



COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

**Diseño y Construcción de un Sistema de Control
y Automatización de la temperatura en un sistema CSVT**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

**LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES**

P R E S E N T A:

ANDRÉS BECERRIL MARTÍNEZ

D I R E C T O R

DR. ROGELIO MENDOZA PÉREZ

C O D I R E C T O R

M. EN I. FERMI VÁZQUEZ VILLANUEVA

Ciudad de México, agosto de 2018

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se la dedico muy especialmente a mi mamá Susana Becerril Martínez por apoyarme en las buenas y las malas, para que yo tuviera una mejor preparación; “Gracias madre por tus consejos y enseñanzas de la vida” porque sin ellos no estaría ahora culminando esta etapa tan importante de mi vida; espero y te sientan tan orgullosa de mí como yo lo estoy de ti madre te amo mucho.

A mi papá José Francisco Muñoz López que ya no se encuentran con nosotros pero sé que desde algún lugar se sentirá muy orgullo de su hijo se que desde el cielo esta cuidándome y apoyándome en todo momento.

A mi maCristina por a verme enseñado a valorar la vida y ser un a persona trabajadora este logro es para ti y sé que te siente muy orgullosa de mi de tu hijo gracias por esas desveladas y esos desayunos tan ricos te amo mucho.

A mi hijo Andrés Santiago Becerril Cedillo llegaste en el mejor momento de mi vida este logro es por ti y algún día estaré orgullo de ti como tú lo estas de mi te amo hijo.

A mi tía Martha Becerril Martínez por aguantarme todos estos años, y por tantas cosas que hiciste por mí que no tendría suficientes líneas para explicar por qué te dedico mi tesis. “Gracias por todo te quiero mucho”

A mi familia Becerril Martínez que en mis momentos de estrés y tensión me apoyaron, haciéndome sentir mejor para superar las dificultades en esta vida de estudiante.

A mi amigo que digo a mi hermano que nunca tuve Armando Moisés Pérez Silva gracias te doy por brindarme tu amistad tus consejos y sobre todo el apoyo académico que tuvimos durante nuestra carrera y apoyándonos como siempre.

A mis compañeros de laboratorio LACyTES Edificio B 406 Fabiola, Francisco, Alejandro, Giovani, Moisés, Kevin, Marco gracias por su apoyo y por los bellos momentos vividos y felices.

A todos mis amigos que estuvieron a mi lado durante todo el transcurso de mi carrera brindándome fraternidad en momentos agradables y de tristeza. A todas las personas que han estado presentes en algún momento de mi vida y sobre todo de mi carrera.

Este trabajo se realizó con el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación a través del proyecto 189282 del Fondo Mixto CONACyT-GDF "Manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm² y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales asociados".

Agradezco la muy valiosa orientación, disposición y ayuda en el desarrollo de este proyecto a mi director de tesis el Dr. Rogelio Mendoza Pérez, le agradezco también la gran confianza que depositó en mi persona para la realización de este proyecto.

Agradezco la colaboración a mi eco-director tesis Mtro. Fermi Vázquez Villanueva. Le debo toda mi admiración por su inteligencia y su compromiso por el proyecto y su valioso tiempo para conseguir con su apoyo lo obtenido que fue parte de esto y su conocimiento y soporte brindados hacia mí durante todo el proceso de trabajo muchísimas gracias.

Un agradecimiento especial al Dr. José Joaquín Lizardi Del Ángel por la invitación y confianza para realizar el proyecto "Modelación térmica del procesamiento de materiales semiconductores para mejorar la eficiencia de las Celdas Fotovoltaico" y asesoramiento para obtener los resultados adquiridos del proyecto *UACM/OAG/ADI/011/2011*.

Nomenclatura

V: Voltaje (Volts).

I: Corriente (Amperes).

W: Potencia (Watts).

Ω : Resistencia Eléctrica (Ohms).

CD: Corriente Directa.

CA: Corriente Alterna.

UV: Ultravioleta.

FV: Fotovoltaica.

NI PCIe-6341: Tarjeta de Adquisición de datos.

BNC-2120: Tarjeta de trabajo y desarrollo de sensores.

LabVIEW: Software de instrumentación virtual.

PIC C compiler: Compilador C para microcontroladores PIC.

BTA-40: TRIAC.

PIC18F4550: Microcontrolador.

P: Proporcional.

PD: Proporcional Derivativo.

PID: Proporcional Integral Derivativo.

$^{\circ}\text{C}$: Grados Centígrados.

RTD: Detector de temperatura resistivo.

R0: Resistencia de la RTD a temperatura 0 °C.

ΔT : Desviación de Temperatura.

α : Coeficiente de temperatura del termopar.

LM35: Sensor de Temperatura de estado sólido.

COG: Centro de gravedad.

CdTe: Telurio de cadmio.

CdS: Sulfuro de cadmio.

H(s): Salida del controlador.

Hd(s): Valor deseado.

Tm(s): Valor medido.

E(s): Error (y).

CSV T: Transporte de Vapor en Espacio Cerrado (SIN VACIO).

CSV T-I: Transporte de Vapor en Espacio Cerrado con Lámparas Infrarrojas (CON VACIO).

INDICE

Capítulo 1. Introducción.	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema.	1
1.1.2 Importancia.	2
1.1.3 Implicaciones Prácticas.....	2
1.2 Objetivo.	3
1.2.1 Objetivos Específicos.....	3
Capítulo 2. Marco Teórico.	4
2.1 CSVT, Control y Automatización.	4
2.1.1 ¿Qué es un CSVT?.....	4
2.1.2 ¿Qué es el control?.....	4
2.1.3 ¿Qué es la Automatización?	5
2.2 Tipos de Control.	5
2.2.1 Sistema de Control.....	5
2.3 Lógica Difusa.....	7
2.3.1 ¿Qué es la lógica difusa?.....	8
2.4 ¿Cómo se compone un sistema difuso?	9
2.4.1 Difusor, Mecanismo Inferencia y Desdifusor.....	9
2.4.2 Diferentes Formas de Funciones Miembro.	12
2.4.3 Algunas ventajas que se tiene al utilizar lógica difusa	13
2.4.4 Desventajas de la lógica difusa.....	13
2.4.5 Aplicaciones.....	13
2.5 Sensor de Temperatura.....	15
Capítulo 3.Diseño y Construcción del sistema CSVT.....	19
3.1 Sistema térmico.....	19
3.1.1 Diseño del sistema CSVT.	19
3.1.2 Características del sistema CSVT sin vacío.	21

