellas, esto hace que la resistencia total sea menor, la fórmula nos permite evaluar la resistencia equivalente de dos o más resistencias en paralelo.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (\text{Ec. 6})$$

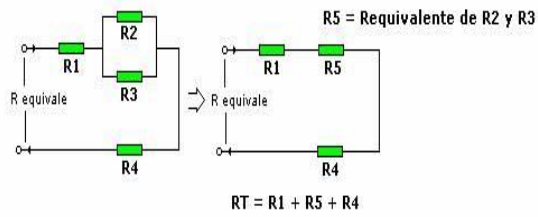
**c) Acoplamientos Mixtos**

La mezcla de conexiones serie y paralelo entre las resistencias de un circuito nos produce un acoplamiento mixto de resistencias.

La solución de estos circuitos se da, resolviendo primero las conexiones en paralelo, lo que nos da como resultado otra resistencia, al remplazar estas dos por su equivalente, nos resulta un acoplamiento de resistencias en serie que ya sabemos cómo resolverlo.

La figura 2.33 se muestra una conexión de este tipo.





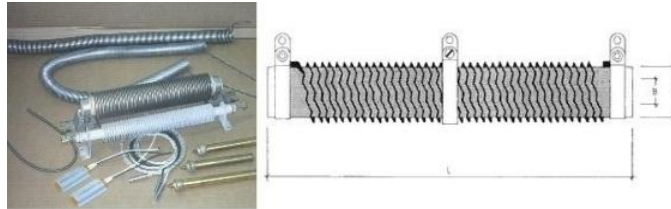
**Figura 2. 33. Acoplamiento Mixto de Resistencias**  
 Elaborado por el investigador

### 2.4.9.5. Ley De Ohm

Se trata de una fórmula fundamental del mundo electrónico que permite relacionar la tensión, la corriente y la resistencia. En la figura 2.34 podemos observar varios tipos de resistores. La ley fue demostrada por Simón Ohm en 1826 y nos indica que la corriente que circula por un conductor es directamente proporcional a la tensión aplicada en sus extremos, e inversamente proporcional a la resistencia del mismo, esto es:

$$V = R \cdot I \quad (\text{Ec. 7})$$

*I = Intensidad, V = Voltaje, R = Resistencia*



**Figura 2. 34. Resistores de Alta Potencia<sup>34</sup>**

<sup>34</sup> Fuente: ANÁLISIS BÁSICO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS, D.E. Johnson, J.L. Hilburn y J.R. Johnson. Ed. Prentice Hall.

## **2.4.10. Microcontroladores<sup>35</sup>**

### **2.4.10.1. Definición**

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un circuito integrado que cuenta con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada/salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas.

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces.

### **2.4.10.2. Características de los Microcontroladores**

Las principales características de los microcontroladores son:

Unidad de Procesamiento Central (CPU): Típicamente de 8 bits, pero también las hay de 4, 32 y hasta 64 bits con arquitectura Harvard, con memoria/bus de datos separada de la memoria/bus de instrucciones de programa, o arquitectura de Von Neumann, también llamada arquitectura Princeton, con memoria/bus de datos y memoria/bus de programa compartidas.

Memoria de Programa: Es una memoria ROM (Read-Only Memory), EPROM (Electrically Programmable ROM), EEPROM (Electrically Erasable/Programmable ROM) o Flash que almacena el código del programa que típicamente puede ser de 1 kilobyte a varios megabytes.

---

<sup>35</sup> <http://dac.escet.urjc.es/docencia/Micros/MP06a.pdf>

Memoria de Datos: Es una memoria RAM (Random Access Memory) que típicamente puede ser de 1, 2, 4, 8, 16, 32 kilobytes.

Generador del Reloj: Usualmente un cristal de cuarzo de frecuencias que genera una señal oscilatoria de entre 1 a 40 MHz, o también resonadores o circuitos RC.

Interfaz de Entrada/Salida: Puertos paralelos, seriales (UARTs, Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), I2C (Inter-Integrated Circuit), Interfaces de Periféricos.

La alta integración de subsistemas que componen un  $\mu$ C reduce el número de chips, la cantidad de pistas y espacio que se requerirá en un circuito impreso si se implementase un sistema equivalente usando chips separados.

Algunas de las características de los Pic de gama alta se describen a continuación:

- Procesador RISC avanzado
- Flash program memory de 32kbytes.
- 13 canales A/D.
- Puertos de I/O (5 puertos bidireccionales).
- Un módulo estándar CCP y un módulo estándar Enhanced CCP.
- Puerto paralelo streaming.
- Frecuencia de operación de 48MHz – DC.
- Memoria de programa (bytes) de 32768.
- Memoria de programa (instrucciones) de 16384.

- Memoria de datos (bytes) de 2048.
- Memoria de datos EEPROM (bytes) de 256.
- 20 Fuentes de interrupción.
- 4 Timers.
- 1 Capture/Compare/PWM Modules.
- MSSP, Enhanced USART para comunicación Serial.
- 2 Comparadores.
- Reset y delays (POR, BOR, Reset Instruction, Stack Full, Stack Underflow, PWRT, OST, MCLR optional, and WDT).
- Detector de programación de bajo voltaje.
- 75 instrucciones de set, 83 con habilitaciones de instrucciones set extendidas.
- Compatible con USB 2.0

#### **2.4.11. Visual Estudio 2010<sup>36</sup>**

Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones Web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# y Visual J#, utilizan el mismo entorno de desarrollo integrado (IDE), que les permite compartir herramientas y facilita la creación de soluciones en varios lenguajes. Asimismo, dichos lenguajes aprovechan las funciones de .NET Framework, que ofrece acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de aplicaciones Web ASP y Servicios Web XML.

---

<sup>36</sup> [http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_01.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_01.pdf)

#### **2.4.11.1. Visual C#**

Microsoft Visual C# 2010 es un lenguaje de programación diseñado para crear una amplia gama de aplicaciones que se ejecutan en .NET Framework. C# es simple, eficaz, con seguridad de tipos y orientado a objetos. Con sus diversas innovaciones, C# permite desarrollar aplicaciones rápidamente y mantiene la expresividad y elegancia de los lenguajes de tipo C.

Visual Studio admite Visual C# con un editor de código completo, plantillas de proyecto, diseñadores, asistentes para código, un depurador eficaz y fácil de usar, además de otras herramientas. La biblioteca de clases .NET Framework ofrece acceso a una amplia gama de servicios de sistema operativo y a otras clases útiles y adecuadamente diseñadas que aceleran el ciclo de desarrollo de manera significativa.

### **2.5. HIPÓTESIS**

La implementación de un sistema electrónico para el control del banco de resistencias en hornos eléctricos industriales de resistencia mejorará la estabilización de potencia, de tal manera que se pueda controlar adecuadamente la temperatura.

### **2.6. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES**

#### **2.6.1. Variable Dependiente**

Estabilización de potencia en los hornos industriales en la empresa INEDYC.

#### **2.6.2. Variable Independiente**

Sistema electrónico para el control del banco de resistencias.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tuvo enfoque cualitativo en vista que el investigador interactuó con los técnicos de la empresa INEDYC que están directamente relacionados con el proyecto de investigación.

De la misma manera la presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido al procesamiento de información el cual ayudo a determinar las causas y efectos del problema.

#### **3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tuvo la modalidad de campo, porque se tuvo que obtener y analizar las condiciones de los hornos industriales de la empresa a implementarse, esta investigación también tuvo la modalidad bibliográfica porque se consultó diferentes datos técnicos o características de ciertos elementos que eran necesarios para diseñar e implementar el sistema de control de banco de resistencias en los hornos eléctricos industriales de fundición.

#### **3.3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN**

- La investigación sobre el problema en los sistemas electrónicos de control para los bancos de resistencias en los hornos industriales fue de tipo exploratoria con la cual se investigaron las condiciones y seguridades en las que operan.

- Se efectuó también una investigación de tipo descriptiva donde se realizó una investigación sobre los diferentes sistemas electrónicos para aplicar las respectivas normas industriales y se detalló cada una de las normas que se debieron aplicar en el uso de los diferentes dispositivos y el diseño mismo del sistema electrónico para el control.
- También se realizó una investigación de tipo explicativa para de esta manera poder hacer un análisis de las variables de temperatura, dispositivos eléctricos y electrónicos, de esa manera tener los argumentos necesarios para poder exponer cada una de estas.
- Como se tuvo la asociación de las variables, se realizó la investigación descriptivo correlacional para verificar la relación que pueden y/o deben tener las variables del proyecto de investigación y de esta manera tener una visión más clara de la solución del mismo.

#### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población y muestra constituye el personal que labora en el departamento administrativo y el departamento técnico de la empresa INEDYC. Se consideró a todos los trabajadores de la empresa en vista que es poco personal.

#### **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Las técnicas empleadas en la presente investigación fueron: la encuesta, la entrevista y la observación, etc.

Las principales técnicas aplicadas fueron la de encuesta de la cual se obtuvo la información necesaria para diseñar el sistema en base a datos reales, otra técnica que fue utilizada es la de observación, visitando a algunas empresas y se observó el procedimiento que utilizan en el proceso de producción con el actual sistema de control.

### **3.6. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La recolección de información se lo realizo mediante la aplicación de encuestas, estas estuvieron dirigidas al gerente y empleados de la empresa, considerados en la muestra de investigación, la cual ayudo a determinar la situación actual y condiciones generales de los sitios de trabajo de los hornos. Además, mediante la técnica de observación y bibliográfica documental para recolectar información necesaria para el desarrollo de la parte técnica.

### **3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

La información recolectada mediante la técnica de investigación directa, esta tuvo que ser previamente depurada antes de la tabulación, mientras que la información incierta se procedió nuevamente a recopilar.

Los resultados obtenidos en la tabulación se sometieron a un análisis crítico, para una correcta interpretación, para dentro de esto crear una base al marco teórico para la demostración de la hipótesis.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### **Antecedentes**

El siguiente análisis, corresponde a los resultados obtenidos de una encuesta realizada a cuatro profesionales que laboran en el Departamento Técnico de la Empresa INEDYC, los mismos que brindaron total apertura y colaboración (Ver Anexo C) para contestar las preguntas y proporcionar información referente a la situación actual de los hornos de resistencia.

#### **4.1. Encuesta**

**Dirigida a:** Trabajadores del Departamento Administrativo y técnicos de la empresa INEDYC.

Los resultados de las Encuestas al personal del Departamento Administrativo y técnicos de la Empresa INEDYC, fueron los siguientes: (los números en paréntesis indican el número de personas que escogieron la opción como respuesta).

1. ¿Qué problemas ocasiona el no tener un sistema Proporcional Integrado Derivado?

Demora en la entrega de productos..... (0) – 0%

Pérdidas económicas..... (0) – 0%

Consumo en exceso de energía..... (2) – 50%

La precisión en el set point de la temperatura de trabajo..... (2) – 50%

Otros..... (0) – 0%

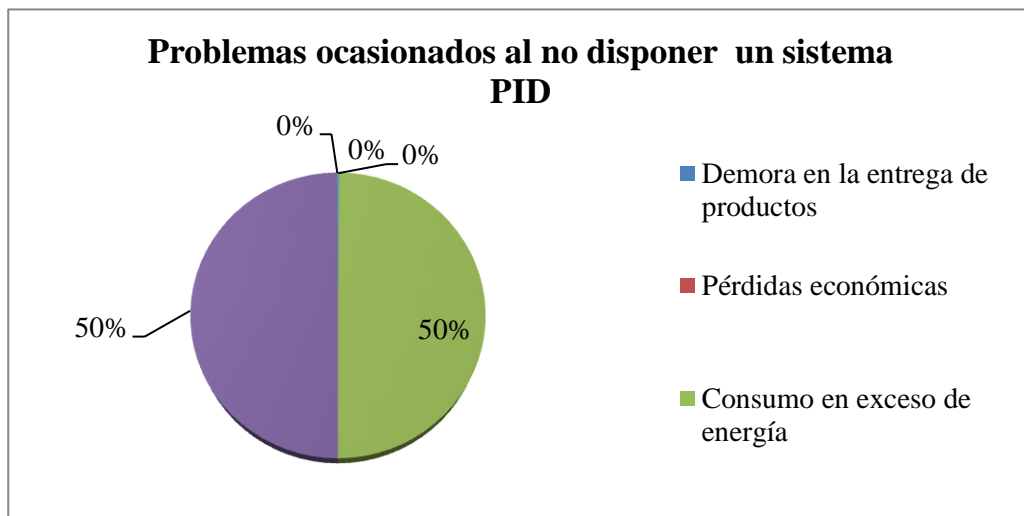


Figura 4. 1. Resultados de la pregunta #1 de la encuesta.

Elaborado por el investigador

**Análisis:**

Según la encuesta realizada podemos decir que el 50% de los encuestados es decir 2 de 4, opinaron que el no disponer de un sistema proporcional integral derivativo PID influye en el consumo excesivo de energía.

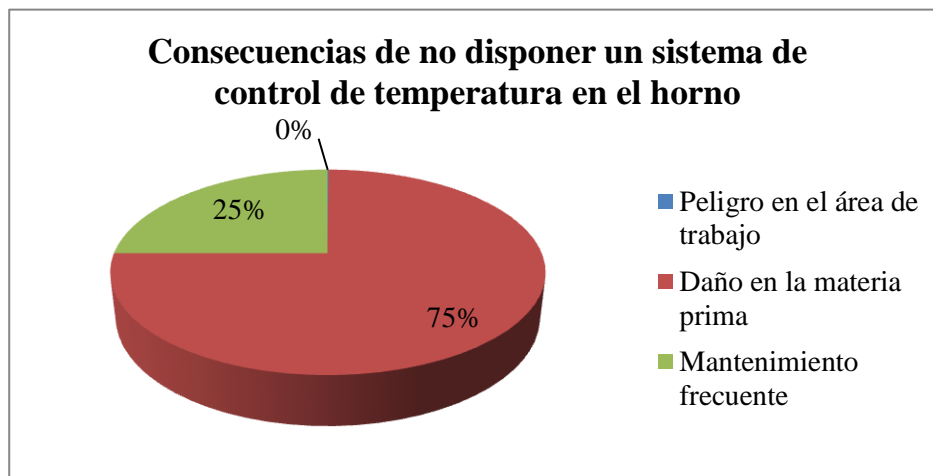
De la misma manera el resto de encuestados esto es el 50% restante de los encuestados ósea 2 de 4, opinaron que es un problema el no poder mantener precisión de la temperatura en el set point, el mismo que es afectado por no disponer de un sistema proporcional integral derivativo PID.

2. ¿Cuáles son las consecuencias de no disponer de un sistema de control apropiado para el control de la temperatura en el horno?

Peligro en el área de trabajo..... (0) – 0%

Daño en la materia prima..... (3) – 75%

Mantenimiento frecuente..... (1) – 25%



*Figura 4. 2. Resultados de la pregunta #2 de la encuesta  
Elaborado por el investigador*

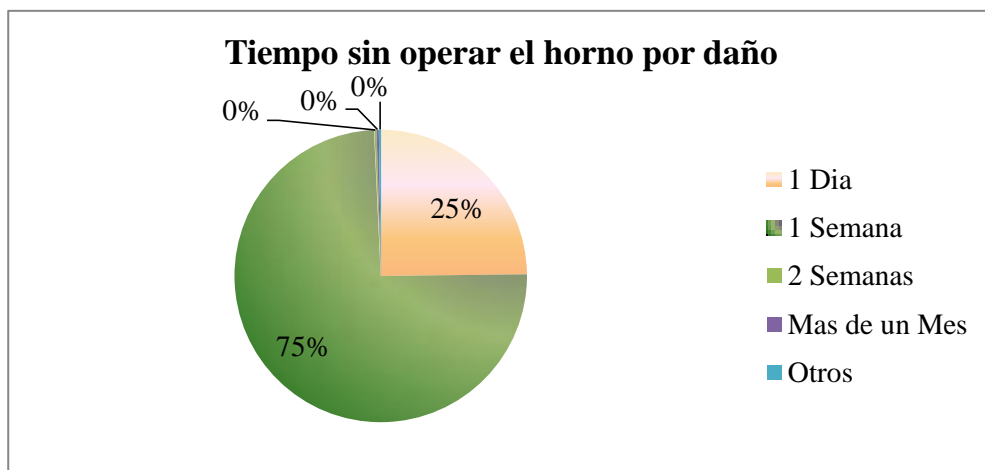
**Análisis:**

De acuerdo a la encuesta realizada, la mayoría de los encuestados opinaron que una de las consecuencias más perjudiciales por no disponer de un sistema proporcional integral derivativo PID, es el daño en la materia prima, esto es la opinión del 75% de los encuestados ósea 3 de 4.

Mientras que tan solo el 1% de los encuestados, es decir 1 de 4, opinaron que se realiza mantenimientos frecuentes por no disponer de un sistema proporcional integral derivativo.

3. ¿Qué tiempo pasa sin operar el horno por el daño del banco de resistencia?

1 día.....	(1)– 25%
1 semanas.....	(3) – 75%
2 semanas.....	(0) – 0%
Más de un mes.....	(0) – 0%
Otros.....	(0) – 0%



*Figura 4. 3. Resultados de la Pregunta #3 de la encuesta.*

*Elaborado por el investigador*

**Análisis:**

El 25% de los encuestados, esto es 1 de 4, consideran que es 1 día el que pasa sin operar el horno, lo cual se puede deducir que en muchos de los casos son pequeños daños en el sistema en general del horno.

Pero la mayoría coincide que el horno pasa sin operar por lo menos 1 semana, lo que puede ser perjudicial para la empresa, esto a criterio del 75% de los encuestados, esto es 3 de 4. En la cual se ve afectada la empresa por las pérdidas económicas que generan estas paras del horno.

4. ¿Considera necesario un cambio de sistema de control electrónico para mejorar la funcionalidad del horno?

Si..... (4) – 100%

No..... (0) – 0%

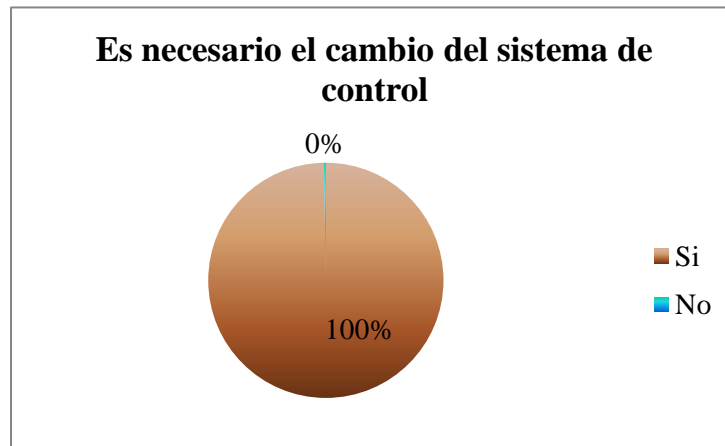


Figura 4. 4. Resultados de la pregunta #4 de la encuesta

Elaborado por el investigador

**Análisis:**

El 100% de los encuestados considera que es necesario un cambio de sistema de control, esto es 4 de 4 encuestados, esto es necesario por los frecuentes daños en el banco de resistencias.

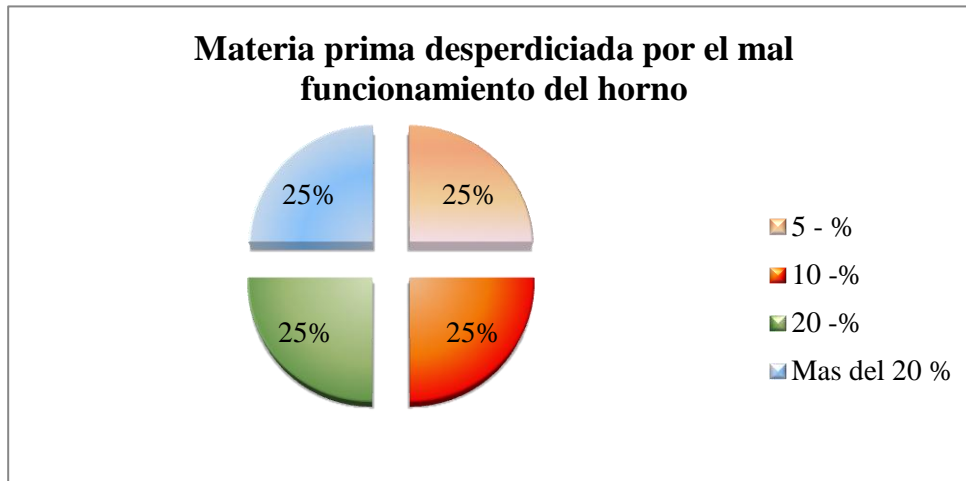
5. ¿Qué porcentaje de materia prima se desperdicia por el mal funcionamiento del horno?

5%..... (1) – 25%

10%.....(1) – 25%

20%.....(1) – 25%

Más del 20%.....(1) – 25%



*Figura 4. 5. Resultados de la pregunta #5 de la encuesta.*

*Elaborado por el investigador*

### **Análisis:**

De los 4 encuestados por lo menos uno selecciono una de las opciones el cual representa el 25%, los cuales manifiestas que existen pérdidas considerables por el daño en la materia prima por el mal funcionamiento del horno. Y los mismos manifestaban que la misma en muchos de los casos no se podía reutilizar sin antes volver a ser tratados.

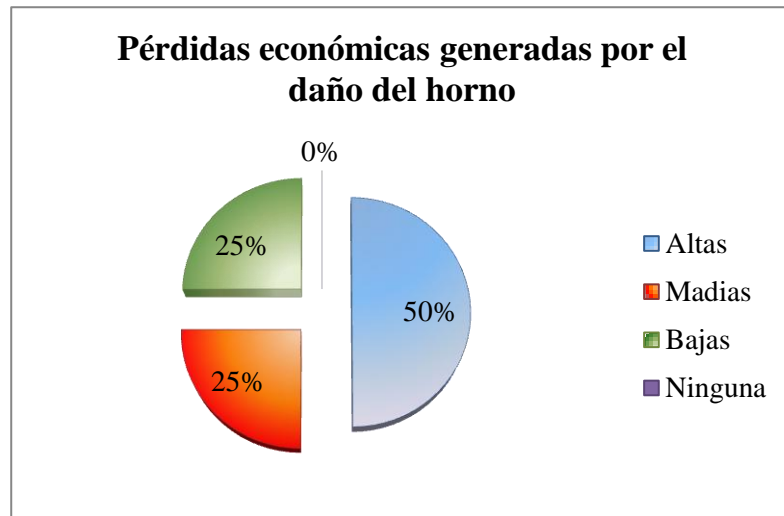
**6.** ¿Considera que las pérdidas económicas producidas por el frecuente daño del horno son?:

Altas..... (2) – 50%

Medias..... (1) – 25%

Bajas..... (1) – 25%

Ninguna..... (0) – 0%



*Figura 4. 6. Resultado de la pregunta #6 de la encuesta  
Elaborado por el investigador*

### **Análisis:**

De acuerdo a la encuesta realizada, y criterios de los encuestados las pérdidas generadas por el daño frecuente y el tiempo que se tarda en el mantenimiento son de medias a altas, esto es el 50% opina que son altas ósea 2 de 4, y el 25% que en esta caso es 1 de 4 opina que las pérdidas son medias, por otro lado un porcentaje mucho menor considera que las pérdidas son bajas o ningunas, esto es el 25% ósea 1 de 4. De acuerdo a los encuestados, la mayoría considera que es necesario un cambio de sistema de control para reducir las pérdidas económicas, daño en la materia prima, etc.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta, la mayoría de los encuestados opinan que el sistema de control que se utiliza actualmente se encuentra obsoleto, y este ocasiona problemas frecuentes, que en la mayoría de los casos se debe parar la planta para la reparación.
- Las pérdidas económicas por los frecuentes daños en el horno, son entre medianas y altas, lo que no genera utilidades a la empresa y lo cual puede ocasionar el cierre de la misma.
- El no disponer de un sistema adecuado para el control del banco de resistencias, provoca que la materia prima se dañe en un porcentaje considerable el cual representa pérdidas económicas considerables.
- El no disponer de un sistema adecuado para el control de temperatura, provoca la inestabilidad de la temperatura en el set point requerido, esto hace que no se dé el tratamiento adecuado a la materia prima, también tenemos el desperdicio de energía.



## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda cambiar el sistema actualmente utilizado, el mismo que por el tiempo de servicio no brinda las garantías necesarias para su correcto funcionamiento.
- El cambio del sistema de control para el horno industrial es necesario por las pérdidas económicas que este genera por el daño frecuente y los mantenimientos que toca realizarle.
- Las pérdidas económicas por el daño de la materia prima son considerables por lo que se considera necesario un cambio de sistema del control del horno industrial.
- Se recomienda utilizar un sistema de control electrónico para mejorar la estabilización de la temperatura, y mantener en el set point requerido.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

**Título:** “Sistema electrónico para el control del banco de resistencias y estabilización de la potencia en el horno industrial en la empresa INEDYC.”

**Tutor:** Ing. Marco Jurado M.Sc.

**Autor:** Juan Carlos Castillo Vásquez

**Empresa:** INEDYC

**Gerente:** Ing. Franklin Camacho

**Dirección:** Av. Indoamérica km 1½ vía a Quito

#### **6.1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

El presente proyecto tuvo como finalidad optimizar el funcionamiento y el rendimiento del sistema de control electrónico en los hornos industriales, con el objetivo de disminuir los costos en el mantenimiento, de la misma manera disminuir las pérdidas generadas por el tiempo que no opera el mismo y de la misma manera se quiere disminuir el riesgo de accidente al personal en el sitio de operación del horno.

#### **6.2. JUSTIFICACIÓN**

El diseño y la implementación de un sistema electrónico de control de temperatura del banco de resistencias propuesto a la empresa INEDYC, genera mejor estabilidad de los hornos industriales.

Los principales beneficios que se obtienen a través sistema de control son la reducción del consumo de energía eléctrica, esto se debe al control del flujo de corriente que se realiza en el banco de resistencias.

También se obtiene menor desperdicio de materia prima y mayor seguridad en el área de trabajo, esto se debe a que se puede mantener estabilizada la temperatura del horno industrial.

Con la implementación de la propuesta se tendrá que realizar menos mantenimientos del horno industrial, esto se verá beneficiado a la empresa con un mayor ingreso económico y de la misma manera los usuarios recibirán productos de mejor calidad y menor precio.

### **6.3. OBJETIVOS**

#### **6.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema electrónico para el control de la temperatura del banco de resistencias en los hornos industriales de fundición en la empresa INEDYC.

#### **6.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el sistema electrónico de control para el banco de resistencias que permita estabilizar la potencia en los hornos de fundición en la empresa INEDYC.
- Especificar los elementos y dispositivos a utilizarse en la implementación del sistema electrónico de control del banco resistencias en los hornos industriales.
- Implementar el sistema electrónico de control para el banco de resistencias de los hornos industriales.

## 6.4. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Desde los diferentes puntos de vista analizados previamente con la empresa en la cual se desarrolló el proyecto, el tutor a cargo del mismo, el presente proyecto desarrollado se analizó desde los siguientes puntos para verificar si es o no factible implementarlo:

- **Factibilidad Técnica**

Para el desarrollo del proyecto se analizó la parte técnica con fin de verificar que los equipos, instrumentos y otros, son factibles de comprar en el mercado local. Una vez analizado todas estas condiciones en el sitio de implementación se dedujo que el proyecto cumple con las condiciones para poder ser implementado.