3.1.3	Fabricación del CSVT.	23
3.2	Sensor y acondicionamiento de la señal.	24
3.2.1	Sensor de temperatura para el sistema CSVT.	24
3.2.2	Termopar elegido para el sistema CSVT.	25
3.2.3	El termopar en la NI PCIe-6341 y en la BNC-2120.	26
3.2.4	Control de Temperatura del sistema CSVT.	27
3.3	Diseño del Controlador Difuso.	29
3.3.1	Controlador Difuso.	29
3.3.2	Diseño y edición del Controlador Difuso.	31
3.4	Interface de potencia.	40
3.4.1	Control del ángulo de fase.	40
3.5	Caracterización de potencia de salida contra el ángulo de disparo.	41
3.5.1	Tabla de control de ángulo de fase.	41
3.5.2	Circuito de potencia.	44
3.5.3	Circuito detector de cruce por cero.	44
3.5.4	Interruptor de Potencia y circuito de excitación.	45
3.6	Programación en LabVIEW.	47
3.6.1	Polinomio de ángulo de disparo en función del voltaje normalizado.	47
3.6.2	Diagramas de los programas de control de ángulo fase en el microcontrolador.	48
3.7	Diseño y construcción de tarjetas electrónicas.	51
3.7.1	Circuito en Proteus 8.0 e impreso del PCB.	51
3.8	Software para el sistema de control y automatización de la temperatura del CSVT.	53
3.8.1	Selección del software CSVT.	53
3.9	Programa de automatización y control de la temperatura del CSVT en LabVIEW.	57
3.9.1	¿Que es una máquina de estado?	57
3.9.2	Diagrama de la máquina de estados en LabVIEW.	57

3.9.3 Programación de la máquina de estados del sistema CSVT en la LabVIEW.	59
---	----

Capítulo 4. Pruebas, resultados y conclusiones..... 62

4.1 Integración del prototipo de CSVT y el sistema de control de temperatura.	62
4.2 Pruebas de control de Temperatura.	62
4.2.1 Prueba a 100°C.	63
4.2.2 Prueba a 200°C	63
4.2.3 Prueba a 300°C.	64
4.2.4 Prueba a 400°C.	65
4.2.5 Prueba a 500°C.	65
4.2.6 Prueba a 600°C.	66
4.2.7 Prueba a 700°C.	67
4.3 Análisis de Resultados.	67
4.4 Conclusiones.	68
4.5 Trabajo Futuro.	69
Apéndice A: Tarjeta de adquisición de datos NI-PCI-6343.	70
Apéndice B: Tarjeta de salida de control BNC-2120.	73
Apéndice C: Microcontrolador PIC18F4550.	75
Apéndice D: TRIAC BTA40.	79
Apéndice E: Moc 3011.	81
Apéndice F: Sensor de temperatura LM35.	82
Apéndice G: Software LabVIEW CSVT.	83
Apéndice H: Control de potencia.	86
Apéndice I: Programa de control de ángulo fase micro.	87
Apéndice J: Presupuesto de Prototipo CSVT.	88
Bibliografía.	90
Mesografía.	91

RESUMEN

En este trabajo se describe el desarrollo de un sistema de control y automatización del tratamiento térmico para la manufactura de módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm^2 y con eficiencias de 8% por la técnica de sublimación y procesos preindustriales asociados, en el cual se realizó un controlador de temperatura para sistemas de depósito para la implementación de celdas solares en una maquina CSVT con ayuda del software de LabVIEW. Se realizo un código en lenguaje C en el microcontrolador PIC18F4550 para la interface de potencia y el algoritmo de control y automatización de lógica difusa en LabVIEW, que permite que el usuario interactúe con el sistema CSVT y llevar a cabo el control automatizado para el proceso.

Además se muestra el proceso de diseño e implementación de los circuitos correspondientes a la etapa de control y de potencia. Finalmente se muestra el proceso de integración y caracterización del sistema, así como la implementación y puesta en marcha del mismo, que cuenta también con un control difuso de temperatura.

Para la construcción del sistema se usan sensores comerciales y una tarjeta de adquisición de datos NI PCIe-6341 y una tarjeta de conexiones BNC-2120, la cuales son fáciles de usar y enlazar con el programa en el software LabVIEW, ya que son de la misma plataforma de National Instruments.

Para la medición de la temperatura se utilizo una termopar tipo K, que nos proporcionara una señal de voltaje bajo, la cual es acoplada y acondicionada por la tarjeta BNC-2120, la cual entrega la señal a la tarjeta de adquisición NI PCIe-6341, que procesa y entrega una señal digital, que será enviada al programa realizado en la plataforma LabVIEW, donde se ejecuta el algoritmo de automatización y control de temperatura, el programa entrega la señal de control que se manda a una salida analógica de la tarjeta NI PCIe-6341, la cual representa la potencia para mantener la temperatura en su valor deseado, también se programó un reloj digital o temporizador que controla la duración del proceso de automatización y control de temperatura.

El desarrollo de la presente tesis se presenta de acuerdo a los siguientes capítulos:

Capítulo 1.- Se presenta la introducción al presente trabajo, el planteamiento del problema, así como los objetivos específicos, su justificación, los alcances y limitaciones del proyecto que se ha realizado.

Capítulo 2.- Contiene todo el material teórico y antecedentes tomados en cuenta para la realización de este trabajo y el desarrollo del sistema.

Capítulo 3.- Aquí se expone la operación de la tarjeta de adquisición de datos, sus características tanto eléctrica, como la configuración de sus terminales de entrada y salida, de alimentación y su programación. Se muestra el diseño y el desarrollo del sistema CSVT con sus respectivas características, además se incluye la parte de los programas en C para la interface de potencia y LabVIEW para el control y automatización, así como la parte de la construcción de todos los elementos del sistema.

Capítulo 4.- Se muestran los resultados que se obtuvieron de las pruebas realizadas con el sistema CSVT y los desarrollos futuros que se le pueden agregar o quitar para un mejor funcionamiento del sistema.

Conclusiones.- Aquí se exponen las conclusiones de los resultados obtenido del sistema.

Capítulo 1. Introducción.

1.1 Antecedentes.

El control de temperaturas en los sistemas experimentales de Transporte de Vapor en Espacio Cerrado conocidos como CSVT (por su acrónimo en inglés Closed Space Vapor Transport), es de vital importancia para la obtención de materiales con las propiedades deseadas. Existen diversos parámetros experimentales que influyen en las propiedades físicas de los materiales procesados por un sistema CSVT, como son: presión, tiempo, atmósfera, calidad del material y la temperatura de los bloques de grafito. Esta temperatura entre los bloques de grafito provoca una diferencia de temperatura necesaria para realizar el transporte del vapor del material a depositar; por esta razón el control y monitoreo de dichas temperaturas durante todo el proceso de fabricación de cualquier material en un sistema CSVT es un problema que tiene que ser estudiado y abordado por cualquier laboratorio que se dedique al estudio de la ciencia de materiales y haga uso de un sistema CSVT. Actualmente en el LACyTES se manufacturan módulos fotovoltaicos de CdS/CdTe en áreas de 100 cm^2 por medio de un CSVT y el proceso de control del tratamiento térmico de los materiales se realiza de forma manual, donde el operador auxiliado de unos controladores de temperatura comerciales, es el responsable de encender el sistema paso a paso y estar pendiente de la activación de los diversos elementos del sistema y tomar el tiempo que el tratamiento térmico debe durar, este procedimiento es propenso al error humano y no permite alcanzar la eficiencia objetivo del 8%, el presente trabajo se plantea como una parte de la solución que pueda ayudar a resolver dicho problema.

1.1.1 Planteamiento del problema.

Derivado de los problemas asociados al control manual del tratamiento térmico del CSVT, se planteó la necesidad de automatizar dicho control por medio de un sistema electrónico y computacional, la solución consiste en realizar un programa en un software de instrumentación virtual como LabVIEW, que se encargue de dicha automatización, para esto también es necesario el uso de un interface que permita proporcionar la información del estado térmico del CSVT al programa, se ejecute el algoritmo de automatización y control de temperatura y se envíe la señal de control al actuador para que el estado térmico del CSVT se comporte como se desea. Para realizar dicha interface se plantea la utilización de una tarjeta de adquisición de datos NI-PCIe-6341 y su tarjeta de conexiones BNC-2120, así como de un microcontrolador para procesar la señal de control para la interface de potencia para mantener la temperatura en el valor deseado.

Para el sensado de temperatura se planteó el uso de un termopar tipo K, para el accionamiento o calentamiento del sistema se usaron lámparas ultravioletas de 1000W, estas fueron introducidas a los grafitos, los cuales presentan buenas propiedades térmicas para ser empleados como medios calefactores. Para la interface de potencial se utilizó de un control ángulo de fase por medio de un TRIAC BTA-40, que controla la potencia a las lámparas ultravioletas por medio de un programa que se ejecuta en el microcontrolador PIC18F4550, el cual recibe la señal de control de la tarjeta de adquisición.

También se planteó la construcción de un prototipo sistema CSVT con base de madera, en el cual se colocó un tubo de vidrio resiste a altas temperaturas, con sus respectivas tapas de aluminio con unos barrenos para sostener las lámparas. Para el control de temperatura se plantea la utilización de control difuso, debido a su sencillez de aplicación y no requerir modelo del sistema. La interface del programa LabVIEW debe contener botones de inicio, termino, control de tiempo, así como un gráfica del monitoreo del comportamiento de la temperatura del sistema.

El sistema de control y automatización de temperatura para una CSVT deberá ser fácil de operar para facilitar el trabajo del personal responsable y así poder ayudar a alcanzar la eficiencia planteada de las celdas fabricadas.

1.1.2 Importancia.

La automatización del control de temperatura del sistema CSVT sin tanta inestabilidad es importante, ya que si el sistema resulta exitoso, cada vez se estará más cerca de ayudar a alcanzar la eficiencias del 8% en las celdas fabricadas en el laboratorio de la UACM LACyTES.

1.1.3 Implicaciones Prácticas.

Esta investigación pretende resolver el problema de controlar la temperatura por medio del software LabVIEW, una tarjeta de adquisición de datos NI PCIe-6341 y su tarjeta de conexiones BNC-2120 y un microcontrolador PIC18F4550, ya que el sistema actual en el LACyTES tienen un control ON/OFF, este se tiene que estar monitoreando por el usuario, el cual tiene la mayor parte del control en sus manos, lo cual es muy propenso a errores, con el sistema propuesto puedan salir más eficientes los resultados de las graficas del calentamiento del sistema térmico debido al uso de algoritmo de control más eficiente y robusto, como es el control difuso.

1.2 Objetivo.

Diseñar y construir un prototipo de sistema de control y automatización para el tratamiento térmico de materiales semiconductores con Cd/Cl₂ de 100 cm² en un CSVT.

1.2.1 Objetivos Específicos.

- Construir un prototipo CSVT para realizar pruebas.
- Diseñar e implementar los circuitos de potencia y sensado para la interfaz hardware del control con el CSVT.
- Diseñar y desarrollar el software de automatización y control de temperatura en el CSVT.
- Diseñar la interfaz de usuario del software.
- Integrar todo el sistema de control y automatización con el prototipo CSVT del laboratorio y probar su desempeño.

Capítulo 2. Marco Teórico.

2.1 CSVT, Control y Automatización.

2.1.1 ¿Qué es un CSVT?

Un CSVT (Transporte de Vapor en espacio cerrado, por sus siglas en inglés) sirve para el procesamiento de materiales semiconductores, que mejora la técnica y las condiciones de depósito de dichos materiales, alcanzando mayores temperaturas y escalamiento en las dimensiones de los materiales.

El sistema de depósito CSVT consta esencialmente de 3 partes:

1. Medición y control de temperatura.
2. Cámara de crecimiento.
3. Sistema de vacío y control de atmosfera.

Uno de los principales propuestas en al prototipo fue la adaptación de lámparas infrarrojas (IR) para el sistema de calentamiento con lo que se obtuvo mayor eficiencia energética y menor riesgo de ruptura por esfuerzos termo mecánicos al momento de procesar dichos materiales [11].

Como se puede observar uno de las principales parte del sistema CSVT es la medición y el control de temperatura, el cual es el tema de este trabajo.

2.1.2 ¿Qué es el control?

Los sistemas de control según la Teoría Cibernética se aplican en esencia para los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones.

Estos sistemas fueron relacionados por primera vez en 1948 por Norbert Wiener en su obra Cibernética y Sociedad con aplicación en la teoría de los mecanismos de control.

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

Hoy en día los procesos de control son síntomas del proceso industrial que estamos viviendo.

Estos sistemas se usan típicamente en sustituir a un trabajador pasivo que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos en base a muchos parámetros y reciben el nombre de Controladores de Automatización Programables (PAC) [4].

2.1.3 ¿Qué es la Automatización?

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución de operar en las tareas físicas y mentales previamente programada la automatización como la aplica en control de procesos industriales. Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch. Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material [12].

2.2 Tipos de Control.

2.2.1 Sistema de Control.

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

Por ejemplo, en nuestro cuerpo tenemos muchos tipos de sistemas de control, como el de nuestro de temperatura del cuerpo, que se regula por medio de la respiración, también el sistema locomotor de nuestras extremidades, y así muchos otros sistemas de control que tenemos en nuestro cuerpo; también como mencionó existen un

incontable número de sistemas de control mecánicos desde un pequeño reloj hasta un sistema complejo de control de una planta nuclear.

Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

- Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser eficiente según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso.
- En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta; y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema o planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación, véase Figura 2.1.

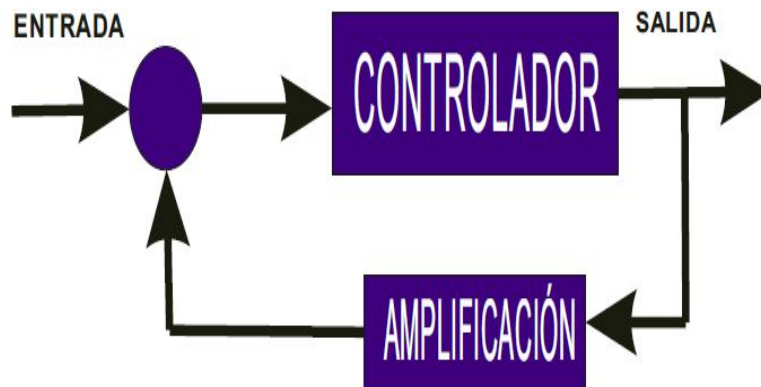


Figura 2.1. Sistema de Control Básico.

Hay varias clasificaciones dentro de los sistemas de control. Atendiéndose a su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos; también a su estructura (número de entradas y salidas), puede ser control clásico o control moderno; el cual su diseño pueden ser por lógica difusa, o redes neuronales.