- **Factibilidad Operativa**

Para poder establecer si el proyecto es factible también se debió considerar un aspecto como lo es el operativo, de tal manera que se analizó el correcto aprendizaje de funcionamiento de proyecto por parte del personal, y de la misma manera el desarrollo de un manual de usuario para la operación del mismo. De tal forma se cumplió con los requisitos mínimos en el aprendizaje del personal sobre la operación del equipo y se dedujo que era factible de desarrollo del mismo.

- **Factibilidad Económica**

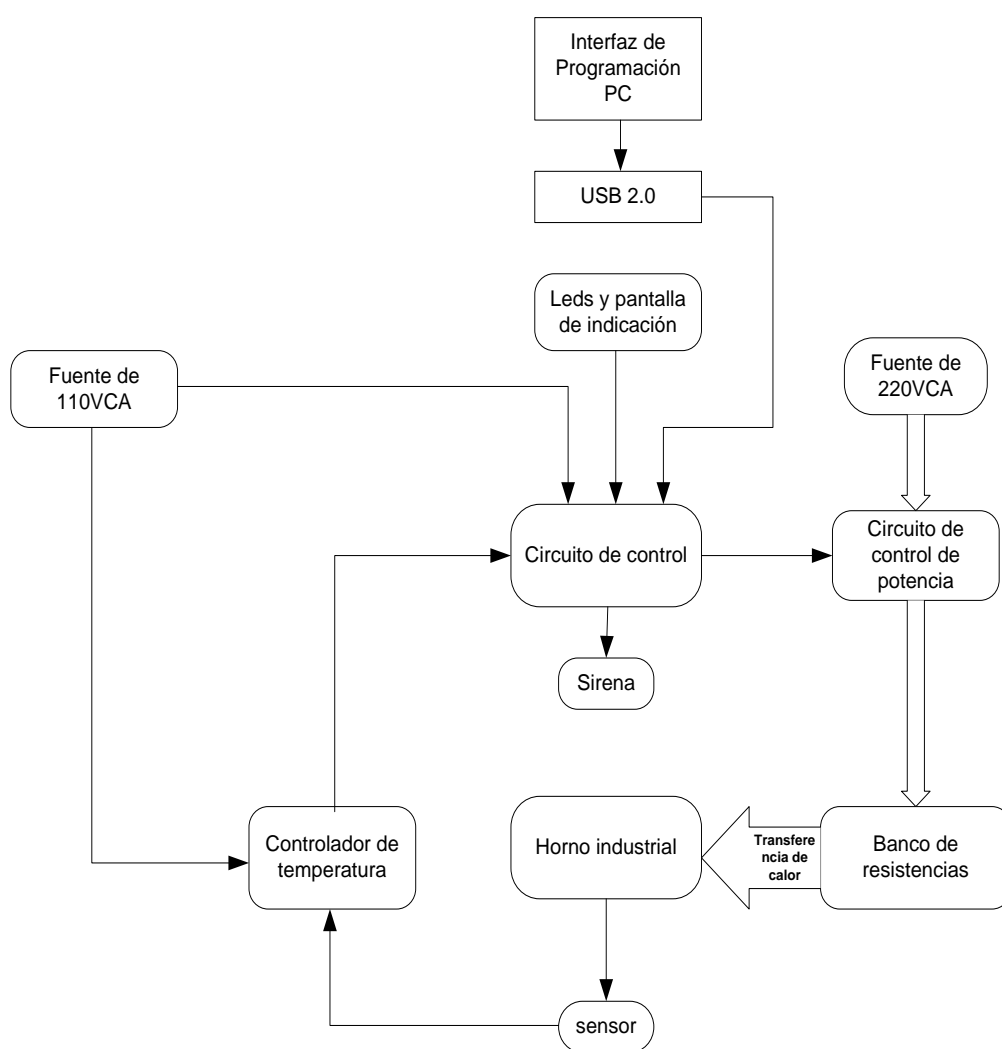
La propuesta del sistema electrónico de control, económicamente es viable en vista que la empresa brindara el apoyo económico necesario para la implementación del proyecto, de la misma manera una parte del proyecto será cubierto por el investigador.

## 6.5. FUNDAMENTACIÓN

### 6.5.1. Diagrama de bloques general del sistema electrónico de control

En la figura 6.1 se puede apreciar el diagrama de bloques del sistema electrónico de control para el banco de resistencia en el horno industrial.

Todo lo descrito en el diagrama de flujo a continuación se procederá a detallar el uso de los diferentes componentes en el circuito.



*Figura 6. 1. Diagrama de bloques del sistema de control*

*Elaborado por el investigador*

## **6.5.2. Microcontrolador PIC18F4550**

### **6.5.2.1. Introducción**

El desarrollo de los distintos dispositivos involucra costos, tamaño, capacidad de memoria, velocidad, funciones especiales. Todos los aspectos mencionados tienen efecto al momento de implementar un proyecto, como el que utilizamos en este caso, el PIC18F4550 tiene características como son: módulo de comunicación USB, conversor A/D de 10 bit de muestreo. Además sus elementos de programación, ensamblaje y grabación son genéricos y de fácil adquisición.

El PIC 18F4550 de la familia microchip, pertenece a la subfamilia de microcontroladores de gama alta. El cual es óptima para la aplicación del proyecto, en vista que cumple con las necesidades del sistema.

Es apropiado para aplicaciones de control de máquinas programables, dispositivos y sensores. Las características y las funciones de interés de este PIC y por las cuales se lo escogió son las que se indican a continuación.

### **6.5.2.2. Distribución de pines**

En la figura 6.2 se detalla la configuración de pines y funciones de los mismos.

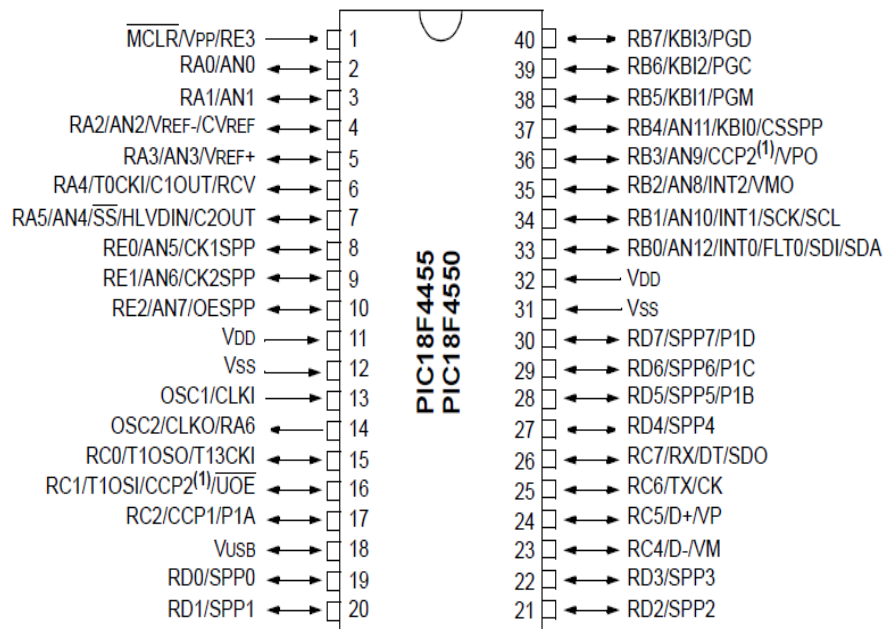


Figura 6. 2. Configuración de pines del PIC18F4550.

Fuente: Datasheet PIC18F4550.

### 6.5.2.3. Configuración del oscilador

Los dispositivos de esta familia incorporan un oscilador diferente y el microcontrolador del sistema de reloj que preceden a los dispositivos de los 18F. Al añadir el módulo USB, con un único requerimiento para mantener estable la fuente de reloj, es necesario proveer una fuente de reloj separado que sea compatible con las especificaciones de Both USB low-speed y full speed.

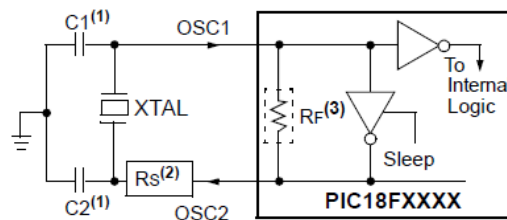
Con los diferentes tipos de osciladores que pueden ser operados por este dispositivo, estos se clasifican en 12, este dispositivo con relación a los antecesores con 4 de los modos de operación pueden involucrar el uso de 2 tipos de osciladores, los cuales se pueden apreciar en la tabla 6.1.

1. XT Crystal/Resonator
2. XTPLL Crystal/Resonator with PLL enabled
3. HS High-Speed Crystal/Resonator
4. HSPLL High-Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
5. EC External Clock with Fosc/4 output
6. ECIO External Clock with I/O on RA6
7. ECPLL External Clock with PLL enabled and Fosc/4 output on RA6
8. ECPIO External Clock with PLL enabled, I/O on RA6
9. INTHS Internal Oscillator used as microcontroller clock source, HS Oscillator used as USB clock source
10. INTXT Internal Oscillator used as microcontroller clock source, XT Oscillator used as USB clock source
11. INTIO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, digital I/O on RA6
12. INTCKO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, Fosc/4 output on RA6

**Tabla 6. 1.** Tipos de osciladores

**Fuente:** Datasheet PIC18F4550

Para operación de osciladores de cristal y cerámicos resonantes en HS, HSPLL, XT y XTPLL se debe conectar en los pines de OSC1 y OSC2 como se indica en la figura 6.3.



**Figura 6. 3.** Conexión del oscilador de cristal/cerámicos resonantes

**Fuente:** Datasheet PIC18F4550

De acuerdo al modo de oscilación seleccionado debemos escoger el cristal oscilador/resonante cerámico y de esto dependerá el uso de los capacitores adecuados para una operación adecuada del Pic. En la tabla 6.2 podemos



apreciar los valores adecuados para los resonantes cerámicos y de la misma manera en la tabla 6.3 se puede apreciar los valores respectivos para los osciladores de cristal.

En nuestro caso debemos utilizar lo que son osciladores de cristal, esto debido a que se necesita un alto rendimiento del PIC, por esta razón utilizaremos un cristal HS de 20MHz con el que se pretende que el PIC realice las sentencias de programación lo más cercano al tiempo real, para esto se debe utilizar los capacitores indicados que en este caso son de 15pF.

Typical Capacitor Values Used:			
Mode	Freq	OSC1	OSC2
XT	4.0 MHz	33 pF	33 pF
HS	8.0 MHz	27 pF	27 pF
	16.0 MHz	22 pF	22 pF

**Tabla 6. 2.** Valores de los resonantes cerámicos y capacitores para los diferentes modos de operación.

*Fuente:* Datasheet PIC18F4550

Osc Type	Crystal Freq	Typical Capacitor Values Tested:	
		C1	C2
XT	4 MHz	27 pF	27 pF
HS	4 MHz	27 pF	27 pF
	8 MHz	22 pF	22 pF
	20 MHz	15 pF	15 pF

**Tabla 6. 3.** Valores de los osciladores de cristal y capacitores para los diferentes modos de operación.

*Fuente:* Datasheet PIC18F4550

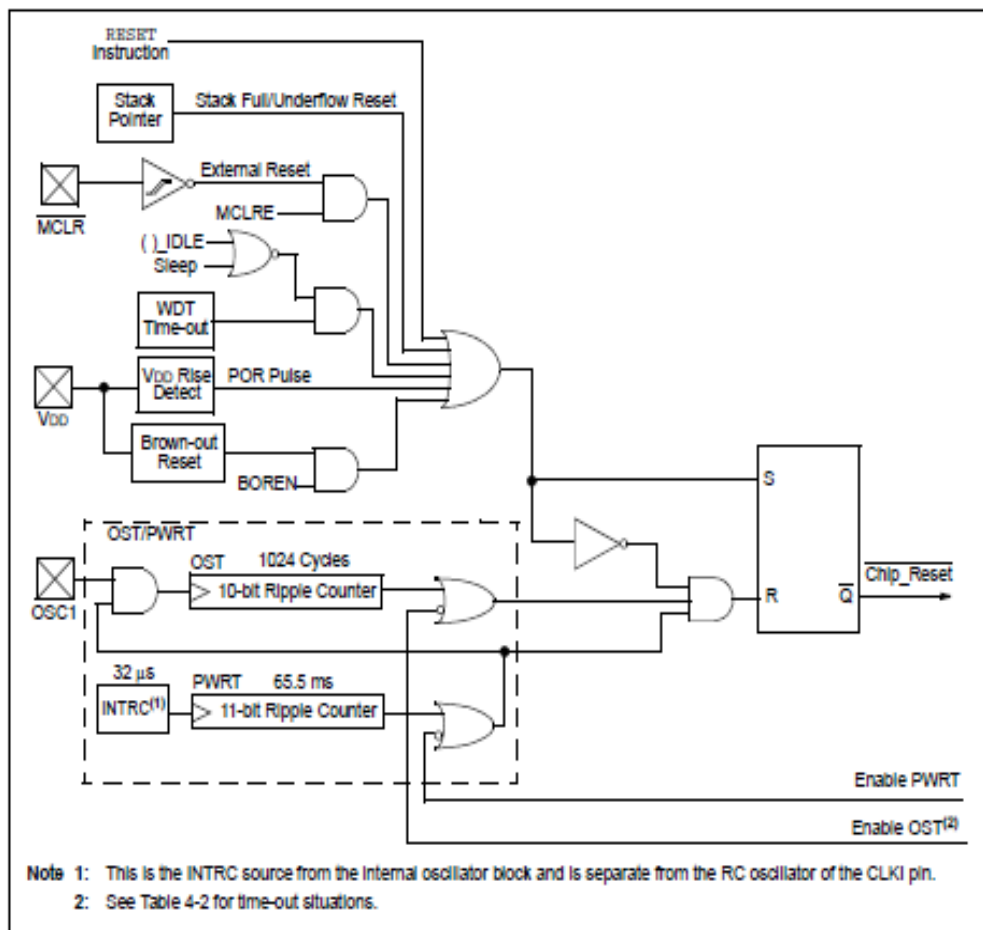
#### 6.5.2.4. RESET

El dispositivo 18F4550 se diferencia por sus variadas formas de Reset:

- Power on Reset (POR)
- MCLR Reset during normal operation
- MCLR Reset during power-managed modes

- Watchdog Timer (WDT) Reset (during execution)
- Programmable Brown-out reset (BOR)
- Reset Instruction
- Stack Full Reset
- Stack Underflow Reset

En la figura 6.4 podemos observar el diagrama interno de las diferentes funciones de Reset con que cuenta el pic.



**Figura 6. 4.** Diagrama interno de las funciones de Reset del PIC 18F4550

**Fuente:** Datasheet PIC 18F4550

### a) Master Clear Reset (MCLR)

El pin de MCLR provee un método de reset externo del dispositivo, un reset es generado por una señal baja en el pin. Este dispositivo tiene un filtro de ruido en el MCLR reset para que detecte e ignore pequeños pulsos. Este no es un driver, pero si incluye WDT. En este dispositivo la entrada de MCLR se puede deshabilitar configurando el bit con MCLRE, en la figura 6.5 podemos observar la manera de conexión del MCLR.

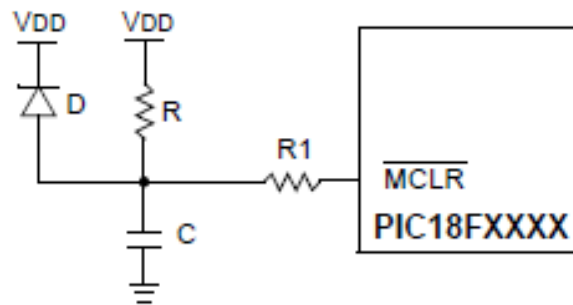


Figura 6. 5. Circuito de conexión del MCLR

Fuente: Datasheet PIC18F4550

### 6.5.2.5. Puertos de Entrada/Salida

Alguno pines de I/O de este Pic son multiplexores como una función alternativa.

Cada puerto tiene tres tipos de registros diferentes para su operación, estos pueden ser:

- TRIS register (registro de dirección de datos)
- Port register (lectura de niveles en los pines del dispositivo)
- LAT register (output latch)

El registro de datos Latch (LATA) es usado para leer-modificar-escribir operaciones en las que se evalúa los pines I/O, un modelo simple de un puerto



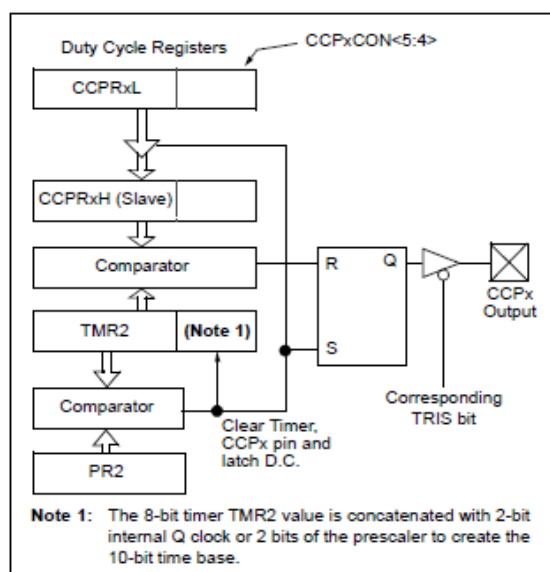
CCP/ECCP Mode	Timer Resource
Capture Compare PWM	Timer1 or Timer3 Timer1 or Timer3 Timer2

**Tabla 6. 4.** Configuración de los módulos Capture/Compare/PWM

*Fuente:* Datasheet del PIC18F4550

### a) Modo PWM

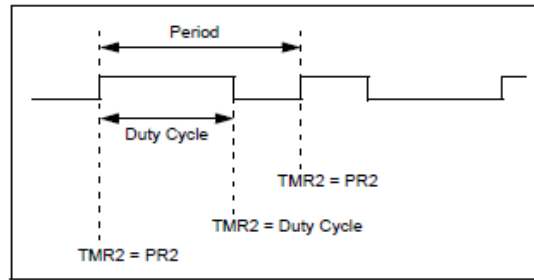
En el modo de modulación por ancho de pulso (PWM), con la cual el pin de CCPx produce una salida PWM con una resolución de 10 bit. En la figura 6.7 se puede ver el diagrama reducido del módulo PWM.



**Figura 6. 7.** Diagrama reducido del módulo PWM

*Fuente:* Datasheet PIC18F4550

Una salida de PWM tiene un tiempo base o periodo y un tiempo en el cual la salida está en alto (duty cycle). La frecuencia de PWM es el inverso del periodo (1/periodo). Como podemos ver en la figura 6.8.



**Figura 6. 8. Salida de PWM**  
*Fuente: Datasheet PIC18F4550*

### 6.5.2.7. Configuración Modulo Conversor A/D

Este dispositivo tiene 13 módulos conversor Análogo/Digital de entradas, los módulos solo convierten una señal análoga de entrada y el mismo da como resultado un numero digital con resolución de 10 bit

Este módulo consta de 5 registros:

- A/D Registro de Resultados Altos (ADRESH)
- A/D Registro de Resultados Bajos (ADRESL)
- A/D Registro de Control 0 (ADCON0)
- A/D Registro de Control 1 (ADCON1)
- A/D Registro de Control 2 (ADCON2)

La referencia de voltaje análogo es un software selector en cualquiera de los dispositivos el suministro de voltaje tanto positivo como negativo (VDD y VSS) son los niveles de voltaje en los pines.

Al hacer reset forzado al dispositivo, todos los registros se restablecen a su estado. El forzar el apagado del módulo A/D, hace que cualquier conversión en proceso sea abortado.

Cada pin del puerto asociada con el convertor A/D también puede ser configurado como una entrada analógica o a su vez I/O digital. En la figura 6.9 podemos ver el diagrama del módulo convertor A/D.

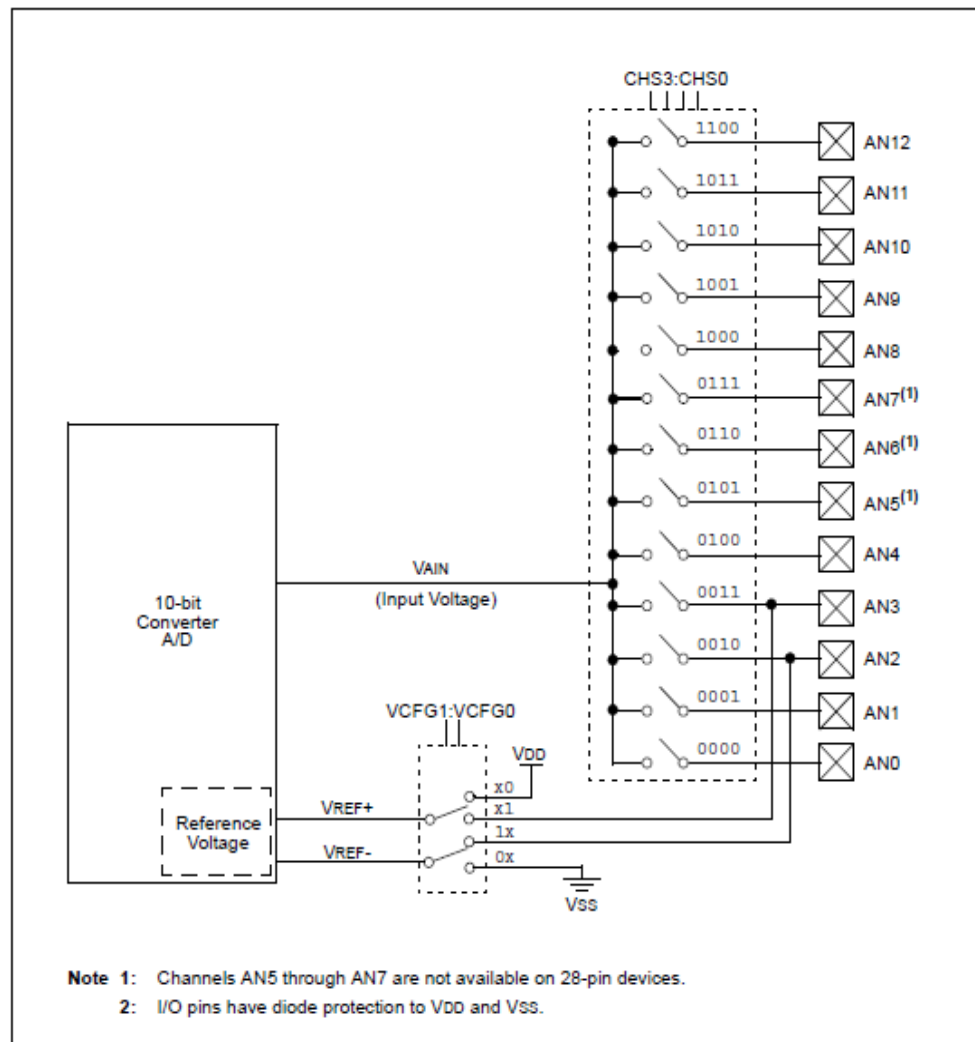


Figura 6. 9. Diagrama del convertor A/D

Fuente: Datasheet PIC18F4550

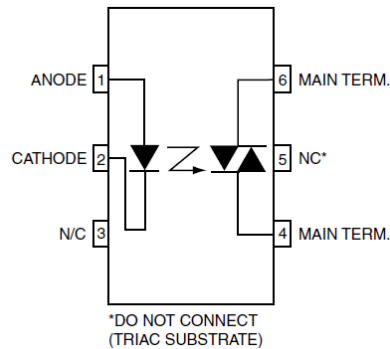
### 6.5.3. OPTOTRIAC MOC3010

Este dispositivo es de una serie de diodos emisores infrarrojos de arsénico de galio, se caracterizan por ser interruptores bilaterales de acoplamiento óptico de silicio y son diseñados para requerimientos en aplicaciones de aislamiento por accionamiento del TRIAC, operando como un interruptor de AC de

aislamiento de baja corriente, de un alto aislamiento eléctrico de hasta 7500 VAC picos, considerado como un detector de alto aislamiento de voltaje, poco consumo, y de un precio bajo.

### 6.5.3.1. Configuración de PINES

En la figura 6.10 podemos observar la distribución de pines del MOC3010.



*Figura 6. 10. Configuración de pines del MOC3010*

*Fuente: Datasheet MOC3010*

### 6.5.4. Controlador de temperatura BTC-8100

El controlador de temperatura utiliza una lógica confusa más un microprocesador PID –basado en una cadena de controladores, incorporado dos indicadores, displays de 4-dígitos de fácil lectura, indicador del valor del proceso y valor del set point. En la figura 6.11 podemos apreciar el controlador de temperatura.





*Figura 6. 11. Controlador de temperatura BTC-8100*

*Fuente: <http://www.brainchild.com.tw/index.asp?lang=5>*

#### **6.5.4.1. Características eléctricas**

Voltaje de 90 – 250 VCA, 47 – 63 Hz, 12VA, máximo de 5W.

#### **6.5.4.2. Señales de entrada**

**Resolución:** 18 bits

**Tasa de muestreo:** 5 veces/seg

**Valores máximos:** - 2VCD mínimo, 12VCD máximo

**Efectos de la temperatura:**  $\pm 1.5 \text{ uV/}^\circ\text{C}$  para todas las entradas excepto entradas en mA,  $\pm 3.0 \text{ uV/}^\circ\text{C}$  para entradas en mA.

#### **6.5.4.3. Salida 1 / Salida 2**

**Rango del relé:** 2A/240 VCA, ciclos de vida 200000 para carga resistiva

**Pulsos de voltaje:** fuente de voltaje de 5, limitación de corriente para resistencia de  $66\Omega$ .

#### **Características de la salida lineal:**

Para la salida de 4 – 20 mA tenemos una tolerancia a cero de 3.6 – 4 mA, una tolerancia de medida de 20 – 21 mA, capacidad de carga 500Ω máximo.

#### **6.5.4.4. Retransmisión Análoga**

**Señal de salida:** 4 – 20 mA, 0 – 20 mA

**Resolución:** 15 bits

**Exactitud:** ±0.05% del valor ±0.0025%/°C

**Resistencia de la carga:** 0 – 500 ohm (para la corriente de salida), 10kΩ mínimo (para voltaje de salida)

**Regulación de la salida:** 0.01% para el cambio de toda la carga

#### **6.5.4.5. Interfaz de usuario**

**Dos display LED de 4 dígitos:** BTC-8100, superior 0.4” (10mm), inferior 0.31” (8mm)

**Teclado:** 4 botones

**Puerto de programación:** para instalación automática, calibración y pruebas.

**Puerto de comunicación:** conexión a la PC para control del supervisor

#### **6.5.4.6. Modos de control**

**Salida 1:** acción inversa (calentamiento) o directo (enfriamiento)

**Salida 2:** control de enfriamiento PID, banda P de enfriamiento de 50 – 300 % de PB, banda muerta de -36.0 – 36.0 % de PB

**ON – OFF:** 0.1 – 90.0 % (°F) control de histéresis (Pbanda=0)

**P o PD:** 0 – 100% ajuste de offset

**PID:** lógica confusa modificada, banda proporcional 0.1 – 900.0 °F, tiempo de integración 0 – 1000 segundos, tiempo de derivación 0 – 360.0 segundos.

**Tiempo de ciclo:** 0.1 – 90.0 segundos

**Control manual:** calor (MV1) y frio (MV2)

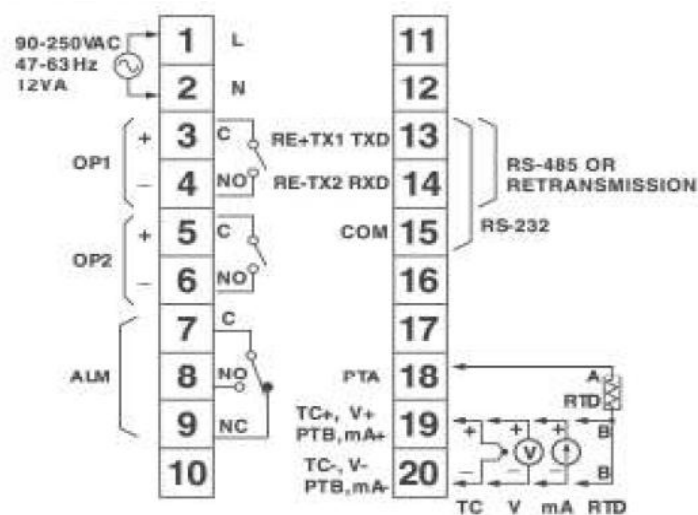
**Auto-tuning:** empezar en caliente y empezar en frio

**Modo falla:** auto transferencia a modo manual cuando el sensor está abierto o cuando el conversor A/D presenta daño.

**Control de la rampa:** 0 – 900.0°F/minuto o 0 – 900°F/hora ramp rate

#### 6.5.4.7. Diagrama de conexión del controlador de temperatura

En la figura 6.12 podemos observar el diagrama de conexión del controlador de temperatura, en el mismo podemos apreciar los terminales y las diferentes conexiones que se puede realizar en el BTC-8100.



**Figura 6. 12.** Diagrama conexión del controlador de temperatura BTC-8100

**Fuente:** <http://www.brainchild.com.tw/index.asp?lang=5>

### 6.5.5. Microchips bootloader

El bootloader es de mucha utilidad para poder “Programar tu PIC sin necesidad de un Programador”. En realidad, esto es relativo, ya que al menos una vez debes programar como siempre un código residente en memoria flash, que se encargara de tomar los datos y re-programar su propia memoria Flash.

El termino bootloader hace referencia a un pequeño programa que se realiza para determinados microcontroladores, ya sea Microchip, Freescale, Atmel, etc. El código lo que hace es tomar los datos que se le enviaran por puerto serial (UART), USB, Ethernet, que se pueda enviar una cadena de bytes al microcontrolador, y los va “programando” en su propia memoria Flash. Que obtenemos con eso, que puedes actualizar en cualquier momento el código del microcontrolador. Utilidades de esto, son muchas, puedes desarrollar un producto o un proyecto y el usuario final no necesita un programador de PIC para poder actualizarlo.

Los Bootloaders llevan ya tiempo utilizándose en el mundo de los Microcontroladores los mismos que han brindado ventajas, y su uso ha sido fundamental en el éxito de muchos proyectos. Estos proyectos basan su éxito en facilitar al usuario una plataforma económica al empezar a programar los Microcontroladores y para ello es fundamental el abaratar costes, como el no tener que utilizar un programador externo para cargar las aplicaciones de usuario. Estas placas de desarrollo vienen ya con el Bootloader cargado en la memoria flash del PIC, por lo que no se necesita de ningún Hardware adicional para empezar a programar el Microcontrolador insertado en la placa de desarrollo.

Pero esta no es la única ventaja de utilizar un Bootloader, otra ventaja la tenemos en que podemos actualizar el programa de usuario cargado en el Microcontrolador de manera fácil y sin necesidad de sacar el Micro fuera de la placa donde esté montado.

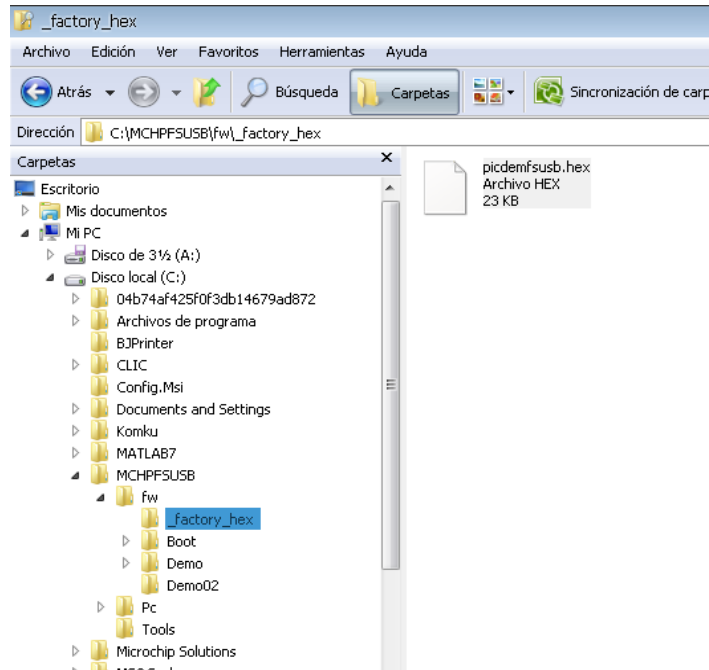
Pero de igual manera como se tiene ventajas también surgen inconvenientes. El inconveniente principal e inevitable de utilizar un Bootloader, es el gasto de memoria ROM que implica el tenerlo cargado en la memoria del PIC de forma permanente, pero este no es el único inconveniente que tenemos cuando utilizamos un Bootloader, la reubicación en memoria del vector o vectores de interrupción (cuando sea necesario) provoca un incremento en la latencia del Micro, de tal forma que cada vez que se produzca una interrupción será necesario ejecutar dos instrucciones mas como mínimo para reubicar los vectores de interrupción en las nuevas posiciones de memoria.

Si queremos utilizar debuggers en circuito como el ICD-U64 hay que tener en cuenta también el rango de direcciones reservadas para cargar el programa de depuración (normalmente registros de la parte alta de la memoria ROM).

Lógicamente todo este tipo de inconvenientes está estrechamente relacionado con la ubicación del Bootloader (parte alta o baja de la memoria Flash).

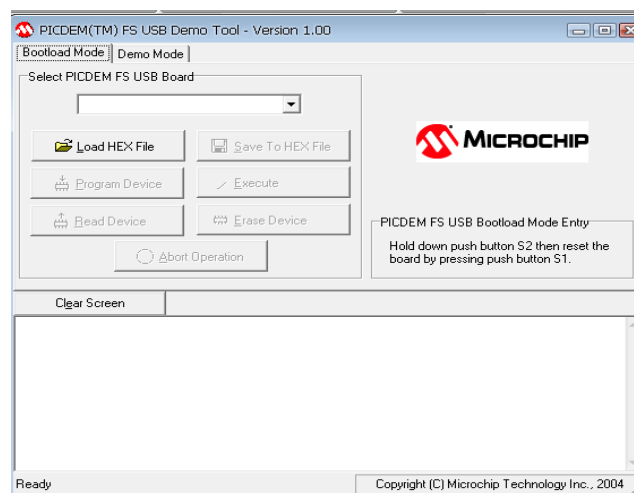
#### **a) Programación por bootloader**

Antes de poder programar el Pic mediante el bootloader se debe programar el programa resistente en la flash del microcontrolador, esto se lo debe realizar como la instalación de cualquier programa en un microcontrolador, esto es, utilizando un hardware programador de Pic y un software como lo es el winpic800, el archivo en hexadecimal a grabar en Pic se genera al momento de instalar el software de microchips para aplicaciones con bootloader, este se puede descargar de la página oficial de microchips, en la figura 6.13 podemos observar la dirección donde se ubica el archivo que se debe programar en el Pic.



**Figura 6. 13.** Dirección del archivo para programar el Pic  
Elaborado por el investigador.

De igual manera, al momento de instalar el software de microchip para aplicaciones con bootloader, se instala un software para la programación del Pic mediante USB el cual se llama PICDEM FS USB, del cual la ventana principal se puede apreciar en la figura 6.14.



**Figura 6. 14.** Ventana principal del PICDEM FS USB  
Elaborado por el investigador.

### 6.5.6. Winpic800

Antes de poder utilizar el bootloader del Pic es necesario programar el archivo resistente en el Pic, el cual se lo realiza por medio del hardware JDM Programmer, el cual es programador serial, y para la programación del Pic es necesario utilizar un software como el winpic800, la ventana principal de este se puede apreciar en la figura 6.15.

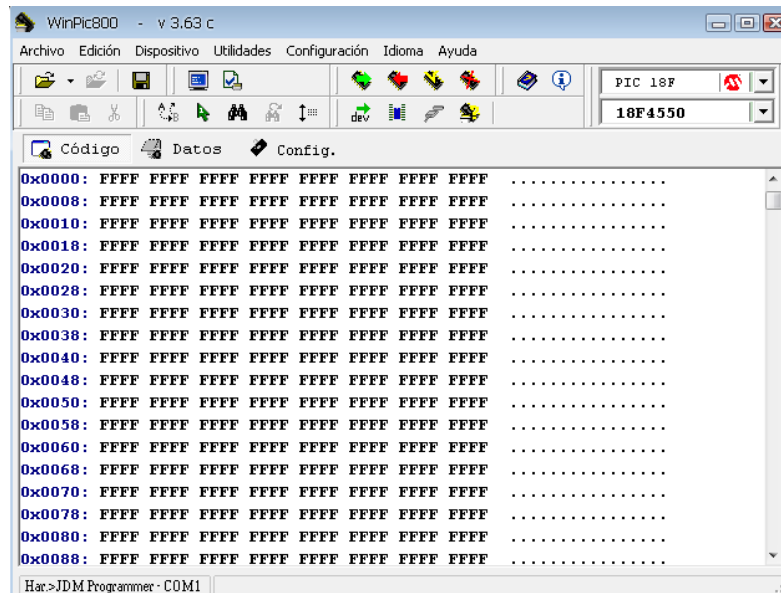


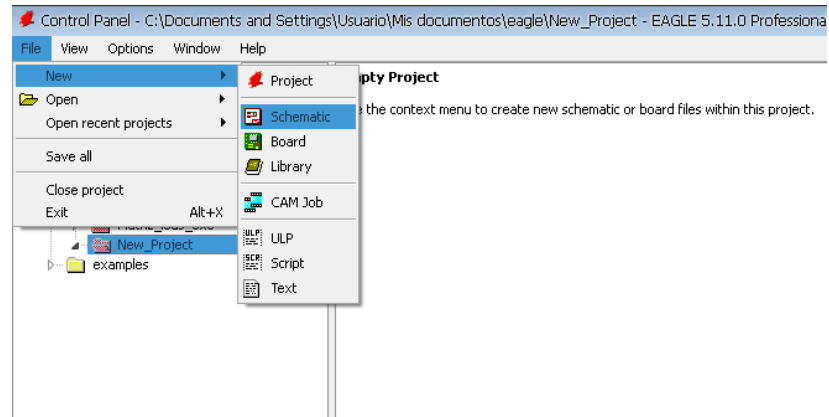
Figura 6.15. Ventana principal del winpic800

Elaborado por el investigador.

### 6.5.7. Eagle 5.11

Este software es un editor esquemático y a través de una estación de trabajo para el diseño de tarjetas y el auto ruteado. Este nos es de gran ayuda por todas las librerías y el compilador avanzado que dispone para el ruteo de las tarjetas.

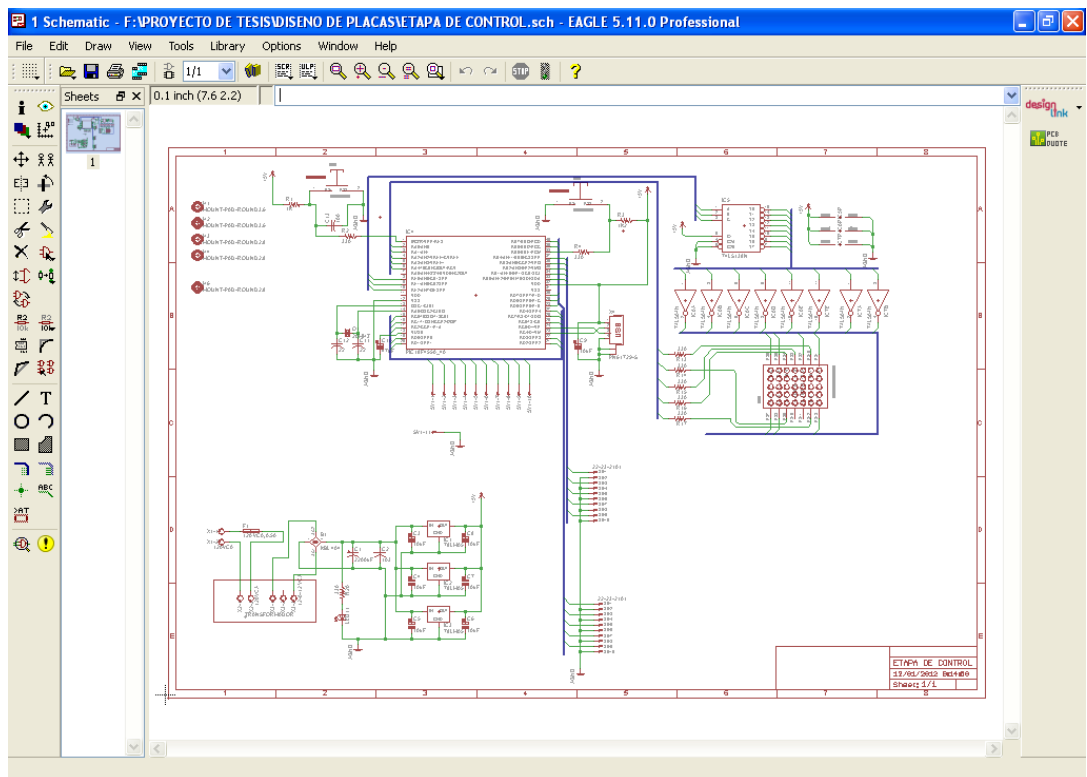
El figura 6.16 observamos la ventana principal que nos proporciona Eagle, en la que recalca las características, librerías, proyectos cargados, y en el menú podemos escoger de acuerdo a la necesidad del usuario del diseño de placas. Vale recalcar que en este software no se puede simular los circuitos.



**Figura 6. 16.** Ventana principal de EAGLE 5.11.

*Elaborado por el investigador.*

En la figura 6.17 se puede apreciar la ventana de diseño esquemático de Eagle, el mismo que para un uso adecuado debe recurrir al manual de usuario.

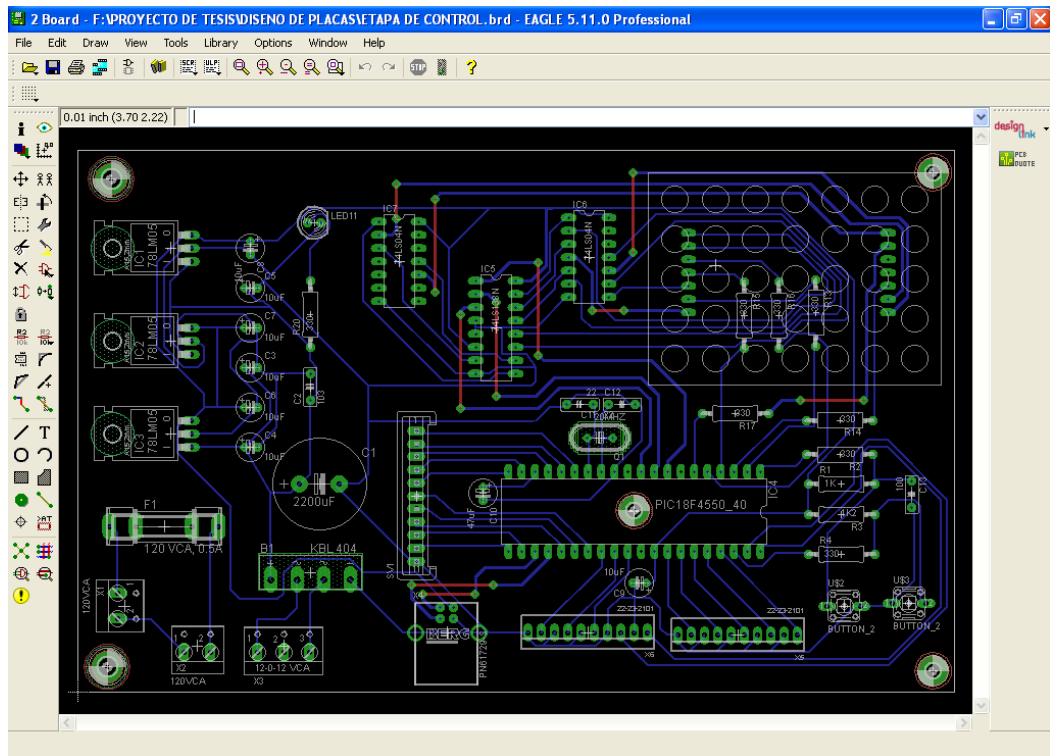


**Figura 6. 17.** Ventana para el diseño esquemático de EAGLE 5.11.

*Elaborado por el investigador.*



A continuación observamos la ventana principal de ruteado de las placas de Eagle 5.11, el mismo que para el uso correcto del mismo debe recurrir al manual de usuario, esta ventana se puede visualizar en la figura 6.18.



*Figura 6. 18. Ventana de Ruteo de Eagle 5.11  
Elaborado por el investigador.*

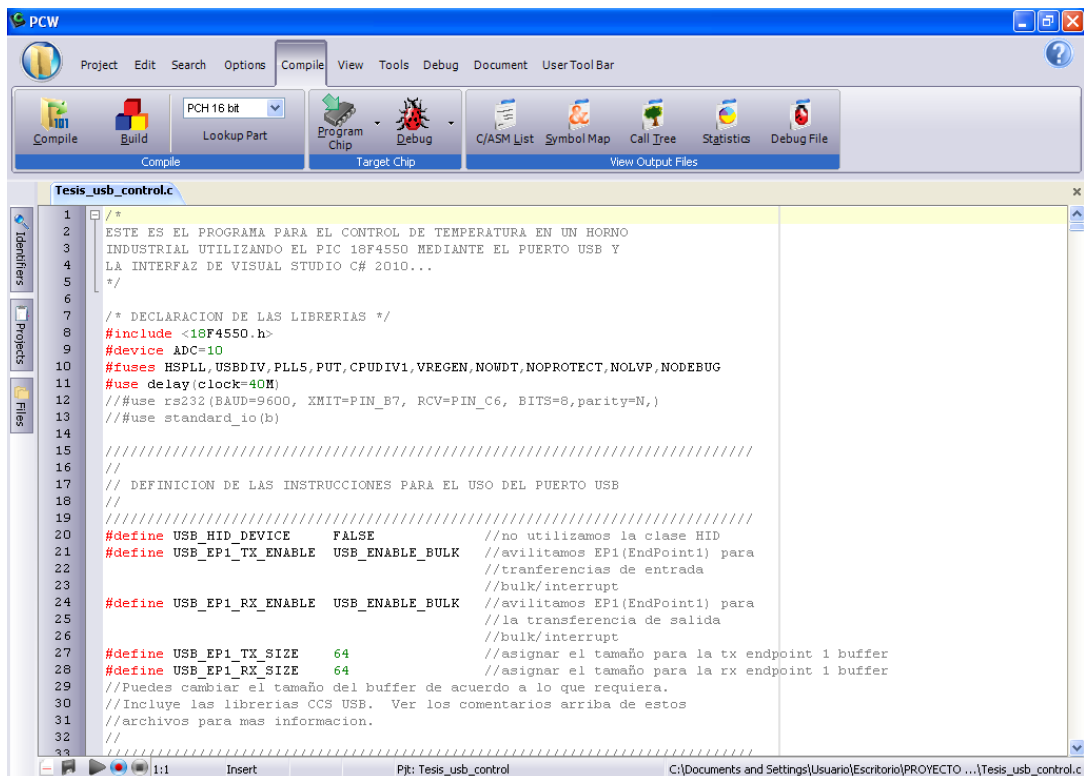
### 6.5.8. PIC C Compiler

Para la programación de Pic se usa una gran variedad de software que existen en el mercado, cada uno de ellos se diferencian por la complejidad en la programación, la cantidad de librerías, dispositivos con características especiales para programar, etc.

Para el proyecto propuesto en esta tesis se ha decidido utilizar el PIC C Compiler, el cual se adapta a las necesidades del mismo. Esto es, tiene soporte para dispositivos que controlen USB como lo es el PIC de la familia de los 18F y en especial el que utilizaremos como el 18F45550 de microchips.

A continuación procedemos a explicar los comandos básicos para la programación y compilación del software.

En la ventana principal del PIC C Compiler mostrada en la figura 6.19 podemos apreciar el panel de proyectos, para poder compilar un programa es necesario crear un proyecto nuevo, de otra manera el programa no se compilará.



*Figura 6. 19. Ventana principal de PIC C Compiler y la creación de un nuevo proyecto.*

*Elaborado por el investigador.*

Para la utilización del software es necesario tener conocimientos básicos en programación, para comprender las diferentes instrucciones con que cuenta este software se recomienda recurrir a la ayuda con que cuenta este software.

### **6.5.9. Controlador PID**

Vale señalar que más de la mitad de los controladores industriales que se usan hoy en día utilizan esquemas de control PID o PID modificado. Los

controladores PID analógicos, son principalmente de tipo hidráulico, neumático, electrónico, eléctrico o sus combinaciones. En la actualidad, muchos de estos se transforman en formas digitales mediante el uso de microprocesadores. Se puede indicar que un controlador PID responde a la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \partial t + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \quad (\text{Ec. } 8)$$

Donde:

$e(t)$  es el error de la señal

$u(t)$  es la entrada de control del proceso

$K_p$  es la ganancia proporcional

$T_i$  es la constante de tiempo integral

$T_d$  es la constante de tiempo derivativa

#### a) Sintonización de controlador mediante ziegler-nichols

En procesos de lazo abierto puede definirse según la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1 + \gamma_0 s} \quad (\text{Ec. } 9)$$

Donde:

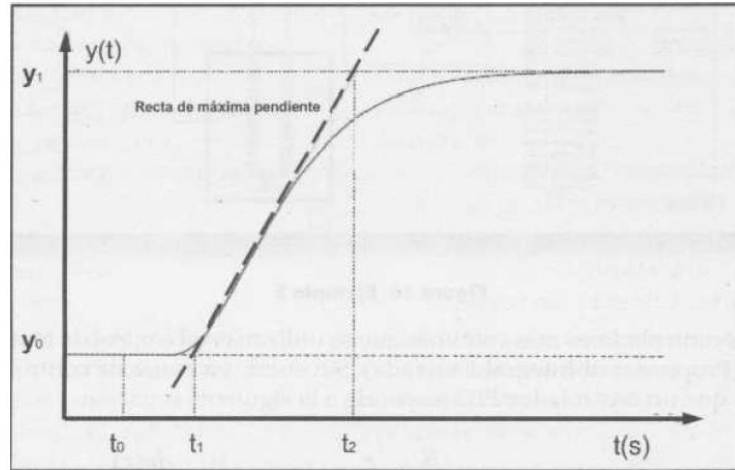
Los coeficientes  $K_0$ ,  $\gamma_0$  y  $\tau_0$  se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón. Se parte del sistema estabilizado en  $y(t) = y_0$  para  $u(t) = u_0$ . Se aplica una entrada escalón de  $u_0$  a  $u_1$  (el salto debe estar entre un 10% y un 20% del valor nominal) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación.

Los parámetros se pueden obtener de la respuesta mostrada en la figura 6.20.

$$\tau_0 = t_1 - t_0 \quad (\text{Ec. } 10)$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1 \quad (\text{Ec. } 11)$$

$$k_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} \quad (\text{Ec. } 12)$$



**Figura 6. 20.** Respuesta de salida ante una entrada escalón.

*Fuente:* [http://www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol\\_congr/industria/MTODOB~1.PDF](http://www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol_congr/industria/MTODOB~1.PDF)

Según Ziegler-Nichols, la relación de estos coeficientes con los parámetros del controlador:

$$K_p = 1.2 \frac{\gamma_0}{k_0 \tau_0} T_i = 2\tau_0 T_d = 0.5\tau_0 \quad (\text{Ec. } 13)$$

## 6.6. METODOLOGÍA

El presente proyecto tiene como finalidad actualizar los datos del horno industrial permanentemente y facilitar el control de la temperatura en el horno.

El sistema diseñado es de fácil uso para los usuarios, este permite el control de las variables desde un software, el cual nos permite adquirir datos para

estadísticas del funcionamiento del horno, el sistema diseñado es de fácil programación.

## **6.7. MODELO OPERATIVO**

### **6.7.1. Etapas del diseño**

#### **a) Diagrama esquemático del circuito de control**

En la figura 6.21 podemos apreciar el circuito del sistema electrónico de control, el mismo que fue desarrollado en la aplicación Eagle.

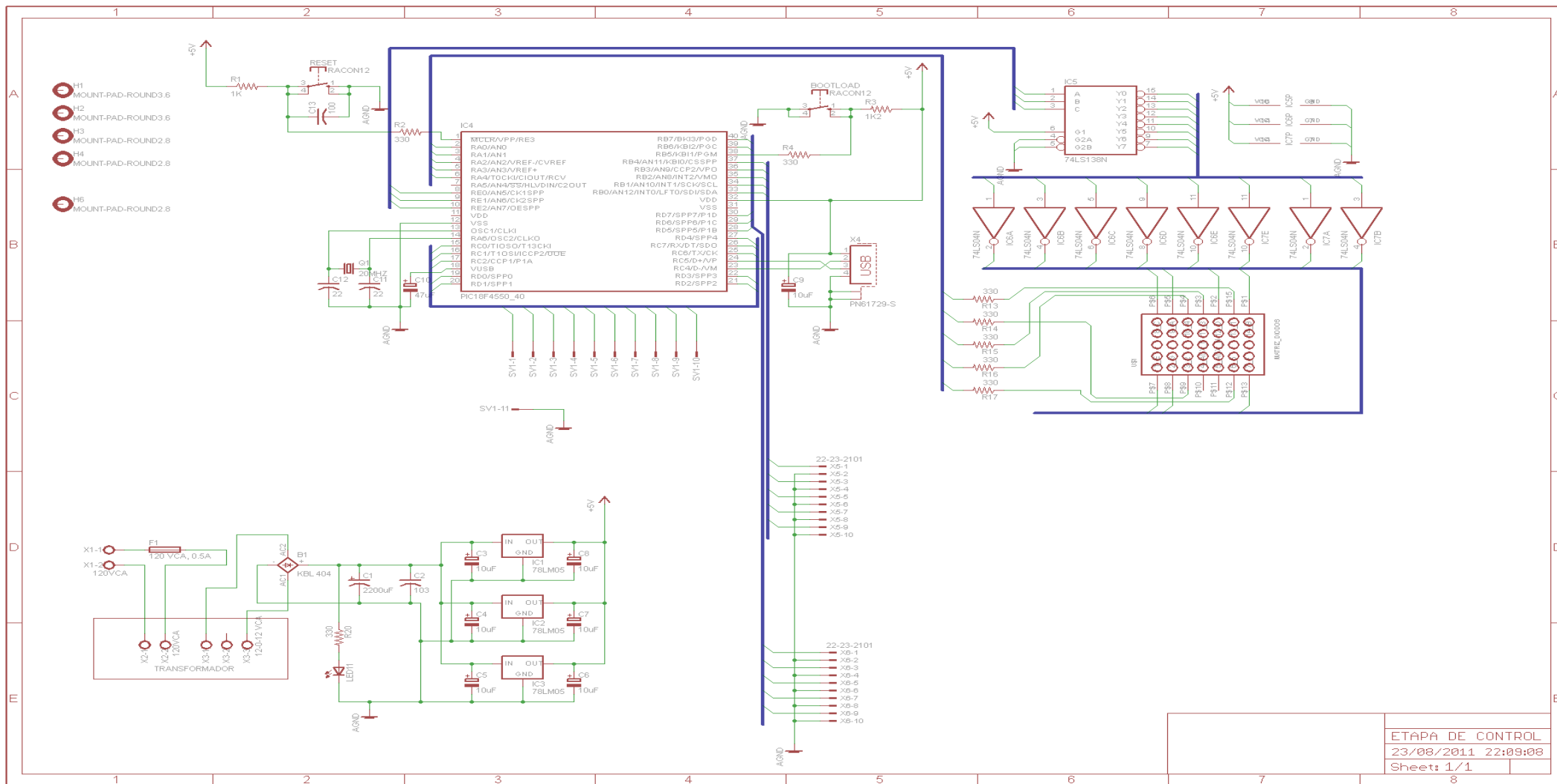


Figura 6. 21. Diagrama esquemático del sistema electrónico de control

Elaborado por el investigador

## b) Desarrollo del hardware

### b.1) Fuente de alimentación lineal de 5V

El circuito electrónico de control requiere una alimentación 5Vcc para su correcto funcionamiento.