Los principales tipos de sistemas de control son:

1. **Sí/No.** En este sistema el controlador enciende o apaga la entrada y es utilizado, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un nivel predeterminado de luminosidad.

2. **Proporcional (P).** En este sistema la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no es solamente un nivel prefijado sino toda la gama de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos de iluminación utilizan un sistema P para determinar con qué intensidad puede encender lámparas dependiendo directamente de la luminosidad ambiental.
3. **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.
4. **Proporcional integral (PI).** Este sistema es similar al anterior, solo que la señal se integra en vez de derivarse.
5. **Proporcional integral derivativo (PID).** Este sistema combina los dos tipos anteriores.
6. **Control Difuso.** Este sistema modela los procesos para controlar la señal de entrada y salida. En estos casos el tipo de control utilizado, es seleccionado por reglas de control y depende mucho de la planta que se está controlando, así con esto podemos elegir el tipo de control que es necesario para cada sistema a controlar [5].

2.3 Lógica Difusa.

A mediados de la década del 60 el Profesor Lotfi Zadeh, de la Universidad de California en Berkeley, introdujo su teoría de los conjuntos difusos, donde la idea de pertenencia de un elemento a un determinado conjunto, pertenece o no pertenece, sino que pertenece en un cierto grado.

Las funciones que vinculan al elemento con su grado de pertenencia, se llaman funciones de pertenencia (membership functions). Basándose sobre esta idea, se construyó nuevamente toda la teoría de conjuntos, redefiniendo intersección, unión, operadores lógicos (AND, OR), otras operaciones y sus propiedades.

En lo referente a la lógica, aparecen nuevas alternativas respecto de la lógica tradicional, puesto que, al evaluar una proposición, ya no es verdadera o falsa sino que la misma tiene un cierto grado de veracidad, y que a su vez depende del grado de veracidad de sus premisas.

De aquí al utilizar Lógica difusa en la evaluación de reglas, todas las reglas cuyas premisas tengan algún grado de veracidad, influirán también en cierto grado a la solución del problema.

Es decir toda regla que sepa algo opina. En la actualidad se busca mejorar y optimizar los procesos de control, para esto se trata de utilizar la lógica difusa o Fuzzy Logic, como se le nombra hoy en día; la lógica difusa se va abriendo camino en la ingeniería de control difuso.

Con respecto a los avances que tiene ahora la ingeniería de control, es notorio que los algoritmos y los programas son realmente sofisticados para la implementación de este tipo de control; el control difuso es algo nuevo en el campo pero es realmente revolucionario pues los proyectos son factibles y de muy alta vanguardia.

Existe una gran gama de sensores de temperatura, y en muchas presentaciones. Hay varios tipos de sensores que actúan gracias a líquidos, gases, vapores y mercurio. Muchos de estos tipos de sensores son utilizados en el control de temperatura y se utilizan también en el control difuso para adquirir parámetros que nos ayuden con algoritmo de control difuso [8].

En un recinto, en el cual se tengan protocolos de control de temperatura, aire, humedad, etcétera; se requiere un control que responda más rápida y efectivamente a una respuesta a los cambios que tenga tal recinto; éste puede ser desde una recámara hasta una gran bodega donde se tenga materia que se pueda dañar con los cambios de estado. Los algoritmos están diseñados para que el operador sea el que especifique el modo del control según su necesidad y sus propias especificaciones, como por ejemplo, como se puede realizar en el módulo de lógica difusa del software de LabVIEW.

2.3.1 ¿Qué es la lógica difusa?

La lógica difusa es una metodología que proporciona de una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta, en general la lógica difusa imita cómo una persona toma decisiones basada de información con las características mencionadas.

2.4 ¿Cómo se compone un sistema difuso?

2.4.1 Difusor, Mecanismo Inferencia y Desdifusor.



Figura 2.2. Pasos para el Control Difuso.

- **Bloque difusor.** Bloque en el que a cada variable de entrada se le asigna un grado de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos que se ha considerado, mediante las funciones características asociadas a estos conjuntos difusos. Las entradas a este bloque son valores concretos de las variables de entrada y las salidas son grados de pertenencia a los conjuntos difusos considerados.
- **Bloque de inferencia.** Bloque que, relaciona conjuntos difusos de entrada y salida, que representan a las reglas que definen el sistema. Las entradas a este bloque son conjuntos difusos (grado de pertenencia) y las salidas son también un conjunto difuso, asociado a la variable de salida.
- **Desdifusor.** Bloque en el cual a partir del conjunto difuso obtenido en el mecanismo de inferencia y mediante los métodos matemáticos de Desdifusión se obtiene un valor concreto de la variable de salida, véase Figura 2.2.

Para transformar los valores de entrada en entradas Difusas se deben determinar la función miembro para cada entrada, proceso que se denomina Fusificación.

El primer paso de un proceso de lógica difusa es hacer la transformación de las variables de entrada o lo que se conoce como dominio, a esta se le llama Fusificación esto quiere decir que se convierten los valores de entrada en entradas difusas. Así que para esto se debe conocer a fondo las partes de la función miembro, véase Figura 2.3.

- **Etiquetas** (valor lingüístico). Permiten clasificar desde un punto de vista la producción limpia con una eficacia.

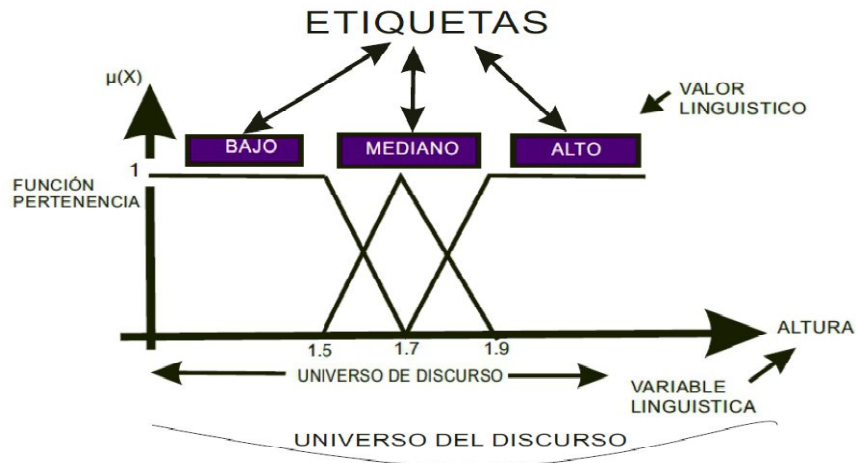


Figura 2.3. Conceptos básicos de la función miembro.

- **Grado de la función miembro** (función de pertenencia). Este valor establece el punto de transición entre 0 y 1 entre las condiciones del conjunto difuso. Con este aspecto se podría calcular cual es la acción que se ha de llevar a cabo según los valores de entrada de estos.
- **Dominio.** Es la transformación de las variables de entrada.

Universo del discurso. Este es el conjunto de elementos que se va a tener en consideración.

Un conjunto difuso es caracterizado completamente por su función de pertenencia. Una forma concisa y conveniente de definir una función de pertenencia es expresándola cómo una fórmula matemática.

Las formas trapezoidal, triangular y en este caso la singlenton son las más frecuentes.