A la entrada del circuito suministramos un voltaje de 12VCA, este se obtiene de un transformador reductor de 110VCA a 12VCA, este voltaje ingresa a un puente de diodos que se encarga de rectificar el voltaje alterno, después del rectificado debemos pasar por una etapa de filtrado y regulación a 5VC, como se puede apreciar en la figura 6.22.

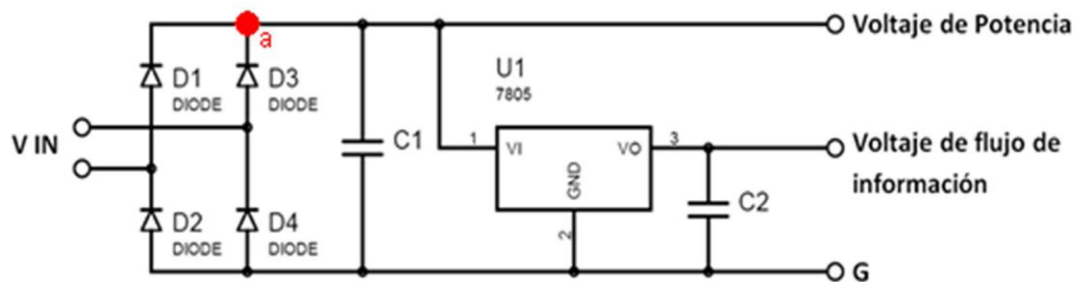


Figura 6. 22. Fuente de alimentación  
Elaborado por el investigador

$$V_{in_{RMS}} = 12Vca$$

$$V_{in_{max}} = V_{in_{RMS}} * \sqrt{2}$$

$$V_{in_{max}} = 16.97Vca$$

$$V_{rpp} = \text{voltaje de rizado en } C1$$

$$V_{rpp} = \frac{IL}{FC1}$$

$$C1 = \frac{IL}{FV_{rpp}}$$

$$\text{Si } V_{rpp} = 4V$$

$$C1 = \frac{2A}{120Hz * 4V}$$

$$C1 = 4116\mu F \cong 4700\mu F$$

$$V_{C1} = Vin_{max} - 2V_d - V_{rpp} + \frac{\sqrt{2} * V_{rpp}}{2}$$

$$V_{C1} = 16.97V - 1.4V - 4V + 2 * \sqrt{2}$$

$$V_{C1} = 14.3V_{cc}$$

$$V_{C2} = 5V_{cc}$$

### b.2) Etapa de entrada del sensor

De acuerdo a las necesidades del proyecto es preciso la utilización de un controlador de temperatura que tenga la capacidad de generar una señal de 4-20mA, el mismo que debe ser configura para que la corriente generada sea proporcional a la temperatura registrada en la termocupla, para esto se debe ubicar una resistencia del valor adecuado y ajustarse a las necesidades del usuario, ver la figura 6.23.

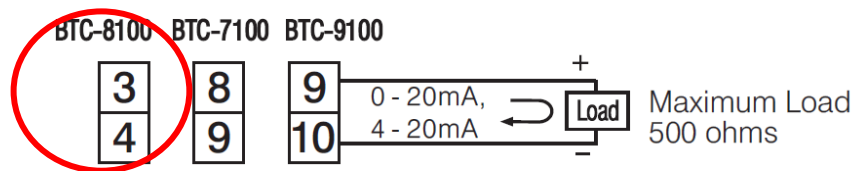


Figura 6. 23. Conexión de la resistencia al lazo de corriente del controlador de temperatura

Fuente: <http://www.brainchild.com.tw/index.asp?lang=5>

Para poder encontrar el valor de la resistencia y el voltaje que se requiere en el proyecto se debe utilizar la fórmula de la ley ohm.

Para calcular el valor de la resistencia utilizaremos los valores máximos que necesitamos en el proyecto y el valor máximo que nos genera el controlador



de temperatura, estos son: voltaje máximo requerido 5V, corriente máxima generada por el pirómetro 20mA, con estos valores calculamos la resistencia:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5V}{20mA}$$

$$\mathbf{R = 250\Omega}$$

En el caso del voltaje es algo similar, pero para este tenemos que considerar los valores máximos y mínimos de la corriente y la resistencia que en este caso será constante, entonces tenemos: Max = 20mA, Imin=4mA y una resistencia de 250  $\Omega$  :

$$V_{max} = I_{max} * R = 20mA * 250$$

$$\mathbf{V_{max} = 5V}$$

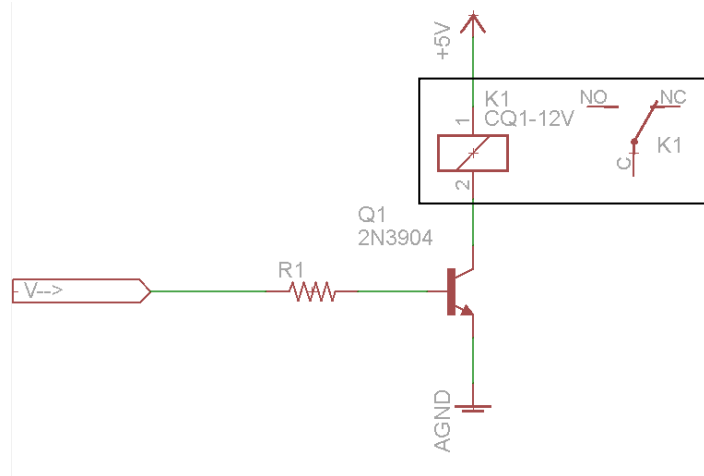
$$V_{min} = I_{min} * R = 4mA * 250$$

$$\mathbf{V_{min} = 1V}$$

### **b.3) Etapa de alarma de emergencia**

El sistema electrónico de control cuenta con una alerta emergencia que será activada en caso de algún error producido en el sistema.

El sistema en caso de alguna falla activara una alerta de emergencia, el que contara con una sirena de 30Watt, para la activación de la sirena es necesario equipos de alta potencia, por tal razón se utilizó un relay, al que se debe alimentarse con 5Vcc necesarios para energizar la bobina y obtener un óptimo funcionamiento del mismo, el que será controlado por una señal generada en el microcontralor, el pulso del mismo se encuentra conectado a la base un transistor 2N3904, el cual actúa como un switch. En la figura 6.24 podemos apreciar el circuito.



**Figura 6. 24.** Circuito de control de alarma  
Elaborado por el investigador

$$I_{C(Q)} = I_{Relay}$$

$$I_{C(Q)} = 500mA$$

$$I_{E(Q)} \cong I_{C(Q)}$$

$$I_B = \frac{I_{C(Q)}}{Hfe_{(Q)}}$$

$$I_B = \frac{500mA}{25}$$

$$I_B = 20mA$$

$$R_1 = \frac{5V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_1 = \frac{4.3V_{CC}}{20mA}$$

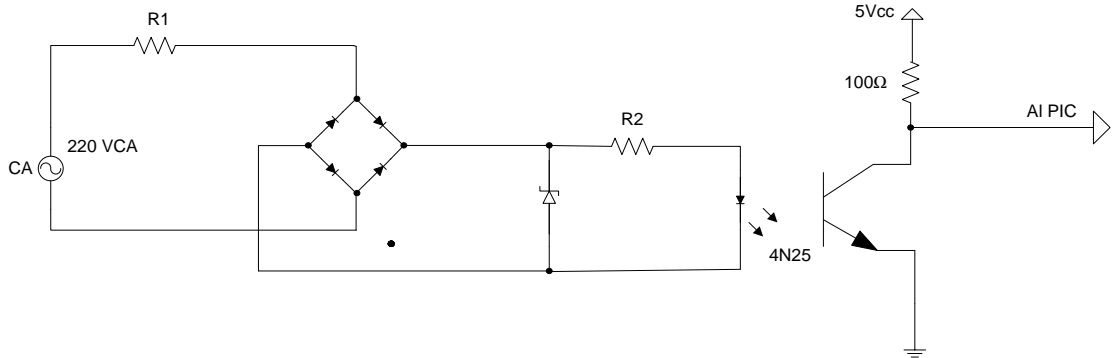
$$R_1 = 215\Omega \cong 220\Omega$$

#### b.4) Diseño de la etapa de potencia

El sistema de control electrónico cuenta con una etapa de potencia, el mismo que nos ayudara al control de la corriente en el banco de resistencias y el aislamiento del circuito de control con la parte de potencia.

Para poder generar el voltaje de carga deseado es necesario controlar el ángulo de disparo del triac, esto se lo realiza por medio de una señal de PWM generada por el microcontrolador, pero este necesita ser sincronizada con la señal de la línea (120Vac, 60Hz), de esa manera se puede controlar el disparo del triac y así controlar adecuadamente el ángulo de fase de la corriente que se requiere aplicar a la carga.

Para la correcta sincronización de la señal de la línea con el PWM, es necesario diseñar un circuito de cruce por cero (ver figura 6.25). Para esto se debe rectificar la señal usando un puente de diodos, luego se debe pasar por un diodo zener que se encarga de regular el voltaje a 5Vcc, después se lleva a un optotransistor en el que se genera la señal para que procese el Microcontrolador.



**Figura 6. 25.** Circuito de cruce por cero

*Elaborado por el investigador*

$$V_{R2} = V_z - V_D$$

$$V_{R2} = 3.9 V$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_f} = \frac{3.9V}{0.01A} = 390\Omega$$

$$P_{R2} = V_{R2} * I_f = 0.039W = 39mW$$

$$V_{RMS} = 220V$$

$$V_p = 220V * \sqrt{2} = 311.12V$$

$$V_{R1} = V_p - V_z - 2V_{DR}$$

$$V_{R1} = 311.12V - 5.1 - 1.4$$

$$V_{R1} = 304.62V$$

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = \frac{304.62V}{20mA} = 15,23\Omega$$

$$P_{R1} = V * I$$

$$P_{R1} = 304.62V * 0.02 = 6.09W$$

$$I_{PD} = I_f + I_z$$

$$I_{PD} = 20mA$$

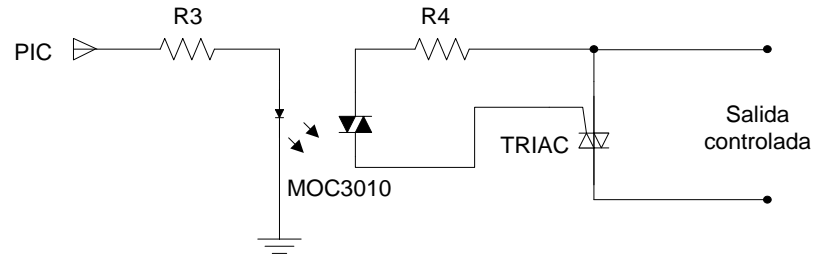
Los valores escritos en algunos de los elementos son sugeridos por el fabricante.

Para poder generar el voltaje deseado en la carga es necesario controlar el disparo del triac en el momento adecuado. Esto se lo puede realizar una vez que se detecte los cruces por cero, entonces al haber detectado al cruce por cero es posible generar la señal PWM por medio del Microcontrolador.

La señal de la línea se caracteriza por tener una frecuencia de 60 Hz, pero su semiciclo es de 120 Hz, y como se debe enviar la señal de disparo al triac

tanto en el ciclo positivo como en el ciclo negativo es necesario generar un PWM con frecuencia de 120 Hz.

Para poder hacer un control adecuado del disparo del triac se debe diseñar un circuito aislador, el mismo que separa la etapa de control digital y la etapa de potencia, ver figura 6.26.



*Figura 6. 26. Circuito aislador  
Elaborado por el investigador*

$$R_3 = \frac{5V_{cc}}{10mA} = 500\Omega \cong 470\Omega$$

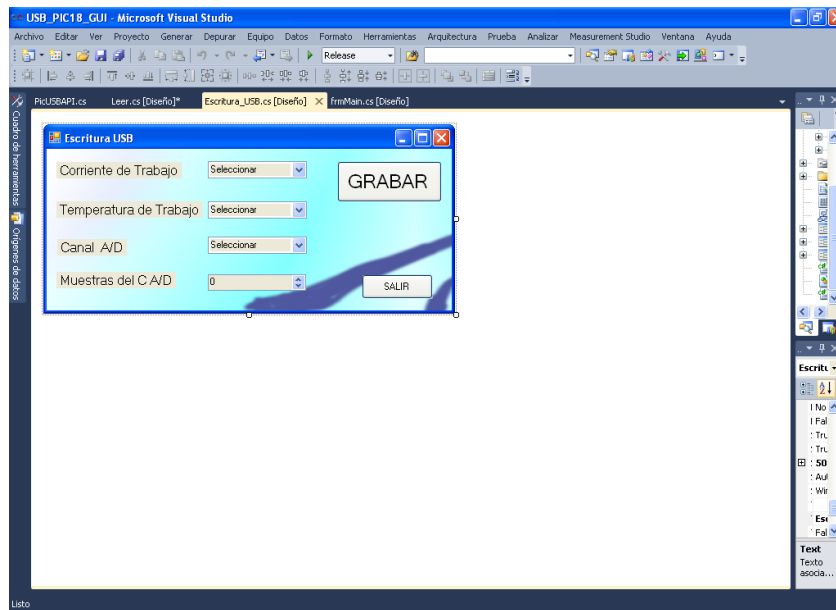
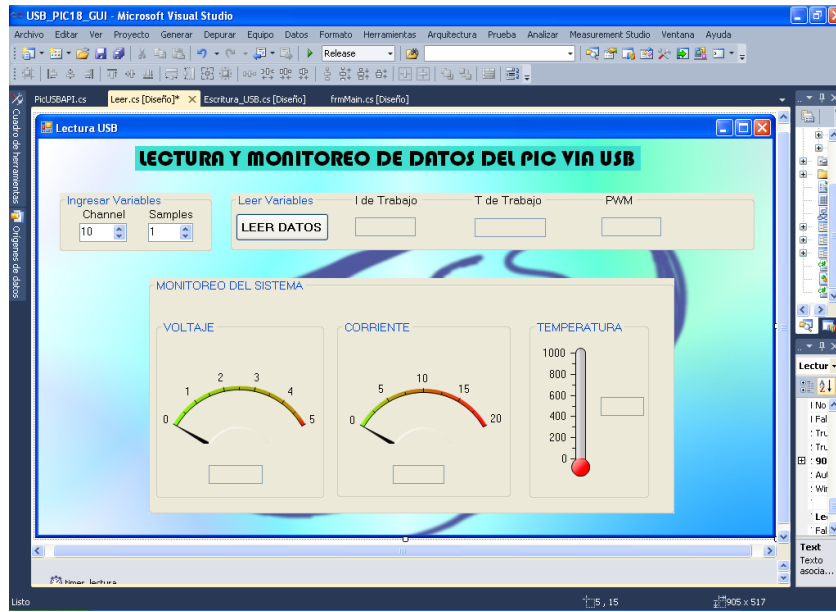
$$R_4 = \frac{311.12V_{cc}}{100mA} = 3111,2\Omega \cong 3k1\Omega$$

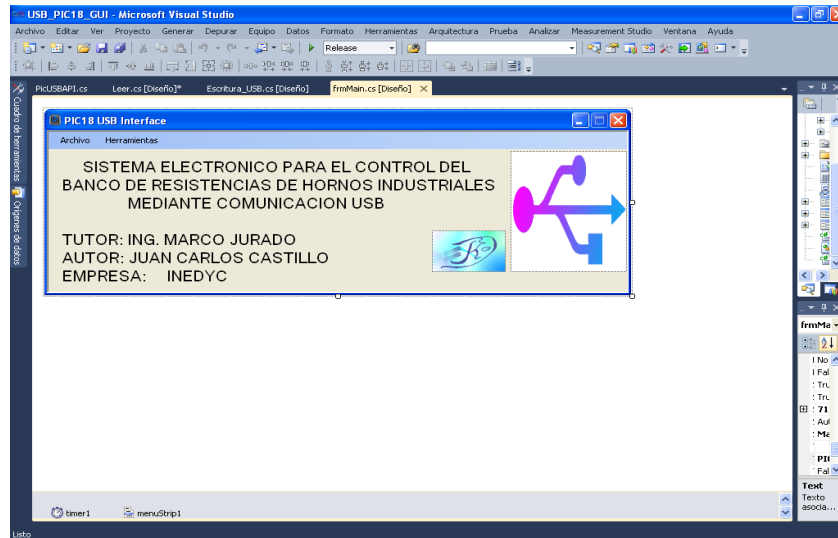
### c) Desarrollo del Software

#### c.1) Diseño del Software de Configuración en C#

El diseño del software de configuración en C#, mediante esta aplicación el usuario puede interactuar con el sistema de control, este nos permite configurar los parámetros de control y de la misma manera esta aplicación nos permite monitorear el sistema.

Mediante el uso de la herramienta Visual C#, se creó el ambiente de configuración y monitoreo, el mismo que se lo puede apreciar en la figura 6.27, este utiliza comunicación USB 2.0 el cual es compatible con el sistema electrónico.





*Figura 6. 27. Diseño del Software de configuración en C#  
Elaborado por el investigador*

Aquí, se permite la operación de:

- Edición de temperatura y corriente

Aquí el usuario puede seleccionar la temperatura y corriente de operación del horno, los mismos que se encuentran en valores absolutos de 0°C a 1100°C con diferencia entre ellos de 100°C en el caso de la temperatura y 10A a 80A en el caso de la corriente.

- Edición del puerto A/D

Puerto A/D del PIC, aquí se selecciona el puerto A/D en el que se encuentra conectada la señal del sensor, el Pic dispone de 13 puertos A/D, estos pueden ser consultados en el Datasheet del mismo. Como también se puede configurar el número de muestreos.

- Monitoreo de datos

El software tiene la opción de monitorear los datos del horno y del sistema de control, el cual nos ayudara en ciertos casos a verificar que los datos procesados sean los correctos.

### **c.2) Funcionamiento interno del software**

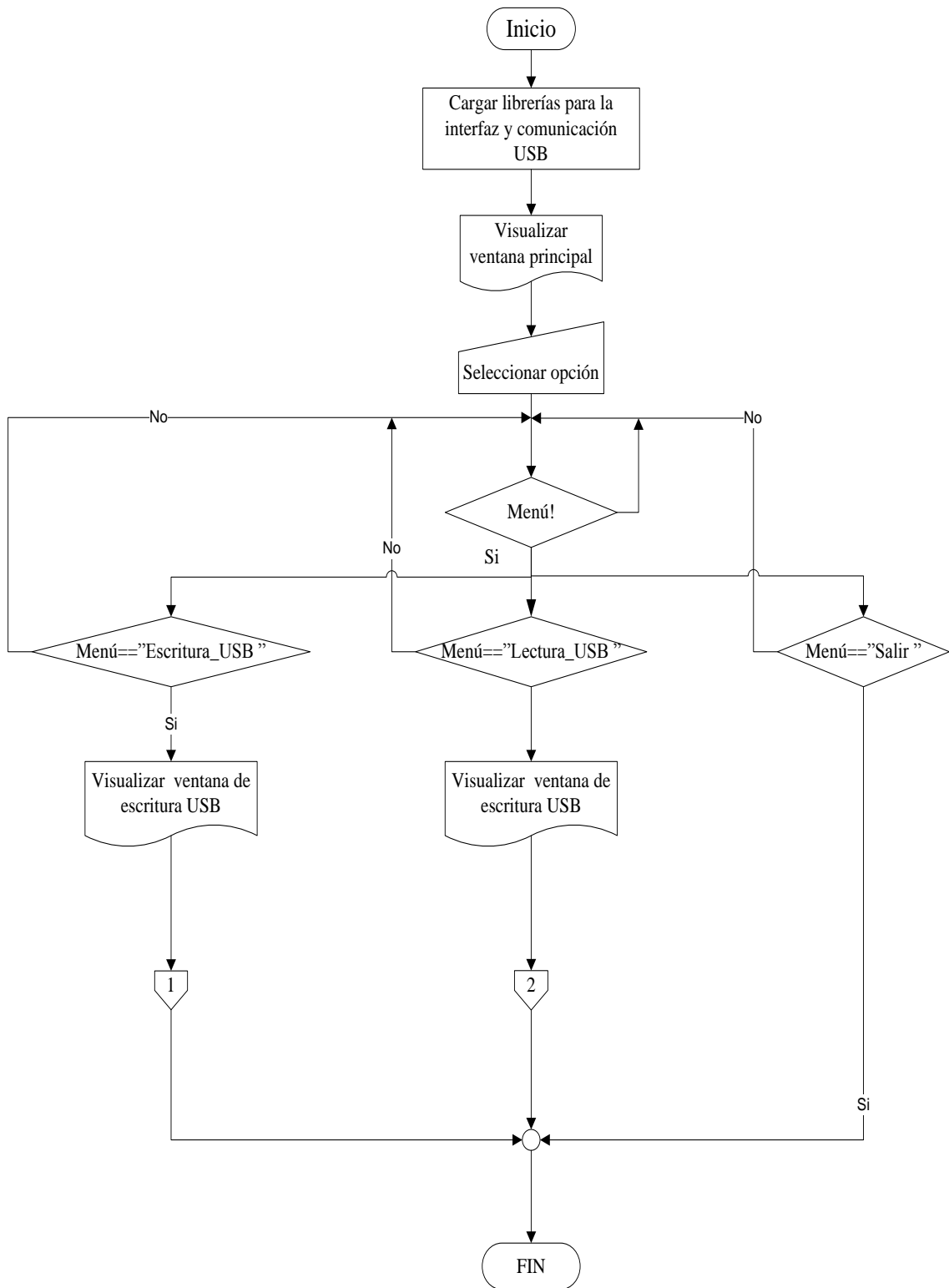
En base a la comunicación del PIC con la PC, el mismo que se trata de una comunicación USB 2.0, la aplicación necesita librerías adicionales para la correcta transmisión de datos entre la interfaz y el hardware.

En esta se debe hacer referencia a la librería para el control del puerto USB, en el caso de la programación, pero de la misma manera es necesario incluir el archivo en la carpeta donde se está guardando la aplicación.

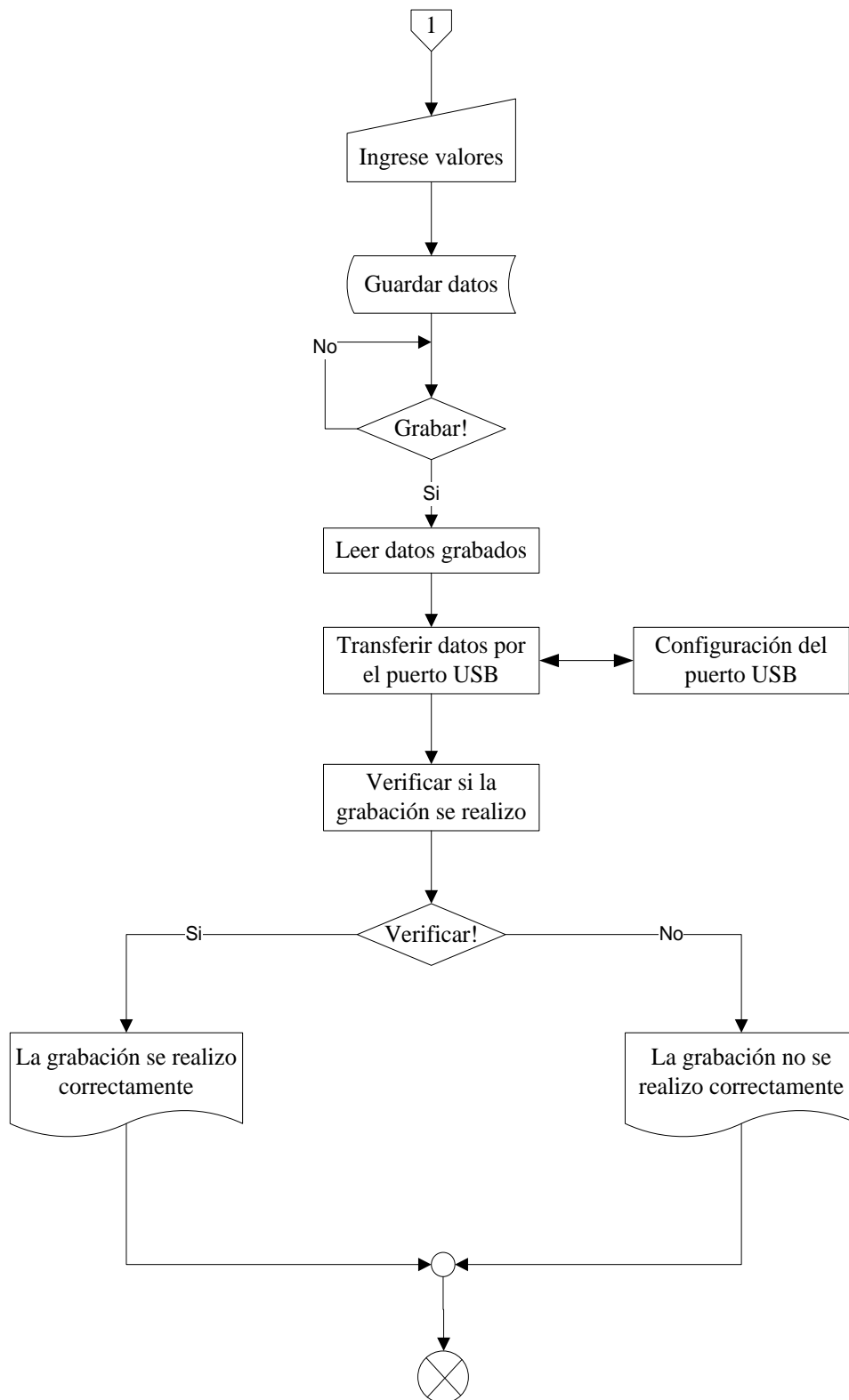
A continuación podemos apreciar el diagrama de flujo de la interfaz de configuración, ver figuras, desde la 6.28 hasta la 6.30.