Tres características importantes del control difuso:

- **Es un control lógico:** El calificativo de lógico significa que el algoritmo de control usa expresiones IF-THEN, en las que se puede describir una amplia variedad de condiciones, combinando expresiones lógicas con IF y AND.

- **Es un control disperso:** Esta característica, que diferencia esencialmente los sistemas de control difuso de los sistemas de control basados en una sola ecuación, permite la coexistencia de controladores con lógicas distintas y su ejecución en paralelo.
- **Es un control lingüístico:** En efecto permite el uso de variables lingüísticas imprecisas, en particular en los antecedentes de las reglas. Este lenguaje cualitativo es fácil de entender, permite realizar el control mediante un diálogo con los operadores. El algoritmo de control puede incluir los procedimientos inusuales que acompañan siempre las operaciones de un proceso real.

Los sistemas de control difuso permiten describir un conjunto de reglas que utilizarían una persona para controlar un proceso y a partir de esta regla generar acciones de control. El control difuso puede aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en modelos matemáticos que sean muy complejos. La estructura del control difuso, véase Figura 2.4.

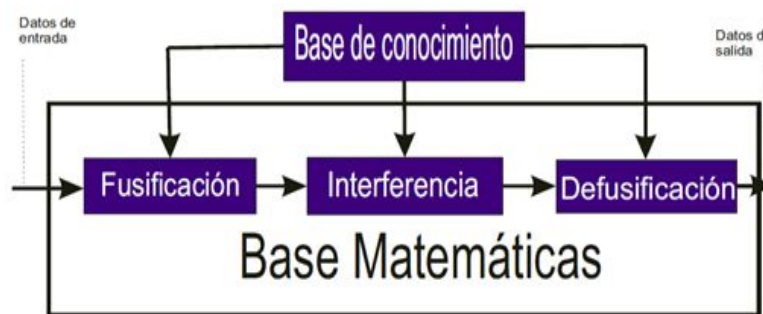


Figura 2.4. Estructura de Modelo Difuso.

Para lograr que la estructura del control difuso funcione correctamente se debe recurrir a los siguientes pasos:

- Definir cuáles son las entradas.
- Definir cuáles son las salidas.
- Fusificar las entradas.
- Evaluar el sistema que cumpla con las reglas.
- Defusificación.

Fusificación: tiene como objetivo convertir crisp o valores reales en valores difusos. En la Fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

Base de conocimiento: contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. En esta etapa se debe definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que deben actuar el sistema.

Inferencia (Evaluación de Reglas): relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones.

Defusificación: realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores crisp, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la Defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del centroide, método del promedio ponderado y método de membresía del medio máximo [10].

2.4.2 Diferentes Formas de Funciones Miembro.

En los conjuntos difusos la transición de la pertenencia o no-pertenencia de un elemento a un cierto conjunto, es gradual, y esta transición está caracterizada por las funciones de pertenencia. La función de pertenencia es la curva que define cómo cada punto en el espacio de entrada es mapeado a un valor de pertenencia (o grado de pertenencia) entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total), el espacio de entrada corresponde al universo de discurso. El criterio para escoger la forma de la función de pertenencia a utilizar puede estar basado en:

El criterio aplicado en la resolución de cada problema, el conocimiento humano de los expertos o en la utilización de una colección de datos para diseñar la función. Las funciones de pertenencia más comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática y su manejabilidad son las siguientes teniendo en cuenta su forma, véase Figura 2.5.

- a) Triangular.
- b) Trapezoidal.
- c) Singleton.
- d) Campana.

e) Gaussiaan.

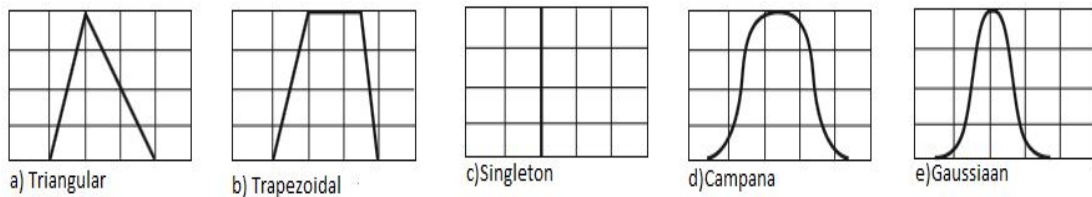


Figura 2.5. Funciones de pertenencia comúnmente usadas.

2.4.3 Algunas ventajas que se tiene al utilizar lógica difusa

- Como principal ventaja, cabe destacar los excelentes resultados que brinda un sistema de control basado en lógica difusa.
- Ofrece salidas de una forma veloz y precisa, disminuyendo así las transiciones de estados fundamentales en el entorno físico que controle.
- Implementa sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos.
- Ofrece un alto grado de confiabilidad en su uso.
- Tiene un auto grado de autonomía.
- Tiene un nivel de consumo de potencia bajo.
- Tiene un alto grado de adaptabilidad.
- Es de fácil manejo para el operario.

2.4.4 Desventajas de la lógica difusa.

- No hay actualmente un análisis matemático riguroso que garantice que el uso de un sistema experto difuso, para controlar un sistema, como resultado un sistema estable.
- Es difícil llegar a una función de membresía y a una regla confiable sin la participación de un experto humano.

2.4.5 Aplicaciones.

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven en definiciones y conocimiento no son estrictamente definido (impreciso o subjetivo).

En cambio, no es una buena idea usarlo cuando algún modelo matemático ya solucionar eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tiene solución.

Esta técnica se ha empleado con bastante éxito en la industria, principalmente en Japón, y cada vez se está usando en gran multitud de campos. La primera vez que se usó de forma importante fue en el metro japonés, con excelentes resultados.

A continuación se citan algunos ejemplos de su aplicación:

- Hornos de microondas.
- Procesadores de arroz.
- Limpiadores al vacío.
- Cámaras de video.
- Televisores.
- Sistemas térmicos.
- Traductores.
- Sistemas de control de acondicionadores de aire.
- Sistemas de foco automático en cámaras fotográficas.
- Electrodomésticos familiares (frigoríficos, lavadoras, etc).
- Elevadores.
- Trenes.
- Automóviles (máquinas, transmisiones, frenos).
- controles de tráfico.
- Optimización de sistemas de control industriales.
- Mejora en la eficiencia del uso de combustible en motores, Software.
- Diagnóstico Médico.
- Seguridad.
- Compresión de datos.
- Sistemas de reconocimiento de escritura.
- Sistemas expertos del conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano).
- Tecnología informática.
- Bases de datos difusas: Almacenar y consultar información imprecisa. Por ejemplo, existe el lenguaje FSQL.

2.5 Sensor de Temperatura.

Los sensores de temperatura se utilizan en un amplio campo de funciones, que van desde la visualización de la temperatura hasta la calibración térmica en sistemas de alta precisión. Las condiciones de un sistema se pueden mejorar y corregir si desde un primer momento se elige el sensor de temperatura más adecuado para una aplicación específica.