### **c.3) Programación de la ventana principal**





**Figura 6. 28.** Diagrama de flujo de la interfaz (1/3)  
Elaborado por el investigador



**Figura 6. 29.** Diagrama de flujo de la interfaz (2/3)

*Elaborado por el investigador*

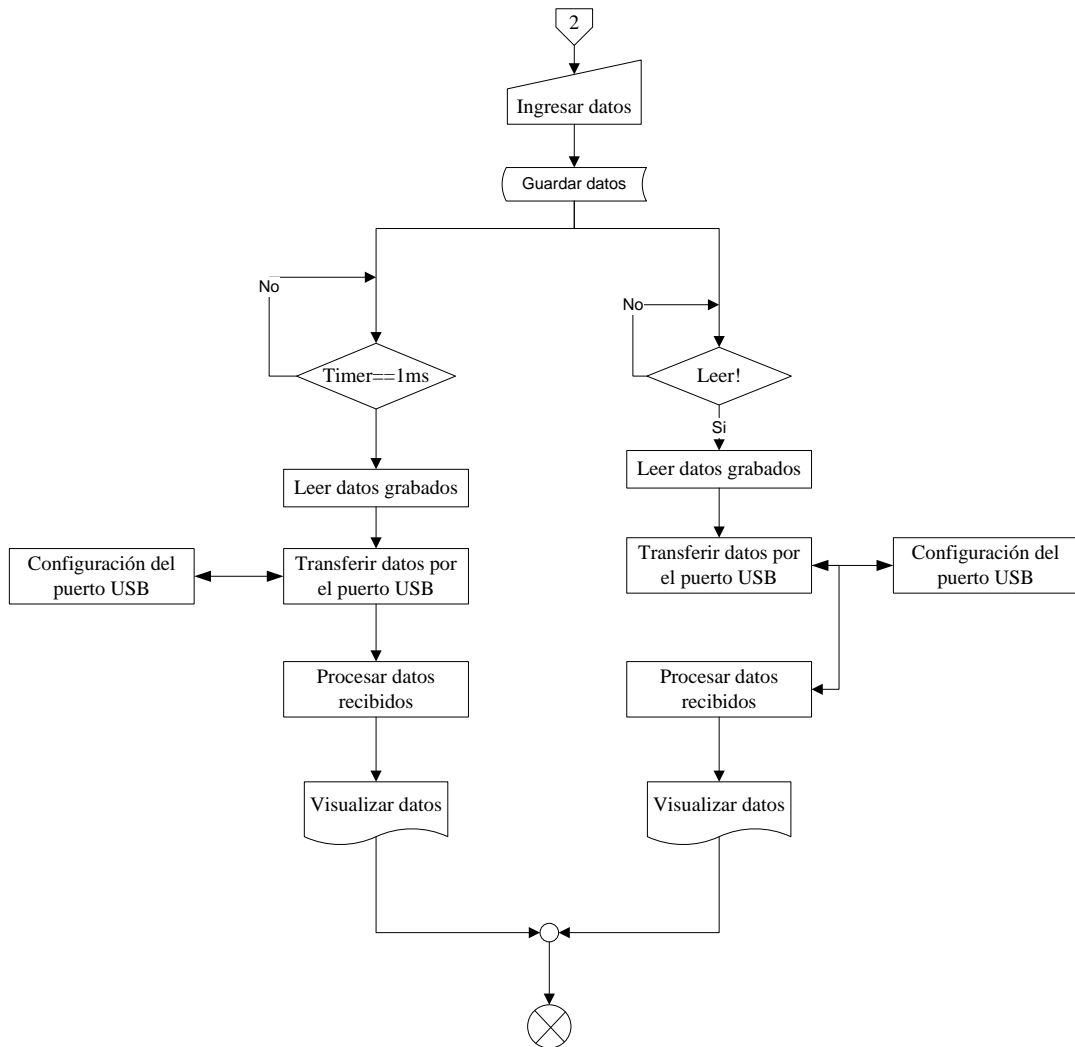


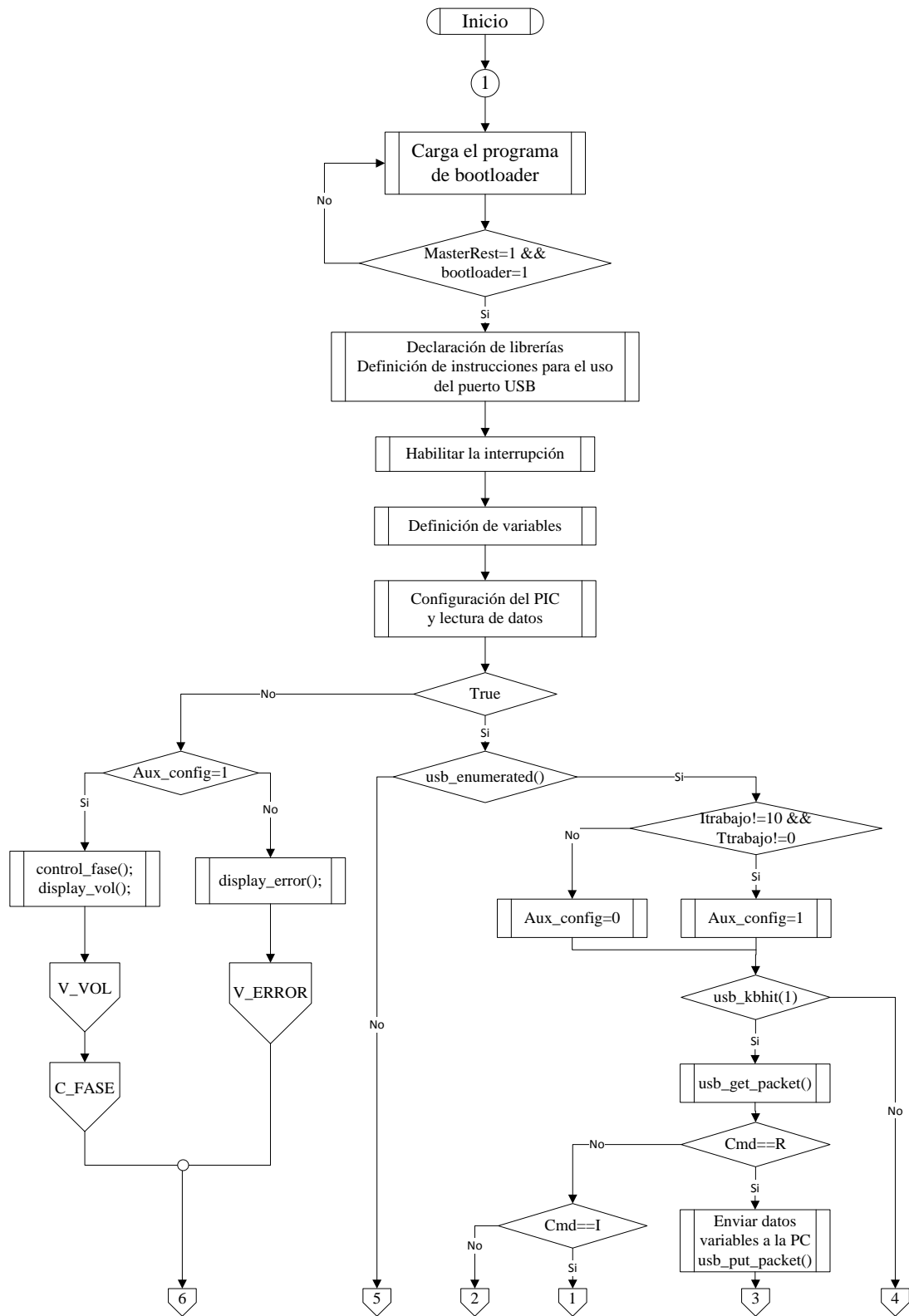
Figura 6. 30. Diagrama de flujo de la interfaz (3/3)

Elaborado por el investigador

#### d) Software del PIC18F4550

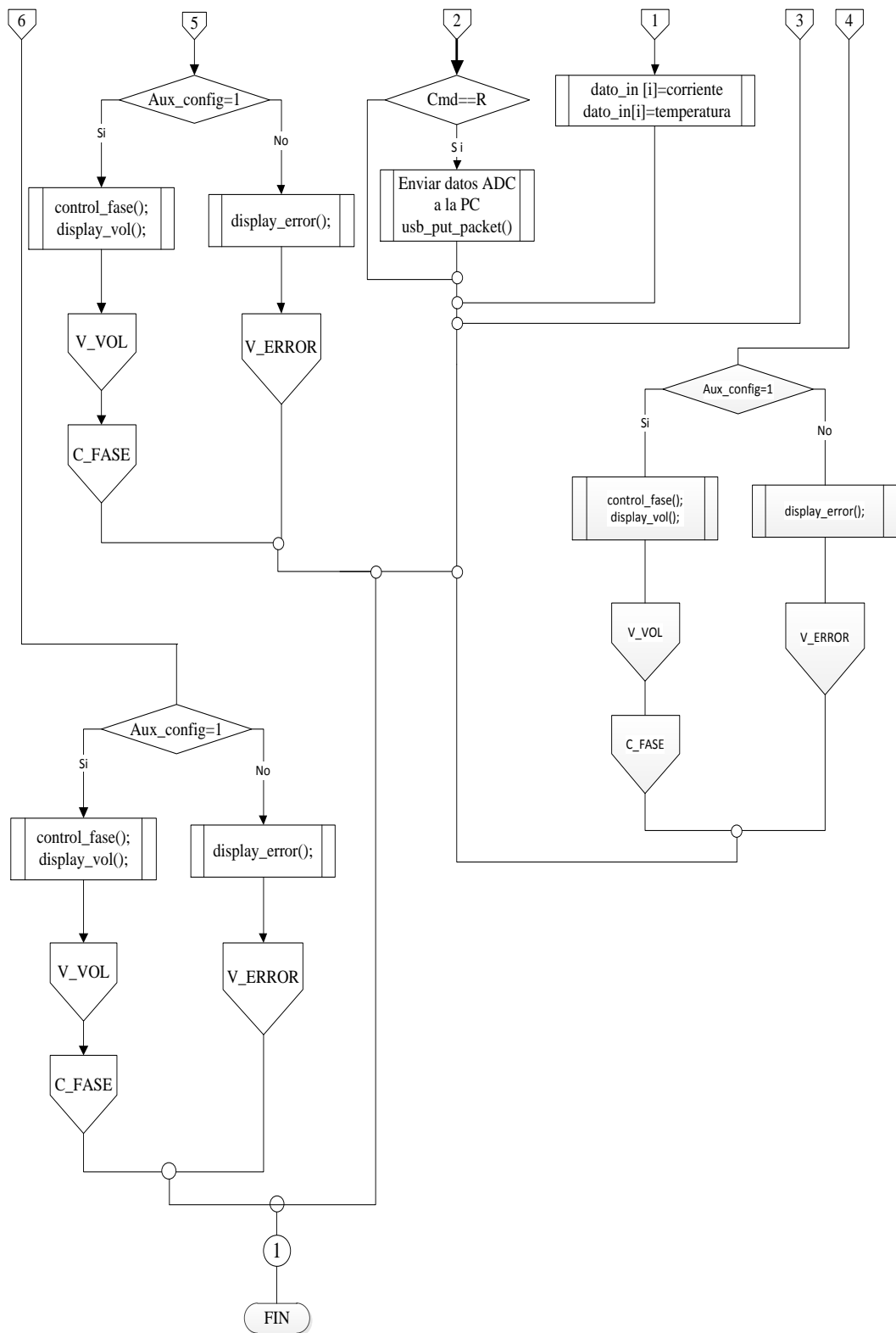
De la misma manera que en el caso de la interfaz de configuración de la PC, en el PIC también debemos hacer referencia a la librería USB, pero este debe ser añadida al PIC para el correcto funcionamiento.

A continuación podemos ver el diagrama de flujo de la programación del PIC (ver figuras desde la 6.31 hasta la 6.34). El mismo que fue desarrollado bajo el lenguaje de PIC C Compiler.



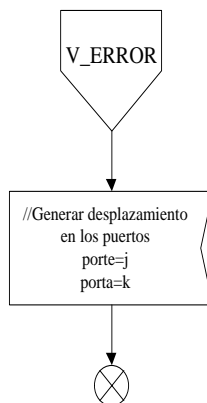
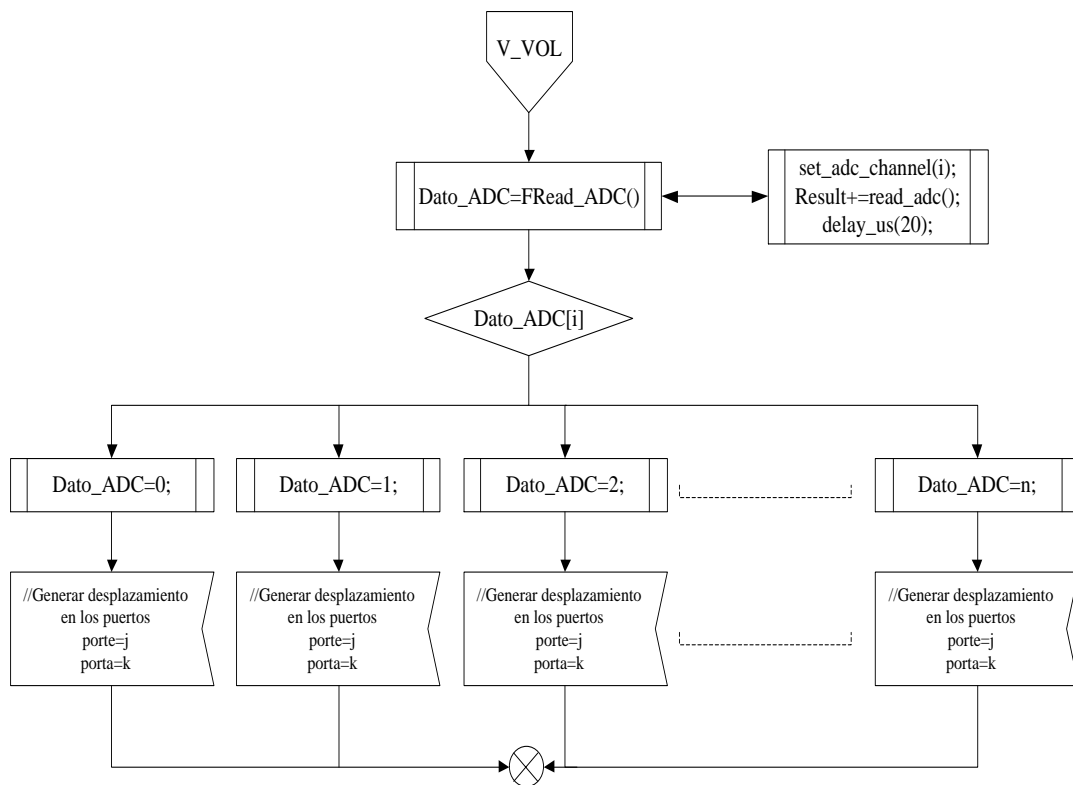
**Figura 6. 31.**Diagrama de flujo del microcontrolador (1/4)

Elaborado por el investigador

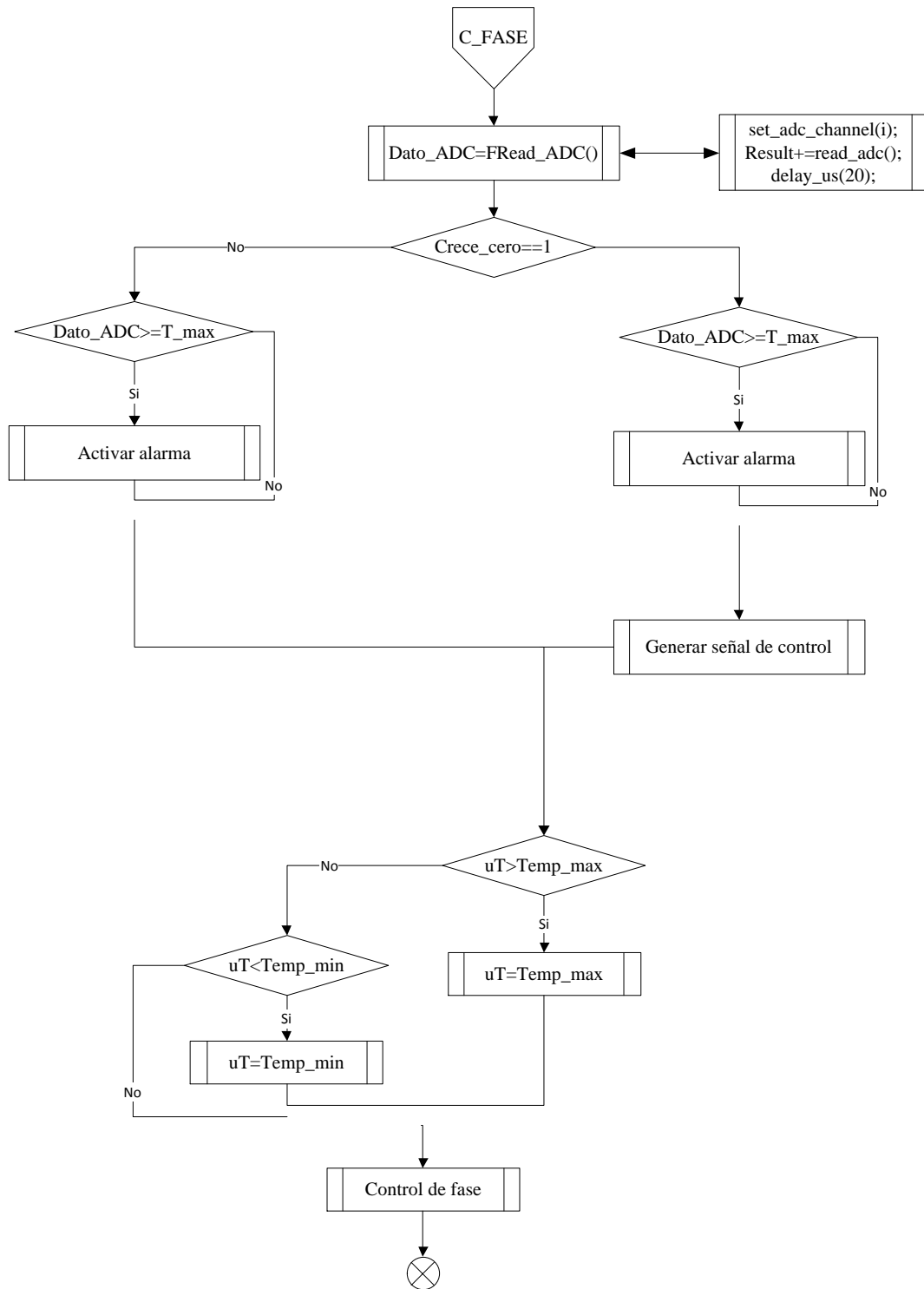


**Figura 6. 32.** Diagrama de flujo del microcontrolador (2/4)

*Elaborado por el investigador*



**Figura 6. 33.** Diagrama de flujo del microcontrolador (3/4)  
Elaborado por el investigador



**Figura 6. 34.** Diagrama de flujo del microcontrolador (4/4)

Elaborado por el investigador

**e) Diagrama esquemático**

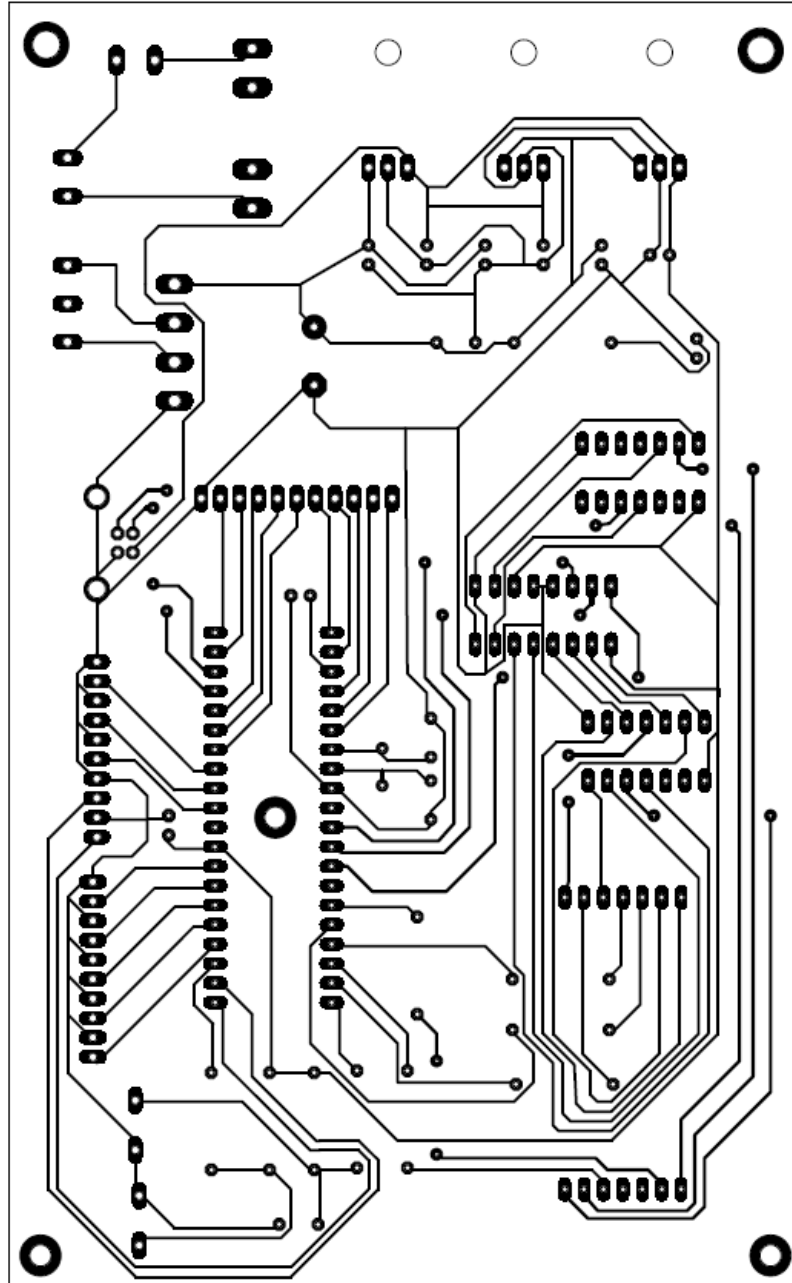
Considerando los parámetros determinados anteriormente y los datos proporcionados por el fabricante en notas de aplicación de cada elemento para un correcto funcionamiento, se procede a integrar todos los elementos en un solo diagrama, ver figura 6.35., de esta manera se visualiza esquemáticamente el flujo de la información durante el modo de operación del dispositivo.

El diseño del diagrama esquemático, permite distribuir el espacio físico de la placa ubicando adecuadamente los elementos en lugares convenientes seleccionados por el investigador, el mismo que se hace referencia en la figura 6.36 y la figura 6.37, esto permite tener referencias en mantenimientos, reparación si se presenta el caso, la escalabilidad del equipo, para análisis de funcionamiento a quien interese.

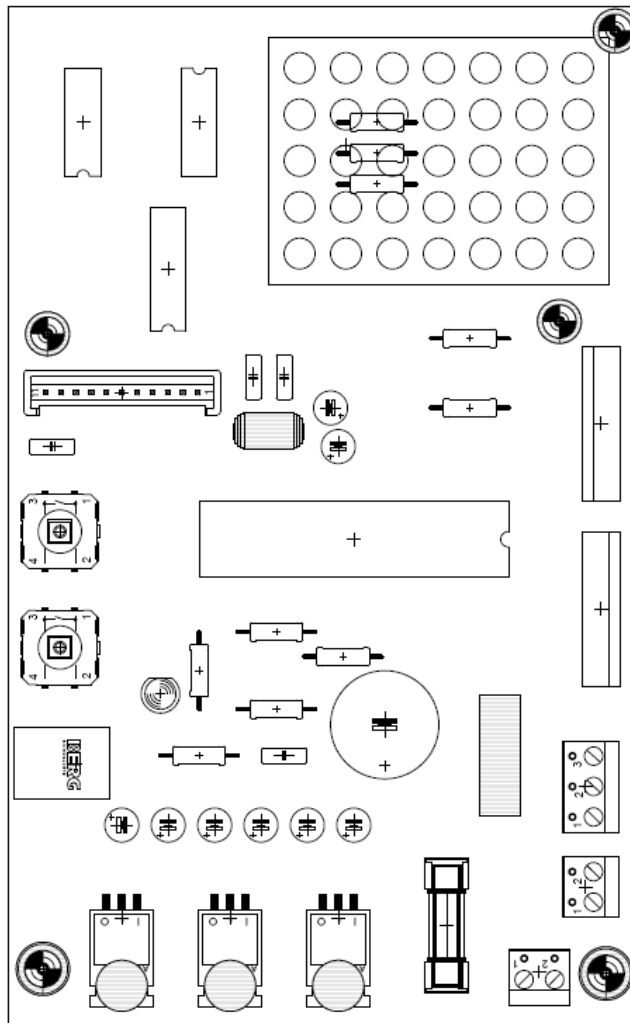




f) Diagrama de circuito impreso



*Figura 6. 36. Circuito Impreso  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 37. Distribución de los elementos en la placa  
Elaborado por el investigador*

### **g) Configuración del controlador de temperatura**

Para la correcta utilización de las teclas, mandos y configuraciones del controlador de temperatura debemos recurrir al manual de usuario que nos proporciona el fabricante, por tal razón se tomo lo más importante del manual para una explicación de la configuración esto lo podemos ver en el anexo B.