Termopares. Un termopar es un mecanismo de medida de temperatura que está construido por dos alambres de material diferente A y B conectados a un circuito como el que se muestra, véase Figura 2.6, unidos en una junta termoeléctrica llamada junta de medición T_1 y cerrado el circuito en otra junta llamada de referencia T_2 , un voltímetro de resistencia infinita detecta una fuerza electromotriz "E", ó si se conecta a un amperímetro, se mide la corriente "I". La magnitud del voltaje "E" depende de los materiales y de las temperaturas T_1 y T_2 . La corriente "I" es simplemente "E" dividido por la resistencia total del circuito, incluyendo la resistencia del amperímetro si se permite que pase la corriente, se genera una potencia eléctrica; que viene de la corriente de calor de los al rededores de los alambres. Así se obtiene la conversión directa de energía térmica en energía eléctrica [2].



Figura 2.6 Circuito de unión de un termopar tipo K.

En la práctica, la junta de medición es la junta del termopar tipo K que está sometida a la temperatura que se quiere medir y la junta de referencia es la unión que está a la temperatura conocida o cuya temperatura es automáticamente compensada y normalmente es transferida al instrumento por medio del cable de extensión. La relación entre el voltaje "E" y la temperatura T_1 y T_2 , que es la base de la medida termoeléctrica de la temperatura, se llama efecto Seebeck. El funcionamiento del termopar se rige también de leyes como la de temperaturas intermedias y la ley de los metales intermedios [6].

Tipos de termopares:

- Tipo K (Cromo (Ni-Cr) / Aluminio (aleación de Ni-Al)): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1.200^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.
- Tipo E (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- Tipo J (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos.
El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a 760°C ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de -40°C a $+750^{\circ}\text{C}$.
- Tipo N (Nicrosil (Ni-Cr-Si) / Nisil (Ni-Si)): es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros. Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300°C).
- Tipo B (Platino (Pt) Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800°C . El tipo B por lo general presentan el mismo resultado a 0°C y 42°C debido a su curva de temperatura/voltaje.
- Tipo R (Platino (Pt) Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1.600°C . Su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo.
- Tipo S (Hierro / Constantán): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1.600°C , pero su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43^{\circ}\text{C}$).
- Tipo T es un termopar adecuado para mediciones en el rango de -200°C a 0°C . El conductor positivo está hecho de cobre y el negativo, de constantán.

“Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el rango de temperaturas a determinar” [7].

RTD. Los detectores de temperatura resistivos (RTD Resistance Temperature Detector) son sensores de temperatura basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Su símbolo es el siguiente, en el que se indica una variación lineal con coeficiente de temperatura positivo, véase Figura 2.7 [a].

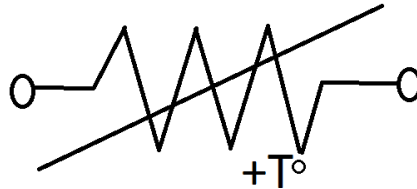


Figura 2.7. Símbolo RTD.

Al calentar un metal hay una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia, la variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0 * (1 + \alpha * \Delta T) \text{ Ecuación 1.}$$

De la (E1) tenemos que:

- R_0 es la resistencia a la temperatura de referencia T_0 .
- ΔT es la desviación de temperatura respecto de la (E2) tenemos que:

$$T_0(\Delta T = T - T_0) \text{ Ecuación 2.}$$

- α es el coeficiente de temperatura del conductor especificado a 0°C , interesa que sea de gran valor y constante con la temperatura.

Los termistores son ampliamente utilizados actualmente como los limitadores de corriente de encendido, sensores de temperatura, protectores de sobre intensidad de corriente y elementos de calefacción autorreguladores.

Asumiendo, como aproximación de primer orden, que es la relación entre la resistencia y la temperatura lineal, entonces:

$$\Delta R = k\Delta T \text{ Ecuación 3.}$$

Dónde:

- ΔR es cambio en resistencia.
- ΔT es cambio en temperatura.
- k es coeficiente de primer orden de la temperatura de resistencia.

Los termistores se pueden clasificar en dos tipos dependiendo de la muestra de k . Si k es positivo, la resistencia aumenta con el aumento de temperatura, y el dispositivo se llama un termistor de coeficiente de temperatura positivo (PTC). Si k es negativo, la resistencia disminuye con el aumento de temperatura, y el dispositivo se llama termistor de coeficiente negativo de la temperatura (NTC).

Sensor LM35. Es un sensor de temperatura integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura en °C (grados centígrados). El LM35 [g]no requiere ninguna calibración externa o ajuste para proporcionar una precisión típica de $\pm 1.4^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente y $\pm 3.4^{\circ}\text{C}$ a lo largo de su rango de temperatura (de -55°C a 150°C). El dispositivo se ajusta y calibra durante el proceso de producción. La baja impedancia de salida lineal y la precisa calibración inherente, permiten la creación de circuitos de lectura o control especialmente sencillos.

El LM35 puede funcionar con alimentación simple o alimentación doble (+y), véase Figura 2.8.

Características:

- Calibrado directamente en grados Celsius (Centígrados).
- Factor de escala lineal de $+10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
- $0,5^{\circ}\text{C}$ de precisión a $+25^{\circ}\text{C}$.
- Rango de trabajo: -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$.
- Funciona con alimentaciones entre 4 V y 30 V.
- Menos de $60\text{ }\mu\text{A}$ de consumo.
- Bajo auto-calentamiento ($0,08^{\circ}\text{C}$ en aire estático).
- Baja impedancia de salida, $0,1\text{ W}$ para cargas de 1 mA.

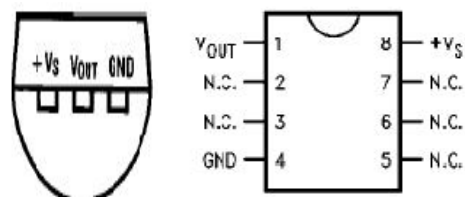


Figura 2.8. Diagrama de conexión.

Capítulo 3. Diseño y Construcción del sistema CSVT.

3.1 Sistema térmico.

Los sistemas de depósito CSVT requiere un diseño de sistema de control de temperatura para el procedimiento de fabricación de las celdas solares, cada uno de los sistemas tiene requerimientos específicos que determinan la metodología del sistema de control.

3.1.1 Diseño del sistema CSVT.

La deposición química en fase de vapor asistido por luz ultravioleta (CSVT) que utiliza la energía ultravioleta para conducir la reacción química. La principal ventaja de CSVT es la capacidad de aplicar recubrimientos a temperaturas extremadamente altas (temperaturas 700°C).

En el sistema CSVT se trabajará en rangos de 50 °C hasta los 700°C debido a que en los procedimientos de depósito para sistemas CSVT es posible obtener los "clusters" de silicio nano estructurado en este rango de temperaturas.

En el sistema CSVT la planta que se desea controlar es una placa sólida de grafito y lámparas ultravioletas especialmente para fines prácticos en métodos de deposición de celdas solares [3].

Las dimensiones de la placa de grafito son: 10 cm de ancho por 10 cm de largo y 1.2 cm de espesor, el sensor está colocado en un costado, véase Figura 3.1a.

El grafito junto con las lámparas ultravioletas se comporta como un calefactor eléctrico resistivo en la parte inferior, donde la transmisión del calor se debe al efecto Joule.