En la tabla 6.5 podemos apreciar las configuraciones realizadas al controlador de temperatura BTC- 8100:

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
SP1	Punto de ajuste para la salida 1	25.0°C
LOCK	Seleccionar parámetros que estén bloqueados	0
INPT	Seleccionar sensor de entrada	0
UNIT	Seleccionar unidad de temperatura de entrada	0
DP	Seleccionar el punto decimal	0
INLO	Valor bajo de escala de la entrada	0.0°C
INHI	Valor alto de escala de la entrada	1000°C
SP1L	Limite bajo del valor del punto de ajuste	0°C
SP1H	Limite alto del valor del punto de ajuste	1000°C
SHIF	Valor de cambio PV (compensación)	0.0
FILT	Constante de tiempo de impregnación del filtro de PV	2

PB	Valor de la banda proporcional	100
TI	Valor del tiempo de integración	100
TD	Valor del tiempo de derivación	25.0
OUT1	Función de la salida 1	1
O1TY	Tipo de señal de la salida 1	3
O1FT	Modo de transferencia de falla de la salida 1	0
CPB	Valor de la banda proporcional de enfriamiento	100
DB	Banda muerta del calentamiento-enfriamiento(valor negativo=transición)	0
ALFT	Modo de transferencia de falla de alarma	0
COMM	Funciones de comunicación	1
BAUD	Muestro en baudios de la comunicación digital	2
DATA	Cantidad de bit de datos de la comunicación digital	1

PARI	Bit de paridad de la comunicación digital	0
STOP	Cantidad de bit de parada de la comunicación digital	0

*Tabla 6. 5. Configuración del controlador de temperatura BTC-8100  
Elaborado por el investigador*

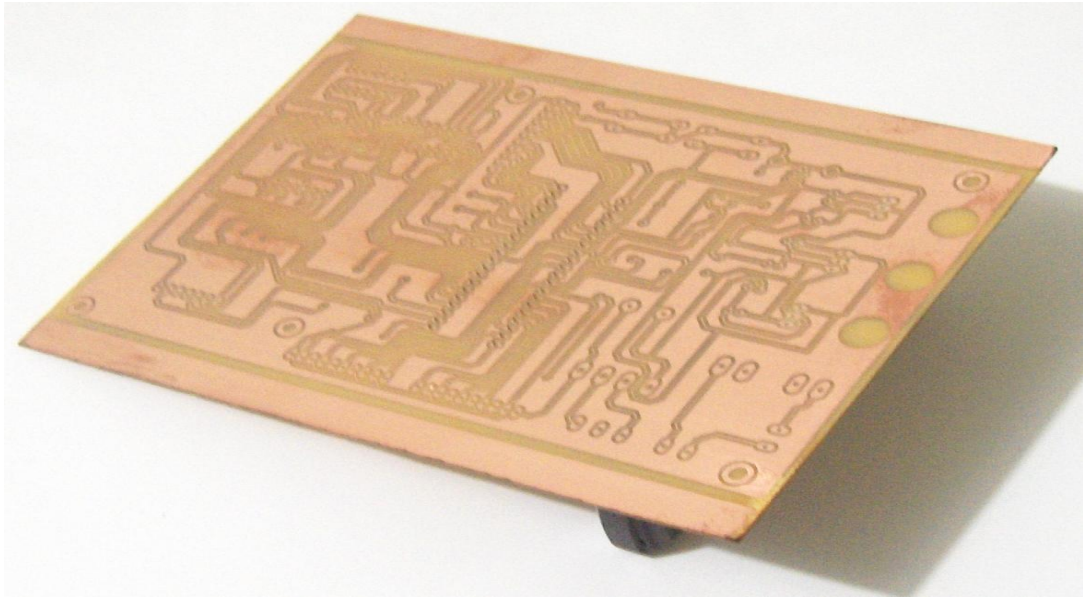
## **h) Implementación**

Una vez concluido con el diseño, y las respectivas pruebas realizadas para comprobar la operación de las diferentes etapas se procede a implementar.

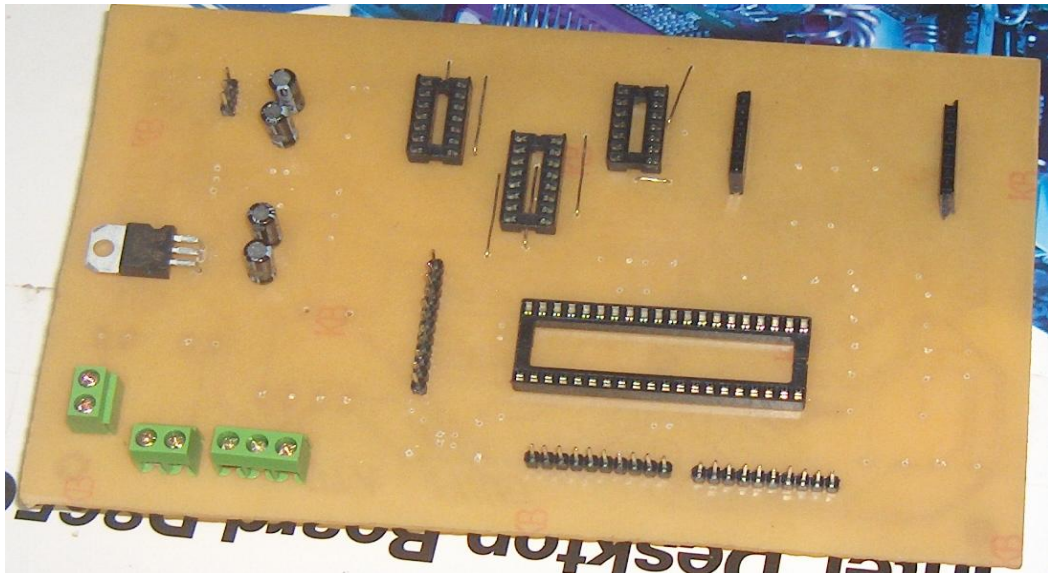
Tanto el diseño del diagrama esquemático como el ruteado de las pistas fueron desarrolladas en el software Eagle, esto por las facilidades que presenta al momento del diseño, el mismo que cuenta con librerías de todos los elementos disponibles en el mercado.

Como ya se cuenta con el diseño del circuito impreso, este se procede a plasmar en la baquelita usando una hoja de transferencia, para luego ser corroído en cloruro férrico, después se procede a limpiar, perforar y soldar los elementos en sus respectivos lugares.

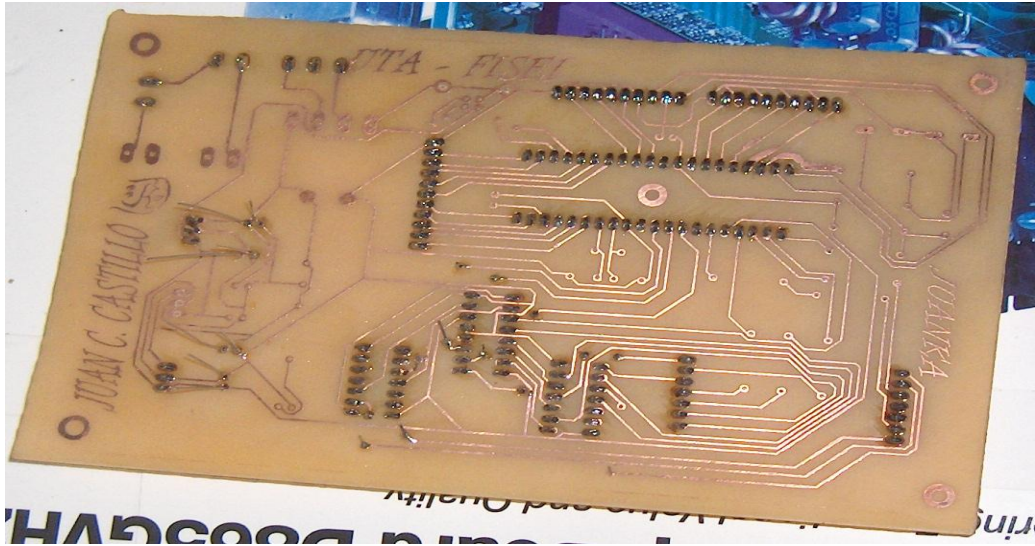
El proceso de implementación se lo puede apreciar desde la figura 6.38 hasta la figura 6.44.



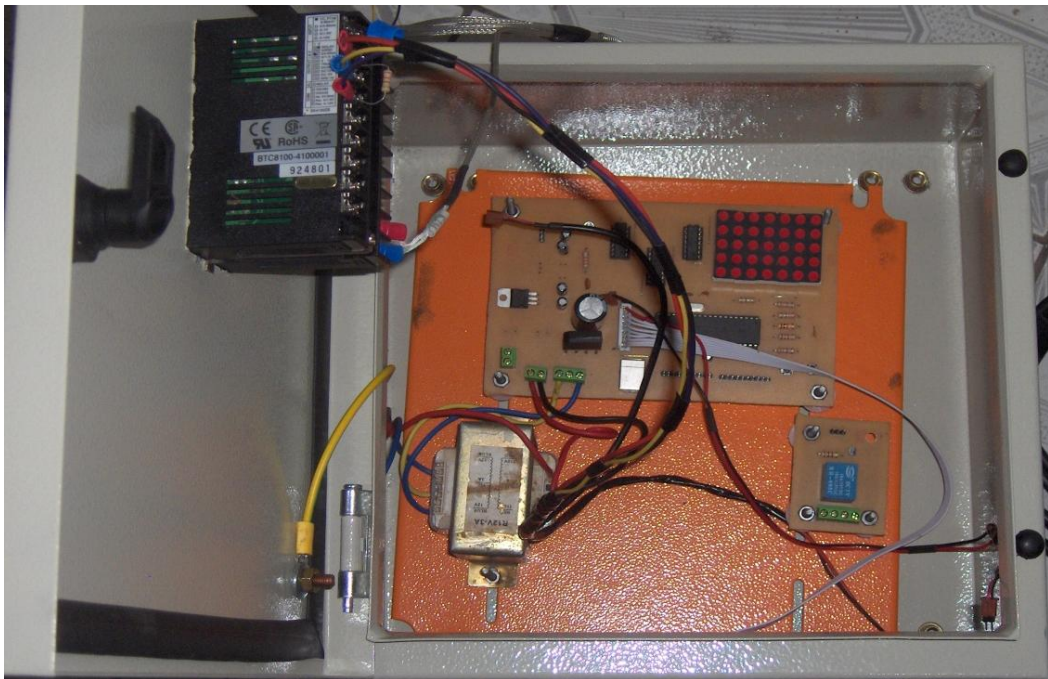
*Figura 6. 38. Proceso corroído y perforación de la baquelita  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 39. Proceso de soldadura de los elementos (anverso)  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 40. Proceso de soldadura de los elementos (reverso)  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 41. Aspecto final (interior)  
Elaborado por el investigador*





*Figura 6. 42. Aspecto Final (Parte Frontal)  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 43. Funcionamiento del sistema electrónico de control (frente)  
Elaborado por el investigador*



*Figura 6. 44. Funcionamiento del sistema electrónico de control (interior)  
Elaborado por el investigador*

## **6.8. ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **6.8.1. Datos técnicos del sistema electrónico de control**

Voltaje de entrada 110 VCA

Corriente de consumo 2A

El presente proyecto está dirigido a los operadores de los equipos, jefes y técnicos de mantenimiento, con el cual se les facilita y mejora la funcionalidad y estabilidad de los hornos industriales de resistencia.

Este proyecto tiene como finalidad mejorar la estabilidad de temperatura del horno por esta razón se procedió al diseño un circuito de control, el cual consta de un microcontrolador que gobernara la funcionalidad del sistema, por las diferentes ventajas se utilizo el PIC18F4550, con el que se puede realizar el control de fase utilizando PWM, aprovechando la característica de este Pic, de la misma manera se procedió al diseño una interfaz grafica en

Visual C#, con esta interfaz podemos configurar el microcontrolador de acuerdo a la carga que se utilice, aquí también podemos seleccionar la temperatura deseada, esto se lo realiza mediante comunicación USB entre el pic y pc, esto se lo puede realizar por que el microcontrolador tiene soporte USB, por seguridad del sistema la configuración del microcontrolador debe ser hecho solo por personal autorizado.

A continuación se procederá a detallar el funcionamiento del sistema electrónico de control:

a) Como primer punto tenemos el circuito de control, el cual consta de dos botones de control, estos son:

- Master Reset.- este botón solo puede ser utilizado para reiniciar el microcontrolador en caso de algún error o bloqueo del Pic, esta opción debe ser realizado solo por personas autorizadas.
- Bootloader.- este botón nos permite ingresar al modo de programación del Pic, pero para poder ingresar a modo programación de debe tener presionado el botón Master Reset y Bootloader, pero a esta opción solo pueden acceder solo personal autorizado.

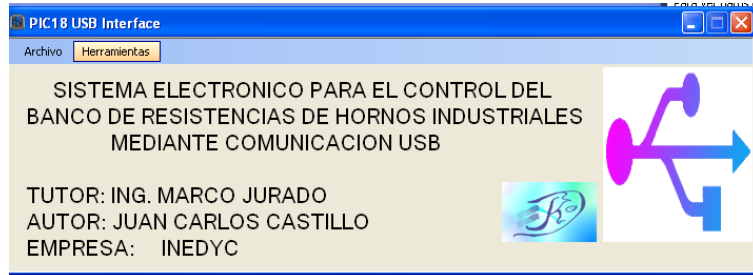
#### **a) Manual de operación del software de configuración**

A continuación procederemos a las instrucciones fundamentales para el uso correcto de la aplicación.

- Primero debemos instalar la aplicación en un ordenador con sistema operativo Windows, se recomienda instalar en un sistema operativo de 32 Bits.
- Después de haber instalado la aplicación en el ordenador correctamente, debemos conectar el hardware o circuito de control al ordenador, puesto que la comunicación del sistema es USB es

necesario instalar los controladores, como cualquier dispositivo USB, los mismos que se encuentran en la carpeta de instalación.

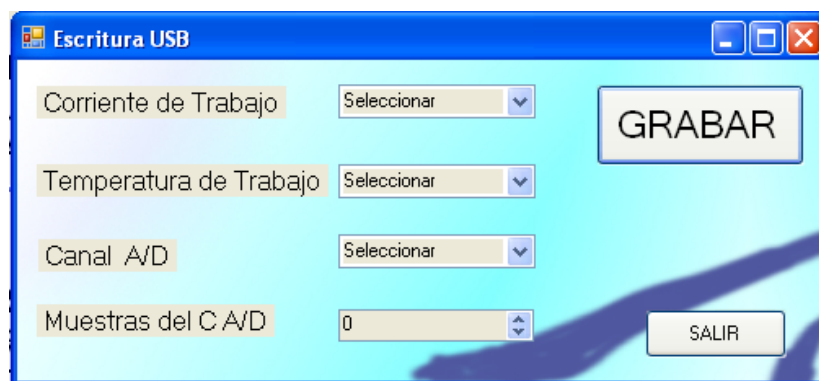
- Una vez instalado la aplicación y los controladores correctamente procedemos a abrir el mismo dando doble clic en el icono PIC18USB y este visualizará la ventana principal (ver figura 6.45).



*Figura 6. 45. Ventana principal del software de configuración  
Elaborado por el investigador*

Para fácil manipulación de los usuarios, la interfaz se encuentra desarrollada en un entorno amigable y este mejora el flujo de información.

Una vez abierto la aplicación, en el menú de herramientas tenemos las opciones de escritura USB en el cual podemos hacer las configuraciones de acuerdo a las necesidades del usuario (ver figura 6.46) o también podemos seleccionar lectura USB, en este podemos leer datos del PIC y monitorear en tiempo real el funcionamiento del horno (ver figura 6.47).



*Figura 6. 46. Ventana de Configuración del PIC  
Elaborado por el investigador*



**Figura 6. 47.** Ventana de Lectura y monitoreo del PIC

*Elaborado por el investigador*

Para poder leer los datos del microcontrolador se necesita ingresar el número del puerto del canal A/D del PIC, de la misma manera se necesita ingresar el número de muestreo que se desea que realice.

Por otro lado la interfaz de configuración de escritura se encuentra desarrollada en un entorno amigable para facilidad del usuario.

También necesitamos seleccionar el canal A/D por el cual se desea recibir los datos del controlador. Como también se puede configurar el número de muestras.

- Los valores disponibles para la configuración en el software son valores fijos.

El software cuenta un verificador de grabación de datos, el mismo que verifica si los datos grabados en el Pic son los mismos que selecciono el usuario en la interfaz.

## **b) Mantenimiento del sistema de control**

Con el propósito de prevenir fallas y garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo periódicamente.

Si el daño no es significativo, este puede ser solucionado por el personal técnico de la empresa, sin embargo siempre es necesario coordinar el mantenimiento con el investigador.

Debido a que la configuración se realiza mediante el puerto USB este necesita ser realizado directamente en el sitio donde se ubique el equipo.

Si la falla del sistema es interno o de programación del PIC se recomienda realizar el mismo con el investigador.

## **6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Como en todo ámbito se tienen la innovación, la tecnología no es una excepción, hoy en día este es un factor importante para el desarrollo, por tal motivo el presente proyecto es de fácil escalabilidad.

Las comunicaciones hoy en día es algo esencial para la transmisión de información de cualquier ámbito, en nuestro caso datos para el control de sistema de control de temperatura.

De la misma forma como se puede tener muchas ventajas sobre una nueva tecnología velocidad de transmisión, mayor cantidad de información transmitida, reducción de costos, etc., también podemos tener desventajas como pueden ser las distancias de transmisión.

Por eso hemos visto la necesidad de incursionar en otro medio de comunicación como es el Ethernet, con el cual mejoramos en algunos parámetros pero también vamos a tener alguna desventaja, pero estas son mínimas.

## 6.10. PRESUPUESTO

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	
			Unitario	Total
1	Baquelita 20x30	2	4.00	8.00
2	Pic 18F4550	1	20.00	20.00
3	Laminas de transferencia térmica	10	0.70	7.00
4	Regulador LM7805	2	0.60	1.20
5	Controlador de temperatura BTC-8100	1	150.00	150.00
6	Resistencias de 330Ω - 1/4W	15	0.05	0.75
7	Resistencias de 1KΩ - 1/4W	3	0.05	0.15
8	Resistencia de 250Ω - 1/2W	1	0.05	0.05
9	Resistencia de 3K – 1/2W	1	0.05	0.05
10	Conector USB hembra	1	1.00	1.00
11	Borneras de 2 tornillos	6	0.15	0.90
12	Borneras de 3 tornillos	2	0.35	0.70
13	Leds 5mm, alto brillo	5	0.20	1.00
14	Puente de diodos	1	1.20	1.20
15	Cable USB	1	5.00	5.00
16	Matriz de led 5x7	1	7.00	7.00
17	I.C. 7404	2	1.00	2.00
18	I.C. MOC3010	1	1.00	1.00
19	Transistor NPN 2N3904	2	0.10	0.20
20	Relé 5V	1	0.50	0.50
21	Bus de datos	2	1.00	2.00
22	Capacitor cerámico 22pF/50V	2	0.09	0.18
23	Capacitor cerámico 100nF/50V	1	0.09	0.09
24	Capacitor electrolítico 2200uF/50V	1	1.70	1.70
25	Capacitor electrolítico 10uF/50V	4	0.20	0.80
26	Capacitor electrolítico 47uF	1	0.20	0.20

27	Gabinete de 30x30 pesado	1	30.00	30.00
28	Desarrollo del software	1	40.00	40.00
29	Diseño, dimensionamiento e implementación del hardware	1	80.00	80.00
30	XTAL de 20Mhz	1	0.40	0.40
31	Honorarios del Técnico			400.00
<b>Subtotal</b>				763.16
<b>12%IVA</b>				91.58
<b>Total</b>				854,74

*Tabla 6. 6. Presupuesto del proyecto*

*Elaborado por el investigador*

## 6.11. ANÁLISIS ECONÓMICO

Todo el detalla del análisis económico fue desarrollado de acuerdo a la información obtenida en la empresa e información recabada por el investigador en el desarrollo del proyecto.

<b>Ingresos</b>	<b>Cantidad</b>
Ingreso promedio de la empresa mensualmente	15000.00

*Tabla 6. 7. Ingreso económico de la empresa*

*Elaborado por el investigador*

<b>Egresos</b>	<b>Cantidad</b>
Egresos varios	10000.00
Egresos por mantenimiento del horno	200.00



Egresos inactividad del horno	200.00
<b>Total</b>	11000.00

*Tabla 6. 8. Egresos económicos de la Empresa*

*Elaborado por el investigador*

De acuerdo a los egresos que se puede observar en la tabla 6.8, por mantenimiento y por inactividad el horno, son de 400 dólares aproximadamente.

La implementación del proyecto está valorado aproximadamente por los 854 dólares, según el detalla realizado por el investigador.

De acuerdo a esto podemos concluir que la implementación del presente proyecto será cubierto en aproximadamente 3 meses. Y a partir del cuarto mes generara beneficios a la empresa.

## **6.12. CONCLUSIONES**

- Se concluye que la instalación del sistema de control permite estabilizar la temperatura en el horno Industrial.
- Con la implementación del sistema de control evitamos el desgaste y daño de los equipos mecánicos, banco de resistencias y se reduce considerablemente el consumo de energía eléctrica, con lo cual se cumple con los objetivos planteados.
- La implementación de un nuevo sistema de control permite controlar el flujo de corriente en el banco de resistencias con lo que evitamos el daño frecuente del horno industrial.

## **6.13. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar equipos robustos en la implementación del sistema de control, de tal manera que el sistema sea confiable y brinde las seguridades a la planta y el personal.
- Se recomienda que los equipos y el sistema sean operados por personal capacitado, caso contrario recurrir a los manuales proporcionados por el investigador y los fabricantes de los dispositivos.
- Se recomienda para el diseño de la interfaz grafica utilizar software que no requieran licencias como software libre.

## 6.14. BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía de libros

- **ANÁLISIS DE CIRCUITOS DE INGENIERÍA**  
W. H. Hayt, Jr. Y L.E. Kemmerly 5º Edición., Ed. Mc. Graw Hill, 1995.
- **CIRCUITOS ELÉCTRICOS**  
J. W. Nilsson. Ed. Addison Wesley Iberoamericana
- **ANÁLISIS BÁSICO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS**  
D.E. Johnson, J.L. Hilburn y J.R. Johnson. Ed. Prentice Hall.
- **USB DRIVER PROGRAMMING I**  
M. Müüller and C. Ehmer
- **MICROCONTROLLER THE PROGRAMMING**  
Julio Sánchez y María P. Canton, Ed. Taylor and Francis Group 2007
- **MICROCONTROLADORES PIC PRAGRAMACION EN BASIC**  
Carlos A. Reyes, 2da Edición, Rispergraf, 2006
- **INTELLIGENT SENSOR DESING USING THE MICROCHIPS  
DSPIC**  
Creed Huddleston, Ed. Elsevier Inc, 2007
- **USB COMPLET EVERYTHING YOU NEED TO DEVELOP  
CUSTOM USB PERIPHERALS**  
Jan Axelson, 3ra Edition, Ed. Jeanet L. Axelson, 1999
- **PROGRAMMING AND CUSTOMIZING PICMICRO  
MICROCONTROLLERS**  
MykePredko, 2da Edition.

- **PDA ROBOTICS**  
Douglas H. Williams, Ed. McGraw-Hill, 2003
- **PIC C AND INTRODUCTION TO PROGRAMMING THE MICROCHIPS IN C**  
Nigel Gardner, Ed. Bluebird Electronics, 1998
- **PROGRAMMING 16-BIT PIC MICROCONTROLLER IN C**  
Lucio DiJasio, Ed. Elsevier Inc., 2007
- **PROGRAMMING PIC MICROCONTROLLER WITH PIC BASIC**  
Chuck Hellebuyck, Ed. Elsevier Science, 2003
- **MICROCONTROLADORES PIC**  
Ing. Horacio D. Vallejo, Ed. Quark S.R.L., 2002
- **A FONDO C#**  
Tom Archer, Ed. McGraw-Hill, 2001
- **ELECTRÓNICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS**  
Timothy J. Maloney, Ed. Prentice-Hall Inc., 1983.
- **INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**  
Antonio Creus Solé 6ta Edición, Ed. Alfaomega Grupo Editor S.A., 1998.
- **ELECTRÓNICA Y ELECTRICIDAD**  
Julio Olmo Escribano, Ed. Oxford, 2005

### **Linkografía**

- **Triac**  
  
<http://www.monografias.com/trabajos35/acoplamiento-optico/acoplamiento-optico.shtml> 18:05 12/07/11  
<http://www.datasheets.org.uk/tic%20136-datasheet.html>

<http://www.chinaicmart.com/series-MCC/MCC95-12IO1B.html>  
[http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag\\_triac/triac.htm](http://www.inele.ufro.cl/bmonteci/semic/applets/pag_triac/triac.htm)

- **Eagle**

<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-software/product-overview/>  
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-software/schematic-editor/>  
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-software/layout-editor/>  
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-software/autorouter/>

- **Compilador CCS**

<http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>  
<http://www.ccsinfo.com/content.php?page=ideoverview>  
<http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compiler-details>  
<http://www.ccsinfo.com/devices.php?page=devices>  
<http://www.aquihayapuntes.com/programacion-pic-en-c.html?start=1>  
<http://www.aquihayapuntes.com/programacion-pic-en-c.html?start=2>

- **Control PID**

<http://www.eng.newcastle.edu.au/jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>  
[http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C07.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C07.pdf)  
[http://jvr33.free.fr/pdf\\_laser/03\\_electronique/Control%20Pid.pdf](http://jvr33.free.fr/pdf_laser/03_electronique/Control%20Pid.pdf)  
[http://www.esi2.us.es/~fsalas/asignaturas/LCA3T\\_05\\_06/PID\\_IND.pdf](http://www.esi2.us.es/~fsalas/asignaturas/LCA3T_05_06/PID_IND.pdf)  
<http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/EI%20controlador%20PID.pdf>  
<http://blog.bricogeek.com/noticias/arduino/libreria-pid-con-arduino/>  
<http://es.scribd.com/doc/20947070/Control-PID-flujo-en-PIC>

- **Controlador de temperatura**

<http://www.criba.edu.ar/cribabb/servicios/secelec/mycdetemp.htm>

- **Microcontroladores**

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3594/Capitulo2.pdf>

[http://ocw.upm.es/tecnologia-electronica/microprocesadores/contenidos/Archivos\\_Semana\\_1/introduccion\\_a\\_los\\_microcontroladores.pdf](http://ocw.upm.es/tecnologia-electronica/microprocesadores/contenidos/Archivos_Semana_1/introduccion_a_los_microcontroladores.pdf)

<http://www.bolivar.udo.edu.ve/microinternet/articulos/picdimmer.pdf>

[http://www.esi2.us.es/~mortega/clases/1ioi\\_api/documentos/Tema\\_7/Tema\\_07\\_Anexo.pdf](http://www.esi2.us.es/~mortega/clases/1ioi_api/documentos/Tema_7/Tema_07_Anexo.pdf)

[http://www.lulu.com/items/volume\\_38/588000/588200/1/print/SESSION\\_1\\_ATMEGA8.pdf](http://www.lulu.com/items/volume_38/588000/588200/1/print/SESSION_1_ATMEGA8.pdf)

[http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula\\_virtual/Recursos/Introduccion%20PIC16f84.pdf](http://paginas.fisica.uson.mx/horacio.munguia/aula_virtual/Recursos/Introduccion%20PIC16f84.pdf)

<http://dac.escet.urjc.es/docencia/Micros/MP06a.pdf>

<http://www.aquihayapuntes.com/indice-practicas-pic-en-c/comunicacion-usb-pic18f4550-utilizando-la-clase-cdc.html>

<http://www.aquihayapuntes.com/indice-practicas-pic-en-c/comunicacion-usb-pic18f4550-utilizando-la-clase-cdc.html?start=1>

- **Hornos industriales**

<http://html.rincondelvago.com/hornos-industriales.html>

<http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

<http://www.emison.es/hornos/pdf/hornos%20industriales.pdf>

[http://www.aloj.us.es/notas\\_tecnicas/Hornos.pdf](http://www.aloj.us.es/notas_tecnicas/Hornos.pdf)

[http://www.cnpml.org.sv/UCATEE/ee/docs/Eficiencia\\_para\\_Hornos.pdf](http://www.cnpml.org.sv/UCATEE/ee/docs/Eficiencia_para_Hornos.pdf)

<http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.HornosIndustriales.2006.pdf>