Los calefactores resistivos generan calor proporcionalmente al cuadrado de la corriente eléctrica que fluye a través de ellos. Esta relaciones conocida como "Ley de Joule". Los diferentes valores de temperatura en la placa se deberán a la variación de corriente en el calefactor eléctrico.

Cabe mencionar que durante el proceso de diseño se consideraron tres opciones como posibles plantas, la primera opción consistió en una placa de grafito con un espesor cercano a los 2 cm, el cual representó el principal problema al momento de la implementación, ya que para fines prácticos resultó muy poco eficiente la transferencia

de calor de la resistencia hacia la placa del porta vidrios, que de igual manera de grafito, véase Figura 3.1b, la placa considerada como opción 1.

La segunda opción considerada fue una placa de grafito prediseñada por la empresa Intercobamex, entre las características de la placa del grafito se encuentran: espesor de 2 cm, ancho 5 cm y largo 10cm para dichas pruebas. Además, en esta placa del grafito se hacía innecesaria la adición del calentador resistivo debido a la doble funcionalidad de la misma, es decir, es un placa del grafito que funciona como calentador y al mismo tiempo como placa resistiva.

Las dos placas de grafito tiene dos orificios cada una y se conectaran directamente a la fuente de corriente a 120 VCA con sus respectivos circuitos eléctricos de corriente y trabaja con 127V CA a 1000W de cada lámpara ultravioleta.

El sistema CSVT se coloco una base de cobre en el cual ayudara a como soporte para las placas de grafito con su respectivo orificio para colocar el sensor de temperatura que es un termopar tipo K y sus respectivas lámparas ultravioletas estas placas se obtuvieron de la empresa MIKAI S.A de C.V, hacen que el proceso de transmisión se complete de la manera requerida, véase Figura 3.1c.

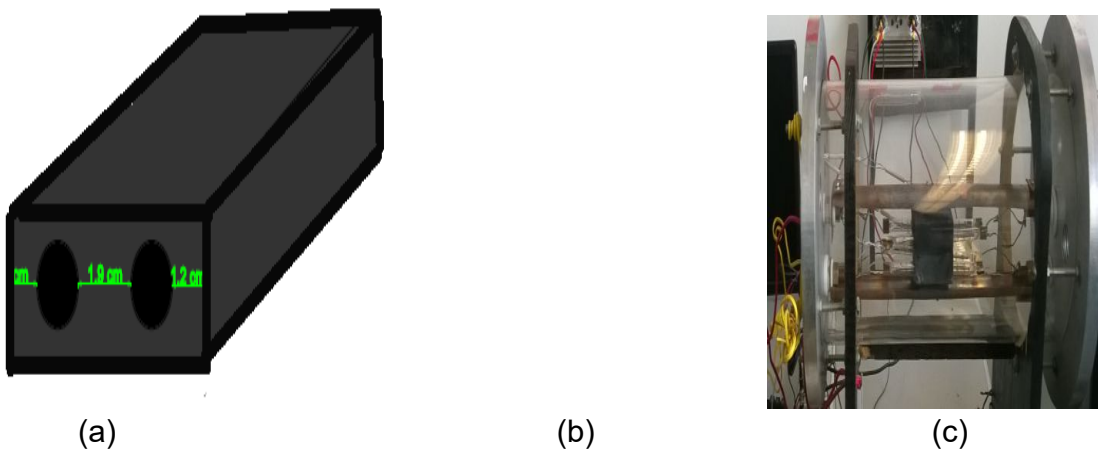


Figura 3.1. Opciones consideradas como posibles plantas para el sistema CSVT. a) Opción 1 para planta del sistema. b) Opción 2 para planta del sistema. c) Grafitos y lámparas elegidos como planta para el sistema CSVT.

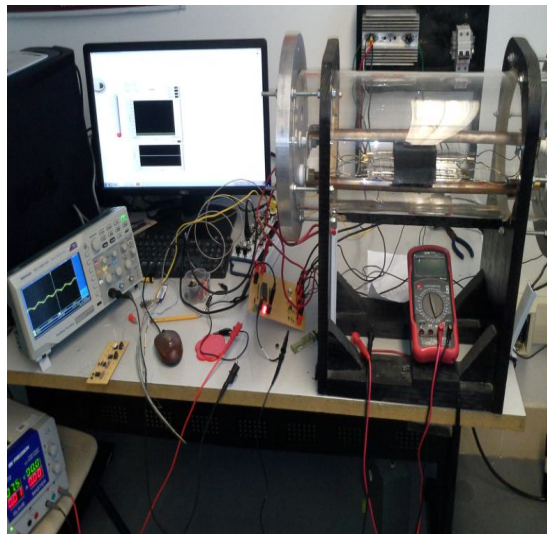
La placa del grafito se colocará dentro de un cámara de calentamiento, en lo cual no tiene depósito, se obedecieron las características mostradas anteriormente para sistemas de calentamiento CSVT [8].

3.1.2 Características del sistema CSVT sin vacío.

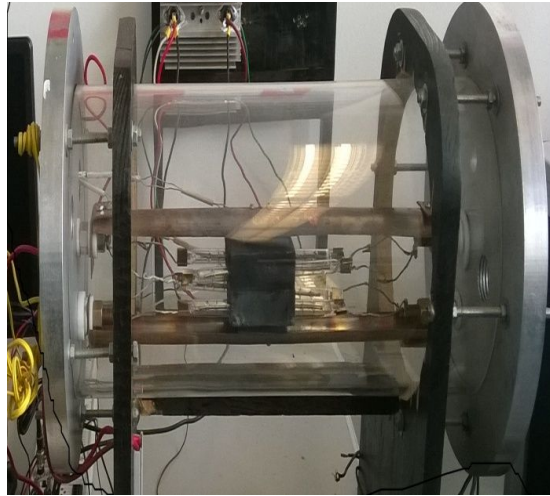
La cámara de calentamiento también se elaboró a base de aluminio, madera, vidrio y cobre, la función principal de la placa del grafito dentro de la cámara de calentamiento será ofrecer una superficie a mayor temperatura que en cualquier pared interna de la cámara de depósito diseñado para el proceso de calentamiento de alta temperatura, véase Figura 3.2a.

La base del sistema CSVT consta de una cámara de cristal de cuarzo que se elaboró a base de este material debido a que no se requiere generar alto vacío dentro de la cámara, es de forma cilíndrica, las dos caras del cilindro se encuentra con dos tapas de aluminio para utilizarlas como soporte de las lámparas ultravioletas con la finalidad de facilitar el manejo de elementos dentro de la cámara.

La base cilíndrica se colocará de manera horizontal con las caras circulares hacia los extremos. Se colocará una pieza rectangular de cobre a la media altura del cilindro que servirá de soporte para los grafitos, véase Figura 3.2, el montaje de sistema CSVT.



(a) Montaje sistema CSVT.



(b) Lámparas ultravioletas (UV).

Figura 3.2 a y b. Cámara de depósito para sistema CSVT sin vacío.

La placa que servirá como planta de control de proceso se diseñó a base de grafito debido a las propiedades térmicas de éste material, las dimensiones de la placa son 10x10 cm de lado y 1.5 cm de espesor, la placa contiene un hueco cuadrado en la cara superior con dimensiones de 1.5 cm por lado y 1.5 cm de profundidad.