- **Visual C#**

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_01.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_01.pdf)

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_02.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_02.pdf)

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_03.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_03.pdf)

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_04.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_04.pdf)

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_05.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_05.pdf)

[http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp\\_06.pdf](http://www.pedrov.info/imprimir/ProgramacionCSharp_06.pdf)

- **Sensores**

<http://gsync.es/jmplaza/introrob/ir-sensores.pdf>

<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

## **6.15. ANEXOS**

# ANEXO A

Hoja de datos técnicos del microcontrolador PIC18F4550





# MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28/40/44-Pin High-Performance, Enhanced Flash USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-chip USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal oscillator block:
  - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor
  - Allows for safe shutdown if any dock stops

### Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ( $T_{CV}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Enhanced USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Dual analog comparators with input multiplexing

### Special Microcontroller Features:

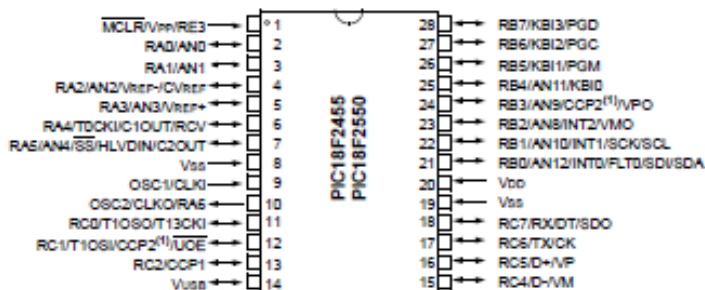
- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EA/USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

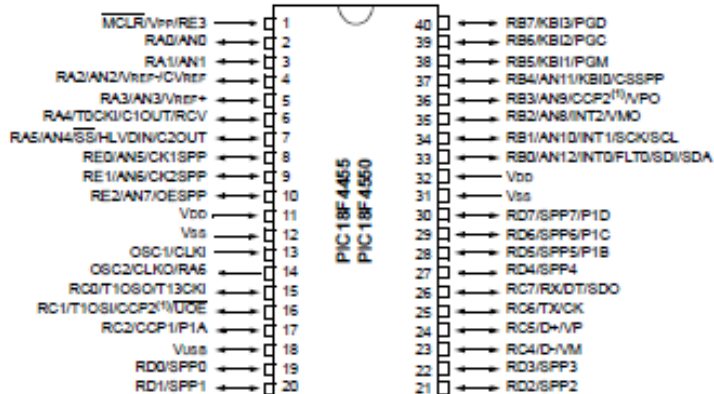
# PIC18F2455/2550/4455/4550

## Pin Diagrams

### 28-Pin PDIP, SOIC



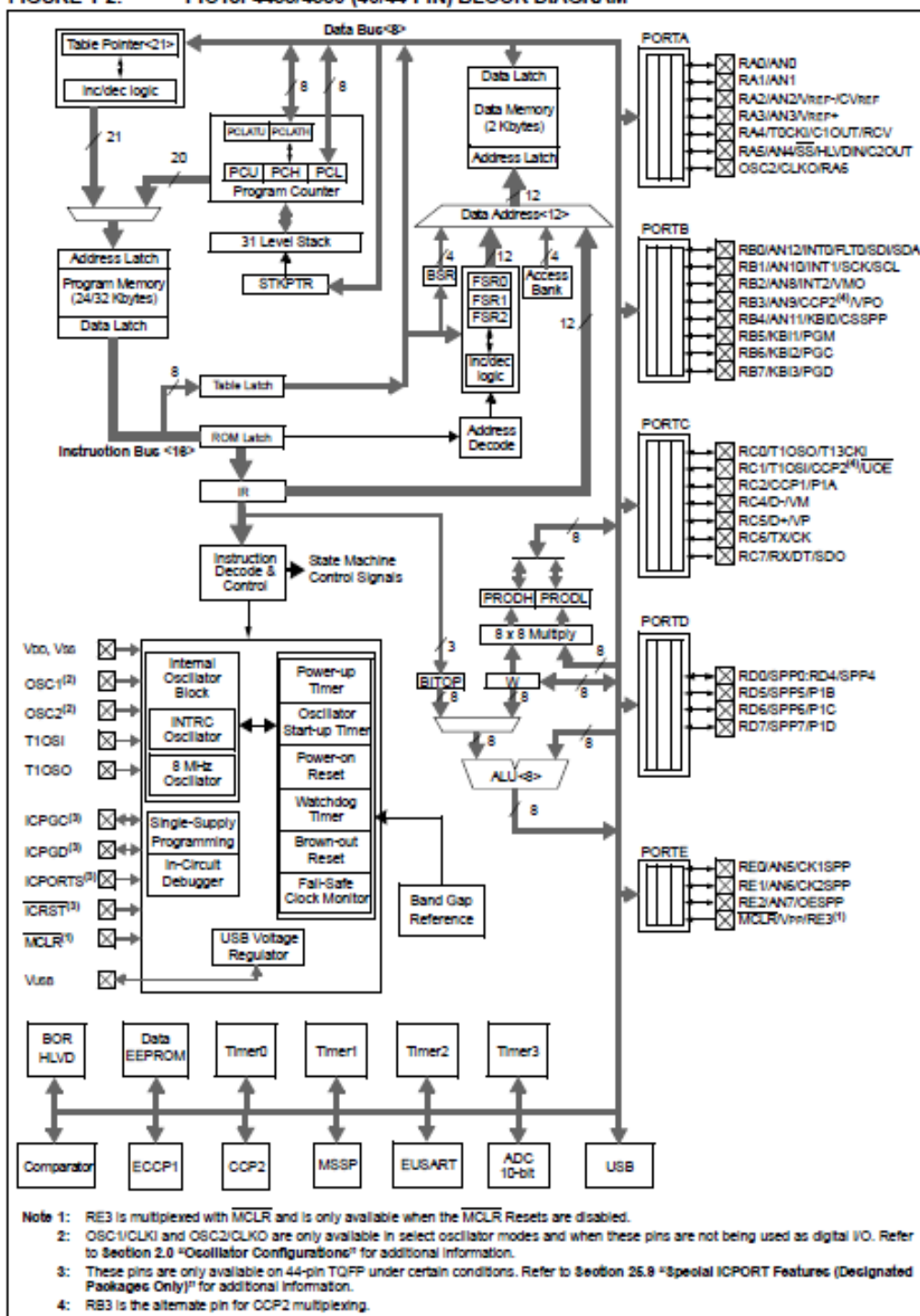
### 40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

FIGURE 1-2: PIC18F4455/4550 (40/44-PIN) BLOCK DIAGRAM



# PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-3: PIC18F4455/4550 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description	
	PDIP	QFN	TQFP				
RA0/AN0	2	19	19	I/O	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O.	
AN0				I	Analog		Analog input 0.
RA1/AN1	3	20	20	I/O	TTL	Digital I/O.	
AN1				I	Analog		Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/ CVREF	4	21	21	I/O	TTL	Digital I/O.	
AN2				I	Analog		Analog input 2.
VREF-				I	Analog		A/D reference voltage (low) input.
CVREF				O	Analog		Analog comparator reference output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	22	22	I/O	TTL	Digital I/O.	
AN3				I	Analog		Analog input 3.
VREF+				I	Analog		A/D reference voltage (high) input.
RA4/T0CKI/C1OUT/ RCV				6	23		23
T0CKI	I	ST	Timer0 external clock input.				
C1OUT	O	—	Comparator 1 output.				
RCV	I	TTL	External USB transceiver RCV input.				
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT RA5 AN4 SS HLVDIN C2OUT	7	24	24	I/O	TTL	Digital I/O.	
AN4				I	Analog		Analog input 4.
SS				I	TTL		SPI™ slave select input.
HLVDIN				I	Analog		High/Low-Voltage Detect input.
C2OUT				O	—		Comparator 2 output.
RA6				—	—		—

**Legend:** TTL = TTL compatible input      CMOS = CMOS compatible input or output  
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels      I = Input  
 O = Output      P = Power

- Note 1:** Alternate assignment for CCP2 when CCP2MX configuration bit is cleared.  
**Note 2:** Default assignment for CCP2 when CCP2MX configuration bit is set.  
**Note 3:** These pins are No Connect unless the ICPRT configuration bit is set. For NC/ICPORTS, the pin is No Connect unless ICPRT is set and the DEBUG configuration bit is cleared.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-3: PIC18F4455/4550 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
RB0/AN12/INT0/ FLT0/SDI/SDA	33	9	8			PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
RB0				I/O	TTL	Digital I/O.
AN12				I	Analog	Analog input 12.
INT0				I	ST	External interrupt 0.
FLT0				I	ST	Enhanced PWM Fault input (ECCP1 module).
SDI				I	ST	SPI™ data in.
SDA				I/O	ST	I²C™ data I/O.
RB1/AN10/INT1/SCK/ SCL	34	10	9			
RB1				I/O	TTL	Digital I/O.
AN10				I	Analog	Analog input 10.
INT1				I	ST	External interrupt 1.
SCK				I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI mode.
SCL				I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I²C mode.
RB2/AN8/INT2/VMO	35	11	10			
RB2				I/O	TTL	Digital I/O.
AN8				I	Analog	Analog input 8.
INT2				I	ST	External interrupt 2.
VMO				O	—	External USB transceiver VMO output.
RB3/AN9/CCP2/VPO	36	12	11			
RB3				I/O	TTL	Digital I/O.
AN9				I	Analog	Analog input 9.
CCP2 <sup>(1)</sup>				I/O	ST	Capture 2 input/Compare 2 output/PWM 2 output.
VPO				O	—	External USB transceiver VPO output.
RB4/AN11/KBI0/CSSPP	37	14	14			
RB4				I/O	TTL	Digital I/O.
AN11				I	Analog	Analog input 11.
KBI0				I	TTL	Interrupt-on-change pin.
CSSPP				O	—	SPP chip select control output.
RB5/KBI1/PGM	38	15	15			
RB5				I/O	TTL	Digital I/O.
KBI1				I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGM				I/O	ST	Low-Voltage ICSP™ Programming enable pin.
RB6/KBI2/PGC	39	16	16			
RB6				I/O	TTL	Digital I/O.
KBI2				I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGC				I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin.
RB7/KBI3/PGD	40	17	17			
RB7				I/O	TTL	Digital I/O.
KBI3				I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGD				I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin.

Legend: TTL = TTL compatible input CMOS = CMOS compatible input or output  
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels I = Input  
 O = Output P = Power

- Note 1: Alternate assignment for CCP2 when CCP2MX configuration bit is cleared.  
 2: Default assignment for CCP2 when CCP2MX configuration bit is set.  
 3: These pins are No Connect unless the ICPRT configuration bit is set. For NC/ICPORTS, the pin is No Connect unless ICPRT is set and the DEBUG configuration bit is cleared.









# PIC18F2455/2550/4455/4550

## 15.1 CCP Module Configuration

Each Capture/Compare/PWM module is associated with a control register (generically, CCPxCON) and a data register (CCPRx). The data register, in turn, is comprised of two 8-bit registers: CCPRxL (low byte) and CCPRxH (high byte). All registers are both readable and writable.

### 15.1.1 CCP MODULES AND TIMER RESOURCES

The CCP modules utilize Timers 1, 2 or 3, depending on the mode selected. Timer1 and Timer3 are available to modules in Capture or Compare modes, while Timer2 is available for modules in PWM mode.

**TABLE 15-1: CCP MODE – TIMER RESOURCE**

CCP/ECCP Mode	Timer Resource
Capture	Timer1 or Timer3
Compare	Timer1 or Timer3
PWM	Timer2

The assignment of a particular timer to a module is determined by the Timer to CCP enable bits in the T3CON register (Register 14-1). Both modules may be active at any given time and may share the same timer resource if they are configured to operate in the same mode (Capture/Compare or PWM) at the same time. The interactions between the two modules are summarized in Figure 15-2. In Timer1 in Asynchronous Counter mode, the capture operation will not work.

### 15.1.2 CCP2 PIN ASSIGNMENT

The pin assignment for CCP2 (Capture input, Compare and PWM output) can change, based on device configuration. The CCP2MX configuration bit determines which pin CCP2 is multiplexed to. By default, it is assigned to RC1 (CCP2MX = 1). If the configuration bit is cleared, CCP2 is multiplexed with RB3.

Changing the pin assignment of CCP2 does not automatically change any requirements for configuring the port pin. Users must always verify that the appropriate TRIS register is configured correctly for CCP2 operation, regardless of where it is located.

**TABLE 15-2: INTERACTIONS BETWEEN CCP1 AND CCP2 FOR TIMER RESOURCES**

CCP1 Mode	CCP2 Mode	Interaction
Capture	Capture	Each module can use TMR1 or TMR3 as the time base. The time base can be different for each CCP.
Capture	Compare	CCP2 can be configured for the special event trigger to reset TMR1 or TMR3 (depending upon which time base is used). Automatic A/D conversions on trigger event can also be done. Operation of CCP1 could be affected if it is using the same timer as a time base.
Compare	Capture	CCP1 can be configured for the special event trigger to reset TMR1 or TMR3 (depending upon which time base is used). Operation of CCP2 could be affected if it is using the same timer as a time base.
Compare	Compare	Either module can be configured for the special event trigger to reset the time base. Automatic A/D conversions on CCP2 trigger event can be done. Conflicts may occur if both modules are using the same time base.
Capture	PWM <sup>(1)</sup>	None
Compare	PWM <sup>(1)</sup>	None
PWM <sup>(1)</sup>	Capture	None
PWM <sup>(1)</sup>	Compare	None
PWM <sup>(1)</sup>	PWM	Both PWMs will have the same frequency and update rate (TMR2 interrupt).

Note 1: Includes standard and Enhanced PWM operation.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## 15.4 PWM Mode

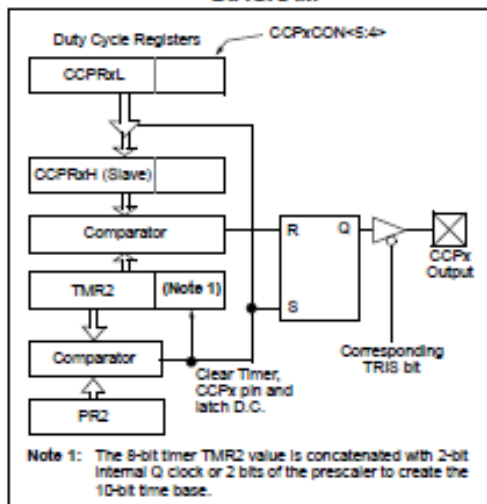
In Pulse-Width Modulation (PWM) mode, the CCPx pin produces up to a 10-bit resolution PWM output. Since the CCP2 pin is multiplexed with a PORTB or PORTC data latch, the appropriate TRIS bit must be cleared to make the CCP2 pin an output.

**Note:** Clearing the CCP2CON register will force the RB3 or RC1 output latch (depending on device configuration) to the default low level. This is not the PORTB or PORTC I/O data latch.

Figure 15-3 shows a simplified block diagram of the CCP module in PWM mode.

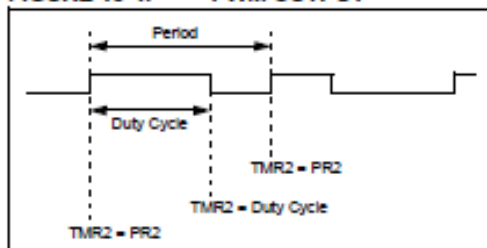
For a step-by-step procedure on how to set up the CCP module for PWM operation, see Section 15.4.4 "Setup for PWM Operation".

**FIGURE 15-3: SIMPLIFIED PWM BLOCK DIAGRAM**



A PWM output (Figure 15-4) has a time base (period) and a time that the output stays high (duty cycle). The frequency of the PWM is the inverse of the period (1/period).

**FIGURE 15-4: PWM OUTPUT**



### 15.4.1 PWM PERIOD

The PWM period is specified by writing to the PR2 register. The PWM period can be calculated using the following formula:

**EQUATION 15-1:**

$$\text{PWM Period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 Prescale Value})$$

PWM frequency is defined as  $1/[\text{PWM period}]$ .

When TMR2 is equal to PR2, the following three events occur on the next increment cycle:

- TMR2 is cleared
- The CCPx pin is set (exception: if PWM duty cycle = 0%, the CCPx pin will not be set)
- The PWM duty cycle is latched from CCPRxL into CCPRxH

**Note:** The Timer2 postscalers (see Section 13.0 "Timer2 Module") are not used in the determination of the PWM frequency. The postscaler could be used to have a servo update rate at a different frequency than the PWM output.

### 15.4.2 PWM DUTY CYCLE

The PWM duty cycle is specified by writing to the CCPRxL register and to the CCPxCON<5:4> bits. Up to 10-bit resolution is available. The CCPRxL contains the eight MSBs and the CCPxCON<5:4> contains the two LSBs. This 10-bit value is represented by CCPRxL:CCPxCON<5:4>. The following equation is used to calculate the PWM duty cycle in time:

**EQUATION 15-2:**

$$\text{PWM Duty Cycle} = (\text{CCPRxL:CCPxCON<5:4>}) \cdot T_{osc} \cdot (\text{TMR2 Prescale Value})$$

CCPRxL and CCPxCON<5:4> can be written to at any time, but the duty cycle value is not latched into CCPRxH until after a match between PR2 and TMR2 occurs (i.e., the period is complete). In PWM mode, CCPRxH is a read-only register.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

The CCPxH register and a 2-bit internal latch are used to double-buffer the PWM duty cycle. This double-buffering is essential for glitchless PWM operation.

When the CCPxH and 2-bit latch match TMR2, concatenated with an internal 2-bit Q clock or 2 bits of the TMR2 prescaler, the CCPx pin is cleared.

The maximum PWM resolution (bits) for a given PWM frequency is given by the equation:

EQUATION 15-3:

$$\text{PWM Resolution (max)} = \frac{\log\left(\frac{F_{OSC}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

**Note:** If the PWM duty cycle value is longer than the PWM period, the CCPx pin will not be cleared.

TABLE 15-4: EXAMPLE PWM FREQUENCIES AND RESOLUTIONS AT 40 MHz

PWM Frequency	2.44 kHz	9.77 kHz	39.06 kHz	156.25 kHz	312.50 kHz	416.67 kHz
Timer Prescaler (1, 4, 16)	16	4	1	1	1	1
PR2 Value	FFh	FFh	FFh	3Fh	1Fh	17h
Maximum Resolution (bits)	10	10	10	8	7	6.58

### 15.4.3 PWM AUTO-SHUTDOWN (CCP1 ONLY)

The PWM auto-shutdown features of the Enhanced CCP module are also available to CCP1 in 28-pin devices. The operation of this feature is discussed in detail in Section 16.4.7 "Enhanced PWM Auto-Shutdown".

Auto-shutdown features are not available for CCP2.

### 15.4.4 SETUP FOR PWM OPERATION

The following steps should be taken when configuring the CCP module for PWM operation:

1. Set the PWM period by writing to the PR2 register.
2. Set the PWM duty cycle by writing to the CCPxL register and CCPxCON<5:4> bits.
3. Make the CCPx pin an output by clearing the appropriate TRIS bit.
4. Set the TMR2 prescale value, then enable Timer2 by writing to T2CON.
5. Configure the CCPx module for PWM operation.

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## 21.0 10-BIT ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) converter module has 10 inputs for the 28-pin devices and 13 for the 40/44-pin devices. This module allows conversion of an analog input signal to a corresponding 10-bit digital number.

The module has five registers:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register 0 (ADCON0)
- A/D Control Register 1 (ADCON1)
- A/D Control Register 2 (ADCON2)

The ADCON0 register, shown in Register 21-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 21-2, configures the functions of the port pins. The ADCON2 register, shown in Register 21-3, configures the A/D clock source, programmed acquisition time and justification.

REGISTER 21-1: ADCON0: A/D CONTROL REGISTER 0

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
—	—	CHS3	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	ADON	
bit 7								bit 0

bit 7-6 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 5-2 **CHS3:CHS0:** Analog Channel Select bits

0000 = Channel 0 (AN0)  
 0001 = Channel 1 (AN1)  
 0010 = Channel 2 (AN2)  
 0011 = Channel 3 (AN3)  
 0100 = Channel 4 (AN4)  
 0101 = Channel 5 (AN5)<sup>(1,2)</sup>  
 0110 = Channel 6 (AN6)<sup>(1,2)</sup>  
 0111 = Channel 7 (AN7)<sup>(1,2)</sup>  
 1000 = Channel 8 (AN8)  
 1001 = Channel 9 (AN9)  
 1010 = Channel 10 (AN10)  
 1011 = Channel 11 (AN11)  
 1100 = Channel 12 (AN12)  
 1101 = Unimplemented<sup>(2)</sup>  
 1110 = Unimplemented<sup>(2)</sup>  
 1111 = Unimplemented<sup>(2)</sup>

**Note 1:** These channels are not implemented on 28-pin devices.

**2:** Performing a conversion on unimplemented channels will return a floating input measurement.

bit 1 **GO/DONE:** A/D Conversion Status bit

**When ADON = 1:**

1 = A/D conversion in progress  
 0 = A/D Idle

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

1 = A/D converter module is enabled  
 0 = A/D converter module is disabled

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

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## REGISTER 21-2: ADCON1: A/D CONTROL REGISTER 1

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0 <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>	R/W <sup>(1)</sup>
—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

bit 7-6 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 5 **VCFG1:** Voltage Reference Configuration bit (VREF- source)

1 = VREF- (AN2)

0 = Vss

bit 4 **VCFG0:** Voltage Reference Configuration bit (VREF+ source)

1 = VREF+ (AN3)

0 = VDD

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN12	AN11	AN10	AN9	AN8	AN7 <sup>(2)</sup>	AN6 <sup>(2)</sup>	AN5 <sup>(2)</sup>	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0
0000 <sup>(1)</sup>	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0001	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0010	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0011	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0100	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0101	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0110	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0111 <sup>(1)</sup>	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A	A
1000	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
1001	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A	A
1010	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A	A
1011	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A	A
1100	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A	A
1101	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A
1110	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A
1111	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D

A = Analog input

D = Digital I/O

**Note 1:** The POR value of the PCFG bits depends on the value of the PBDEN configuration bit. When PBDEN = 1, PCFG<3:0> = 0000; when PBDEN = 0, PCFG<3:0> = 0111.

**2:** AN5 through AN7 are available only on 40/44-pin devices.

### Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

'1' = Bit is set

'0' = Bit is cleared

x = Bit is unknown

# PIC18F2455/2550/4455/4550

## REGISTER 21-3: ADCON2: A/D CONTROL REGISTER 2

R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	ACQT2	ACQT1	ACQT0	ADCS2	ADCS1	ADCS0
bit 7							bit 0

- bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit  
 1 = Right justified  
 0 = Left justified
- bit 6 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 5-3 **ACQT2:ACQT0:** A/D Acquisition Time Select bits  
 111 = 20  $T_{AD}$   
 110 = 16  $T_{AD}$   
 101 = 12  $T_{AD}$   
 100 = 8  $T_{AD}$   
 011 = 6  $T_{AD}$   
 010 = 4  $T_{AD}$   
 001 = 2  $T_{AD}$   
 000 = 0  $T_{AD}$ <sup>(1)</sup>
- bit 2-0 **ADCS2:ADCS0:** A/D Conversion Clock Select bits  
 111 =  $F_{RC}$  (clock derived from A/D RC oscillator)<sup>(1)</sup>  
 110 =  $F_{osc}/64$   
 101 =  $F_{osc}/16$   
 100 =  $F_{osc}/4$   
 011 =  $F_{RC}$  (clock derived from A/D RC oscillator)<sup>(1)</sup>  
 010 =  $F_{osc}/32$   
 001 =  $F_{osc}/8$   
 000 =  $F_{osc}/2$

**Note 1:** If the A/D  $F_{RC}$  clock source is selected, a delay of one  $T_{CY}$  (instruction cycle) is added before the A/D clock starts. This allows the `SLEEP` instruction to be executed before starting a conversion.

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

# PIC18F2455/2550/4455/4550

The analog reference voltage is software selectable to either the device's positive and negative supply voltage ( $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ ) or the voltage level on the RA3/AN3/VREF+ and RA2/AN2/VREF-/CVREF pins.

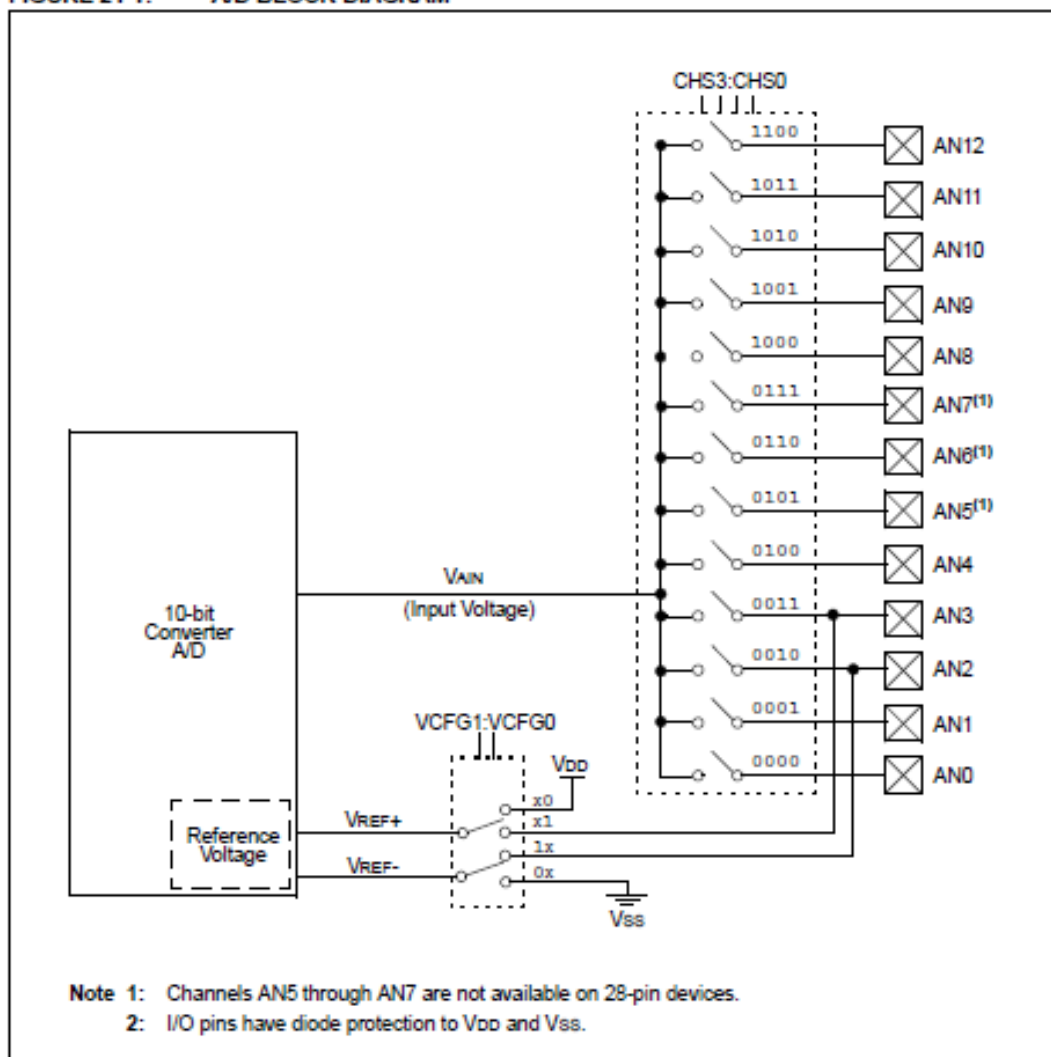
The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in Sleep mode. To operate in Sleep, the A/D conversion clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The output of the sample and hold is the input into the converter, which generates the result via successive approximation.

A device Reset forces all registers to their Reset state. This forces the A/D module to be turned off and any conversion in progress is aborted.

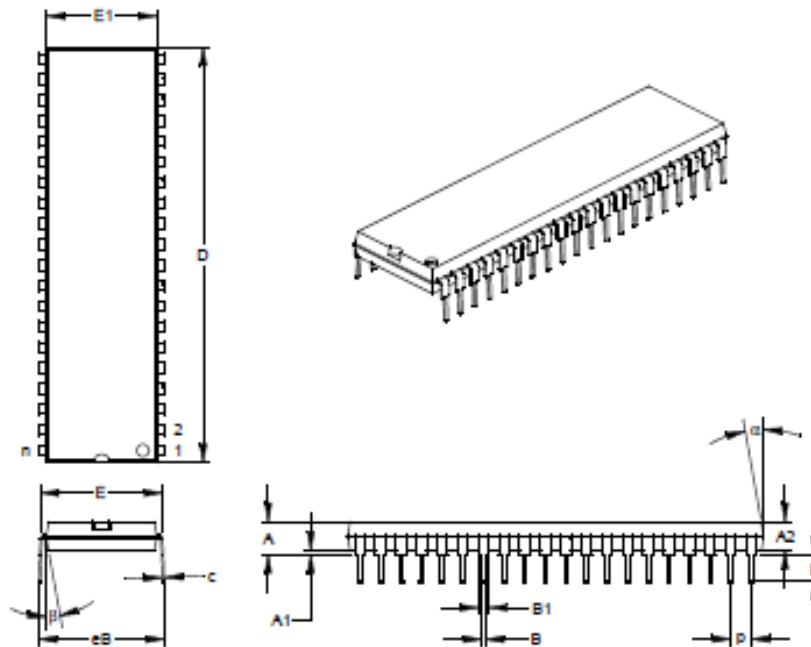
Each port pin associated with the A/D converter can be configured as an analog input or as a digital I/O. The ADRESH and ADRESL registers contain the result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into the ADRESH:ADRESL register pair, the GO/DONE bit (ADCON0 register) is cleared and A/D Interrupt Flag bit, ADIF, is set. The block diagram of the A/D module is shown in Figure 21-1.

FIGURE 21-1: A/D BLOCK DIAGRAM



# PIC18F2455/2550/4455/4550

40-Lead Plastic Dual In-line (P) – 600 mil Body (PDIP)



Dimension	Units	INCHES*			MILLIMETERS			
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Number of Pins	n	40			40			
Pitch	P	.100			2.54			
Top to Seating Plane	A	.160	.175	.190	4.06	4.45	4.83	
Molded Package Thickness	A2	.140	.150	.160	3.56	3.81	4.06	
Base to Seating Plane	A1	.015			0.38			
Shoulder to Shoulder Width	E	.595	.600	.625	15.11	15.24	15.88	
Molded Package Width	E1	.530	.545	.560	13.46	13.84	14.22	
Overall Length	D	2.045	2.058	2.065	51.94	52.26	52.45	
Tip to Seating Plane	L	.120	.130	.135	3.05	3.30	3.43	
Lead Thickness	c	.008	.012	.015	0.20	0.29	0.38	
Upper Lead Width	B1	.030	.050	.070	0.76	1.27	1.78	
Lower Lead Width	B	.014	.018	.022	0.36	0.46	0.56	
Overall Row Spacing	§	eB	.620	.650	.680	15.75	16.51	17.27
Mold Draft Angle Top	α	5 10 15			5 10 15			
Mold Draft Angle Bottom	β	5 10 15			5 10 15			

\* Controlling Parameter

§ Significant Characteristic

Notes:

Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed .010" (0.254mm) per side.

JEDEC Equivalent: MO-011


Drawing No. 004-016





# **ANEXO B**


Hojas de configuración del controlador de temperatura

## Operación de teclas

**Scroll key:**  esta tecla es usada para seleccionar los parámetros a ser vistos o ajustados

**Up key:**  esta tecla es usada para incrementar los valores de los parámetros seleccionados


**Down key:**  esta tecla es usada de reducir los valores de los parámetros seleccionados.

**Reset key:**  esta tecla es usado para:

- 1.- Regresar al display de visualización del valor del proceso
- 2.- Reiniciar la activación de la alarma, una vez que la condición de la alarma este quitada
- 3.- Para el modo control manual, modo auto-tuning y modo calibración.
- 4.- Limpia los mensajes de error de comunicación y de error de auto-tuning.
- 5.- Reinicia el tiempo de activación cuando el tiempo de activación esta fuera del tiempo.
- 6.- Ingresa al menú de control manual durante fallas.

**Enter key:** presione  por 5 segundos o más.


Presionar  por 5 segundos:

- 1.- Ingresa al menú de instalación. El display nos indica  .


2.- Ingresa al modo control manual durante el modo control manual se selecciona **HRnd**.

3.- Ingresa al modo auto-tuning durante el modo auto-tuning se selecciona **R-E**

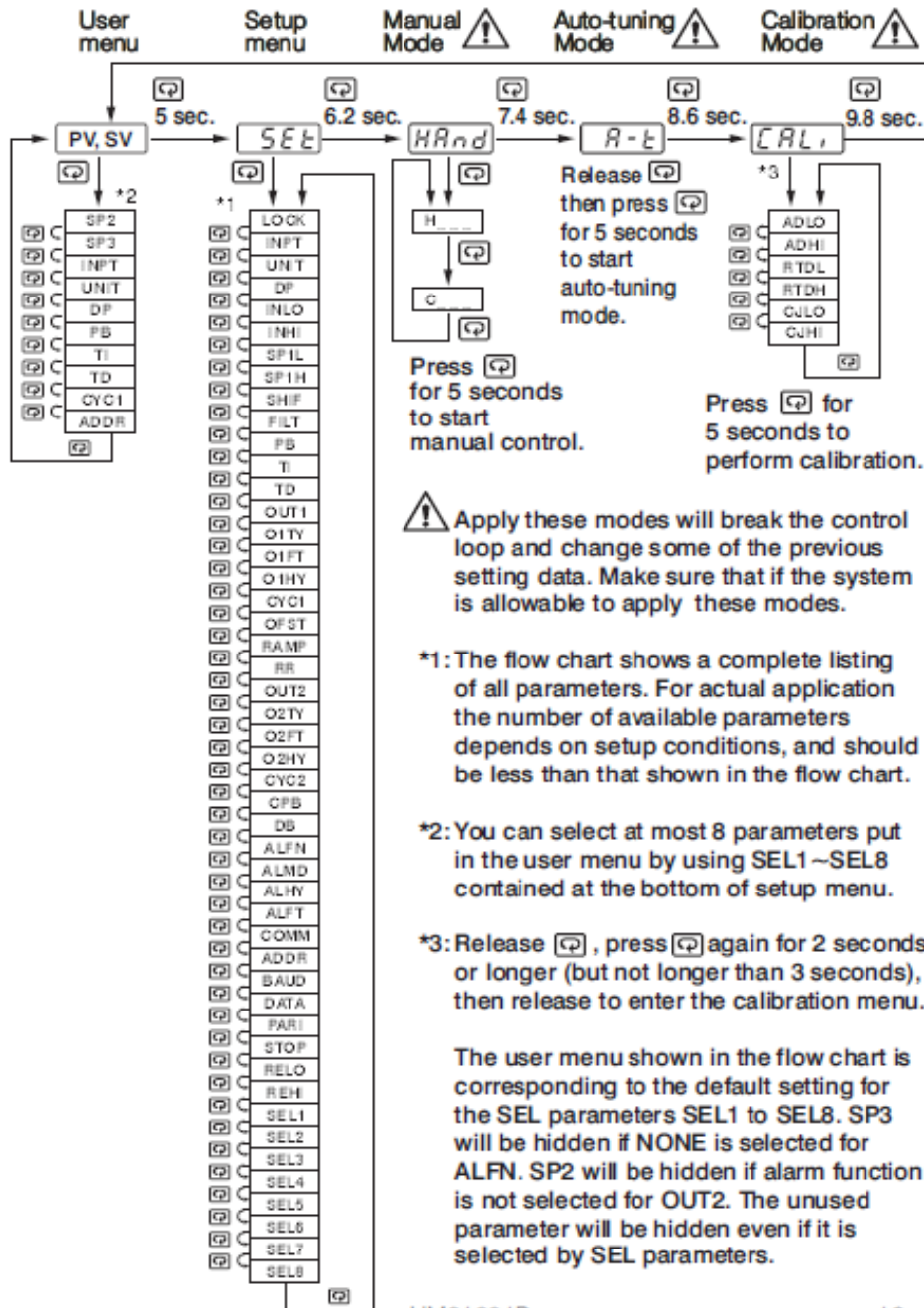
4.- Realizar calibraciones al seleccionar un parámetro durante el proceso de calibración.

Presione  por 6.2 segundos para seleccionar el modo control manual.

Presione  por 7.4 segundos para seleccionar el modo auto-tuning.

Presione  por 8.6 segundos para seleccionar el modo calibración.

# 1-5 Menu Overview



UM91001D

12

## 1-6 Parameter Descriptions

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
SP1	Set point for output 1	Low: SP1L High :SP1H	25.0 °C (77.0°F)
SP2	Set point for output 2 when output 2 performs alarm function	Low: -19999 High :45536	10.0 °C (18.0°F)
SP3	Set point for alarm or dwell timer output	Low: -19999 High: 45536	10.0 °C (18.0 °F)
LOCK	Select parameters to be locked	0 <i>nonE</i> : No parameter is locked 1 <i>SEt</i> : Setup data are locked 2 <i>uSEr</i> : Setup data and User data except Set point are locked 3 <i>ALL</i> : All data are locked	0
INPT	Input sensor selection	0 <i>J-tC</i> : J type thermocouple 1 <i>K-tC</i> : K type thermocouple 2 <i>T-tC</i> : T type thermocouple 3 <i>E-tC</i> : E type thermocouple 4 <i>B-tC</i> : B type thermocouple 5 <i>R-tC</i> : R type thermocouple 6 <i>S-tC</i> : S type thermocouple 7 <i>N-tC</i> : N type thermocouple 8 <i>L-tC</i> : L type thermocouple 9 <i>Pt100 DIN</i> : PT 100 ohms DIN curve 10 <i>Pt100 JIS</i> : PT 100 ohms JIS curve 11 <i>4-20</i> : 4 - 20 mA linear current input 12 <i>0-20</i> : 0 - 20 mA linear current input 13 <i>0-60</i> : 0 - 60 mV linear millivolt input 14 <i>0-1V</i> : 0 - 1V linear voltage input 15 <i>0-5V</i> : 0 - 5V linear voltage input 16 <i>1-5V</i> : 1 - 5V linear voltage input 17 <i>0-10</i> : 0 - 10V linear voltage input	1 (0)

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
UNIT	Input unit selection	0 <b>°C</b> : Degree C unit 1 <b>°F</b> : Degree F unit 2 <b>P<sub>U</sub></b> : Process unit	0 (1)
DP	Decimal point selection	0 <b>no dP</b> : No decimal point 1 <b>1-dP</b> : 1 decimal digit 2 <b>2-dP</b> : 2 decimal digits 3 <b>3-dP</b> : 3 decimal digits	1
INLO	Input low scale value	Low: -19999 High: 45486	-17.8 °C ( 0 °F )
INHI	Input high scale value	Low: INLO+50 High: 45536	93.3 °C (200.0 °F)
SP1L	Low limit of set point value	Low: -19999 High: 45536	-17.8 °C (0 °F)
SP1H	High limit of set point value	Low: SP1L High: 45536	537.8 °C (1000 °F)
SHIF	PV shift (offset) value	Low: -200.0 °C (-360.0 °F) High: 200.0 °C ( 360.0 °F)	0.0
FILT	Filter damping time constant of PV	0 <b>0</b> : 0 second time constant 1 <b>0.2</b> : 0.2 second time constant 2 <b>0.5</b> : 0.5 second time constant 3 <b>1</b> : 1 second time constant 4 <b>2</b> : 2 seconds time constant 5 <b>5</b> : 5 seconds time constant 6 <b>10</b> : 10 seconds time constant 7 <b>20</b> : 20 seconds time constant 8 <b>30</b> : 30 seconds time constant 9 <b>60</b> : 60 seconds time constant	2

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
PB	Proportional band value	Low: 0 High: 500.0 °C (900.0 °F)	10.0 °C (18.0 °F)
TI	Integral time value	Low: 0 High: 3600 sec	100
TD	Derivative time value	Low: 0 High: 360.0 sec	25.0
OUT1	Output 1 function	0 <i>rEYr</i> : Reverse (heating) control action 1 <i>di r t</i> : Direct (cooling) control action	0
O1TY	Output 1 signal type	0 <i>rELY</i> : Relay output 1 <i>SSrd</i> : Solid state relay drive output 2 <i>SSr</i> : Solid state relay output 3 <i>4-20</i> : 4-20 mA current module 4 <i>0-20</i> : 0 - 20 mA current module 5 <i>0-1V</i> : 0 - 1V voltage module 6 <i>0-5V</i> : 0 - 5V voltage module 7 <i>1-5V</i> : 1 - 5V voltage module 8 <i>0-10</i> : 0 - 10V voltage module	0
O1FT	Output 1 failure transfer mode	Select BPLS ( bumpless transfer ) or 0.0 ~ 100.0 % to continue output 1 control function as the unit fails, or select OFF (0) or ON (1) for ON-OFF control.	0
O1HY	Output 1 ON-OFF control hysteresis	Low: 0.1 High: 50.0 °C(90.0°F)	0.1°C (0.2°F)
CYC1	Output 1 cycle time	Low: 0.1 High: 90.0 sec.	18.0
OFST	Offset value for P control	Low: 0 High: 100.0 %	25.0
RAMP	Ramp function selection	0 <i>nonE</i> : No Ramp Function 1 <i>nir</i> : Use unit/minute as Ramp Rate 2 <i>Hr.r</i> : Use unit/hour as Ramp Rate	0

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
RR	Ramp rate	Low: 0 High: 500.0 °C (900.0 °F)	0.0
OUT2	Output 2 function	0 <i>nonE</i> : Output 2 No Function 2 <i>dEH<sub>i</sub></i> : Deviation High Alarm 3 <i>dEL<sub>o</sub></i> : Deviation Low Alarm 6 <i>P<sub>u</sub>H<sub>i</sub></i> : Process High Alarm 7 <i>P<sub>u</sub>L<sub>o</sub></i> : Process Low Alarm 8 <i>Cool</i> : Cooling PID Function	2
O2TY	Output 2 signal type	0 <i>rELY</i> : Relay output 1 <i>SSrd</i> : Solid state relay drive output 2 <i>SSr</i> : Solid state relay output 3 <i>4-20</i> : 4 - 20 mA current module 4 <i>0-20</i> : 0 - 20 mA current module 5 <i>0-1V</i> : 0 - 1V voltage module 6 <i>0-5V</i> : 0 - 5V voltage module 7 <i>1-5V</i> : 1 - 5V voltage module 8 <i>0-10</i> : 0 - 10V voltage module	0
O2FT	Output 2 failure transfer mode	Select BPLS ( bumpless transfer ) or 0.0 ~ 100.0 % to continue output 2 control function as the unit fails, or select ON (0) or OFF (1) for alarm function.	0
O2HY	Output 2 hysteresis value when output 2 performs alarm function	Low: 0.1 High: 50.0 °C (90.0 °F)	0.1 °C (0.2 °F)
CYC2	Output 2 cycle time	Low: 0.1 High: 90.0 sec.	18.0
CPB	Cooling proportional band value	Low: 50 High: 300 %	100



Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
DB	Heating-cooling dead band (negative value=overlap)	Low: -36.0      High: 36.0 %	0
ALFN	Alarm function for alarm output	0 <i>nonE</i> :No alarm function 1 <i>t, n̄r</i> :Dwell timer action 2 <i>dEH<sub>i</sub></i> :Deviation high alarm 3 <i>dEL<sub>o</sub></i> :Deviation low alarm 4 <i>dbH<sub>i</sub></i> :Deviation band out of band alarm 5 <i>dbL<sub>o</sub></i> :Deviation band in band alarm 6 <i>P<sub>y</sub>H<sub>i</sub></i> :Process value high alarm 7 <i>P<sub>y</sub>L<sub>o</sub></i> :Process value low alarm	2
ALMD	Alarm operation mode	0 <i>nor<math>\bar{n}</math></i> : Normal alarm action 1 <i>Ltch</i> : Latching alarm action 2 <i>Hold</i> : Hold alarm action 3 <i>LtHo</i> : Latching & Hold action	0
ALHY	Hysteresis control of alarm	Low: 0.1      High: 50.0 °C (90.0 °F)	0.1 °C (0.2 °F)
ALFT	Alarm failure transfer mode	0 <i>on</i> : Alarm output ON as unit fails 1 <i>off</i> : Alarm output OFF as unit fails	0
COMM	Communication function	0 <i>nonE</i> : No communication 1 <i>rtu</i> : Modbus RTU mode protocol 2 <i>4-20</i> :4-20mA retransmission output 3 <i>0-20</i> :0-20mA retransmission output 4 <i>0-5v</i> :0-5V retransmission output 5 <i>1-5v</i> :1-5V retransmission output 6 <i>0-10</i> :0-10V retransmission output	1

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
ADDR	Address assignment of digital communication	Low: 1      High: 255	—
BAUD	Baud rate of digital communication	0 <b>24</b> : 2.4 Kbits/s baud rate 1 <b>48</b> : 4.8 Kbits/s baud rate 2 <b>96</b> : 9.6 Kbits/s baud rate 3 <b>144</b> : 14.4 Kbits/s baud rate 4 <b>192</b> : 19.2 Kbits/s baud rate 5 <b>288</b> : 28.8 Kbits/s baud rate 6 <b>384</b> : 38.4 Kbits/s baud rate	2
DATA	Data bit count of digital communication	0 <b>7b, t</b> : 7 data bits 1 <b>8b, t</b> : 8 data bits	1
PARI	Parity bit of digital communication	0 <b>Even</b> : Even parity 1 <b>odd</b> : Odd parity 2 <b>none</b> : No parity bit	0
STOP	Stop bit count of digital communication	0 <b>1b, t</b> : One stop bit 1 <b>2b, t</b> : Two stop bits	0
RELO	Retransmission low scale value	Low: -19999      High: 45536	0.0 °C (32.0 °F)
REHI	Retransmission high scale value	Low: -19999      High: 45536	100.0 °C (212.0 °F)
SEL1	Select 1'st parameter for user menu	0 <b>none</b> : No parameter selected 1 <b>LOCK</b> : LOCK is put ahead 2 <b>INPT</b> : INPT is put ahead 3 <b>UNIT</b> : UNIT is put ahead 4 <b>DP</b> : DP is put ahead 5 <b>SHIF</b> : SHIF is put ahead 6 <b>PB</b> : PB is put ahead 7 <b>TI</b> : TI is put ahead	2

Parameter Notation	Parameter Description	Range	Default Value
SEL1	Select 1'st parameter for user menu	8 <i>td</i> :TD is put ahead 9 <i>o1HY</i> : O1HY is put ahead 10 <i>[Y[1</i> : CYC1 is put ahead 11 <i>oFSt</i> : OFST is put ahead 12 <i>r,r</i> :RR is put ahead 13 <i>o2HY</i> : O2HY is put ahead 14 <i>[Y[2</i> : CYC2 is put ahead 15 <i>[Pb</i> : CPB is put ahead 16 <i>db</i> :DB is put ahead 17 <i>Addr</i> :ADDR is put ahead 18 <i>ALHY</i> :ALHY is put ahead	2
SEL2	Select 2'nd parameter for user menu	Same as SEL1	3
SEL3	Select 3'rd parameter for user menu	Same as SEL1	4
SEL4	Select 4'th parameter for user menu	Same as SEL1	6
SEL5	Select 5'th parameter for user menu	Same as SEL1	7
SEL6	Select 6'th parameter for user menu	Same as SEL1	8
SEL7	Select 7'th parameter for user menu	Same as SEL1	10
SEL8	Select 8'th parameter for user menu	Same as SEL1	17

# **Anexo C**

Encuesta dirigida a los empleados de la empresa INEDYC

**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E**  
**INDUSTRIAL**  
**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y**  
**COMUNICACIONES**

**Encuesta dirigida a:** Trabajadores del Departamento Administrativo y técnicos de la empresa INEDYC.

**I. OBJETIVO**

Obtener información sobre la actual situación del control del banco de resistencia en los hornos industriales.

**II. INSTRUCTIVO**

Sírvase leer con atención cada pregunta y marque una X dentro del paréntesis correspondiente a su respuesta.

**III. CUESTIONARIO**

7. ¿Qué problemas ocasiona el no tener un sistema Proporcional Integrado Derivado?

Demora en la entrega de productos..... ( )

Pérdidas económicas..... ( )

Consumo en exceso de energía.....( )

La precisión en el set point de la temperatura de trabajo..... ( )

Otros..... ( )

**8.** ¿Cuáles son las consecuencias de no disponer de un sistema de control apropiado para el control de la temperatura en el horno?

Peligro en el área de trabajo..... ( )

Daño en la materia prima.....( )

Mantenimiento frecuente..... ( )

**9.** ¿Qué tiempo pasa sin operar el horno por el daño del banco de resistencia?

1 día..... ( )

1 semanas.....( )

2 semanas..... ( )

Más de un mes.....( )

Otros..... ( )

**10.** ¿Considera necesario un cambio de sistema de control electrónico para mejorar la funcionalidad del horno?

Si..... ( )

No..... ( )

**11.** ¿Qué porcentaje de materia prima se desperdicia por el mal funcionamiento del horno?

5%.....()

10%.....()

20%.....( )

Más del 20%.....( )

**12.** ¿Considera que las pérdidas económicas producidas por el frecuente daño del horno son?:

Altas..... ( )

Medias..... ( )

Bajas..... ( )

Ninguna..... ( )

¡Agradecemos cordialmente su colaboración!

## 6.14. GLOSARIO

**Arco voltaico.-** Es la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial, colocados a baja presión o al aire libre.

**BJT.-** El transistor de unión bipolar (del inglés Bipolar Junction Transistor, o sus siglas BJT) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales

**Bootloader.-** Un bootloader (en inglés «cargador de arranque») es un programa sencillo que no tiene la totalidad de las funcionalidades de un sistema operativo, diseñado exclusivamente para preparar todo lo que necesita el sistema operativo para funcionar

**CPU.-** La unidad central de procesamiento o CPU (por el acrónimo en inglés de central processing unit), o simplemente el procesador o microprocesador, es el componente del computador y otros dispositivos programables, que interpreta las instrucciones contenidas en los programas y procesa los datos.

**EEPROM.-** (Electrically Erasable Programmable ReadOnly Memory) Memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente. Chip de memoria que retiene su contenido sin energía. Puede borrarse, tanto dentro del computador como externamente. Por lo general requiere más voltaje para el borrado que el común de +5 voltios usado en circuitos lógicos. Funciona como RAM no volátil, pero grabar en EEPROM es mucho más lento que hacerlo en RAM.

**EPROM.-** (Erasable Programmable ROM) ROM programable y borrable. Son las más populares, y su aspecto es muy característico, en efecto se presenta como un circuito integrado normal, pero con una cubierta de cuarzo al vacío de forma que el chip pueda ser alcanzado por las radiaciones ultravioletas. Las Eprom / Rprom y las Eprom. Son memorias de solo lectura,



programables por el usuario, y que pueden programarse repetidamente. La única diferencia entre ellas radica el procedimiento de borrado previo a toda operación de reprogramación. Las EPROM / RPRM se borran exponiéndolas durante unos minutos a rayos ultravioletas, que ponen a 0 todas las celdas de la memoria:

**Feedback.-** La transmisión de corriente o voltaje desde la salida de un circuito o antes de la entrada de un dispositivo, donde este interactúa con las señales de entrada o modifica el proceso de un dispositivo

**FEM.-** El trabajo realizado para mover la carga eléctrica recibe el nombre de fuerza electromotriz (fem).

**Fotones.-** El fotón es una partícula cuya carga y masa en reposo son nulas y que se mueve continuamente a la velocidad de la luz. Una luz muy intensa es aquella que posee muchos fotones; una luz muy energética es la que posee fotones de gran energía. A cada fotón le corresponde una determinada energía que es función de la frecuencia de la radiación en la que se integra - mayor frecuencia mayor energía

**Led.-** Es un diodo emisor de luz. Un semiconductor que emite luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, cuando se polariza en directa y es atravesado por la corriente eléctrica.

**Lógica difusa.-** Es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa

**Metalúrgica.-** Ciencia aplicada cuyo objeto es el estudio de las operaciones industriales tendientes a la preparación, tratamiento (físico y/o químico) y producción de metales y sus aleaciones. En términos generales, la técnica metalúrgica comprende las siguientes fases: Obtención del metal a partir de uno de sus minerales (mena) Afino o purificación del metal. Preparación de

aleaciones. Tratamientos mecánicos, térmicos o termoquímicos para su mejor utilización.

**PLC.-** Un contador lógico programable se define como un dispositivo electrónico digital que una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas de configuración de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos.

**ROM.-** Es un término informático que significa Read Only Memory (“Memoria de Sólo Lectura”). Se trata de un medio de almacenamiento que utilizan las computadoras y otros equipos electrónicos.

Los datos guardados en la memoria ROM no pueden ser modificados por el usuario común. Este tipo de memoria se usa para almacenar el firmware (el software vinculado a un hardware específico) y otras informaciones indispensables para el funcionamiento de la computadora.

**RISC.-** (Reduced Instruction Set Computer). Se trata de un tipo de procesador especialmente rápido que utiliza una tecnología del tipo pipeline muy desarrollada, lo que le faculta para operar con un alto nivel de simultaneidad. Este tipo de procesadores son lo contrario de los denominados CISC, mucho más comunes.

**Set point.-** El set point o punto de referencia puede ser establecido manualmente, automáticamente o programado. Su valor se expresa en las mismas unidades que la variable controlada.

**Sistemas embebidos.-** Son dispositivos usados para controlar equipos, operación de maquinarias o plantas industriales completas. El término “embebido” (también se lo conoce como “incrustado” o “embutido”) está caracterizando que esos circuitos integrados son una parte integral del sistema en que se encuentran.

**Streaming.-** Consiste en una tecnología utilizada para permitir la visualización y la audición de un archivo mientras se está descargando, a través de la construcción de un buffer por parte del cliente, una vez que este se ha conectado al servidor, el buffer del cliente se va llenando de la información descargada y se va reproduciendo en el ordenador. El sistema se encuentra sincronizado, tal que, una vez terminada la reproducción del contenido del archivo, finaliza la descarga (siempre y cuando no existan interrupciones en el envío del archivo).

**Transductor.-** Es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. En particular, convierte la magnitud de una variable física en una señal eléctrica proporcional.