Además, la placa cuenta con un barreno con 0.5 cm de diámetro y 4 cm de profundidad para colocar el sensor con facilidad y conseguir que la adquisición de la señal de temperatura sea más exacta.

El funcionamiento básico del sistema se concentra en las lámparas de ultravioletas, estas lámparas regulan la temperatura en la placa de grafito dependiendo de la distancia de ubicación de las mismas con respecto a la cámara de cristal y al sistema en general.

La temperatura a la cual se requiere llegar es hasta los 700°C, valor necesario para que se lleve a cabo la sublimación del CdS/CdTe.

El indicador de temperatura es de gran utilidad para determinar la distancia de ubicación de las lámparas ultravioletas que constituyen la fuente de calor para el procedimiento de depósito.

Al llevarse a cabo éste proceso, las partículas llegan hacia la superficie del vidrio que sostiene láminas del porta vidrio, formando así una lámina de grafito con propiedades

específicas para llevar a cabo el proceso de conducción de energía eléctrica al momento de ser expuesta a la luz solar.

Se propone la implementación de un control de temperatura automatizado, el cual pudiera comprender la utilización de un elemento calefactor tipo RF en la placa de grafito, véase Figura 3.3.

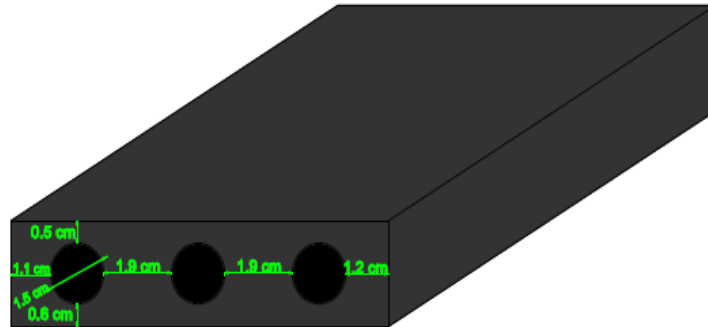


Figura 3.3. Planta del sistema CSVT (placa de grafito).

3.1.3 Fabricación del CSVT.

El material que se utilizó para la fabricación de este soporte fue tabla de pino, la cual es resistente y térmica, se pintó para proteger de la humedad y facilitar la limpieza, véase Figura 3.4.

Las características físicas del sistema CSVT son las siguientes:

- Base de madera.
- Base de madera para la parte de potencia donde se colocó el disipador de calor para el TRIAC BTA 40.
- Disipador de calor.
- Mesa de madera.
- Tubo de vidrio.
- Espárragos de acero 1/2".
- Tuercas 1/2".
- Rondanas 1/2".
- Tapas de aluminio.
- Espárragos de cobre.
- Cerámicas 1/2".
- Teflón 1/2".

- Tubo de cobre como soporte.
- Bloques de grafito con orificios.
- Lámpara ultravioletas de 1000W.
- Termopar tipo K como sensor.
- Cable del número 12.
- Zapatas para cable del número 12.

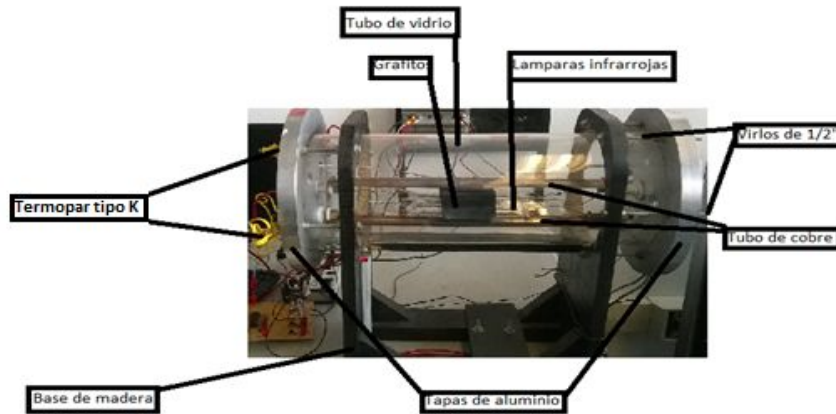


Figura 3.4. Las Partes del sistema CSVT.

3.2 Sensor y acondicionamiento de la señal.

3.2.1 Sensor de temperatura para el sistema CSVT.

La elección del sensor de temperatura depende de las características, exactitud e intervalos de temperatura requerida en el sistema. Hay disponibles sensores que van desde el LM35, pasando por un RTD (Resistencia detectora de temperatura, por sus siglas en inglés) hasta llegar a un termopar.

El LM35 se descartó por no cubrir el rango de medición de temperatura ambiente.

Para un sensor LM35 el rango de funcionamiento es de los -55°C hasta los 150°C , sin embargo en el sistema CSVT debe cubrirse con un rango de hasta 700°C por las lámparas ultravioletas que tienen un límite. Cabe mencionar que la opción de un LM35 como sensor produciría muchos beneficios debido a que tiene una tensión de salida que es proporcional a la temperatura en la escala Celsius, además no necesita calibración externa y es de bajo costo, también funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 3.5 volts, no requiere de circuitos adicionales para su calibración externa cuando se desea obtener una precisión del orden de 0.25°C a temperatura

ambiente, cuenta con una baja impedancia de salida, su salida lineal y su precisa calibración inherente hace posible una fácil instalación en un circuito de control.

La segunda opción considerada fue un RTD. Un RTD es básicamente un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Sin embargo no se concretó su uso, porque se utiliza para medir temperaturas debajo de los 800° y bajas temperaturas (cercanas al cero absoluto), al igual que el sensor anterior no cubría el rango de temperaturas de medición deseado.

La tercera opción fue un termopar tipo K, debido principalmente a que es un sensor utilizado en procesos industriales, son simples, poco costosos y confiables. El termopar tipo K puede cubrir el rango de operación de nuestro sistema.

3.2.2 Termopar elegido para el sistema CSVT.

El termopar tipo K fue elegido como elemento sensor dentro de los sistemas CSVT. La elección se debe a la confiabilidad y precisión que posee, es extensamente usado en temperaturas con un rango de 0° C 1260° C (2300° F) y además es el sensor que puede cubrirlos los requerimientos de nuestro sistema, véase Figura 3.5a [h].

El termopar tipo K fue adquirido con la empresa JM Industrial modelo APK serie 400. Las características del termopar son las siguientes: Termopar APK tipo K de 3/16 de 0x5, con 3 metros de extensión en fibra de vidrio con malla (1000° C). También se fabricó otro para pruebas, el cual se soldó con autógena, véase Figura 3.5b.



Figura 3.5a. Termopar tipo K.



Figura 3.5b. Termopar APK con extensión de fibra de vidrio con malla.

3.2.3 El termopar en la NI PCIe-6341 y en la BNC-2120.

La medición de temperatura se realizó por medio del termopar tipo K, que fue colocado en el sistema CSVT para controlar la temperatura al valor deseado. Ya que el control y automatización del sistema se desarrolló utilizando el software de LabVIEW en una PC, para la parte de la adquisición se utilizó la tarjeta de adquisición NI PCIe-6341 y la tarjeta de conexiones BNC-2120 de National Instruments que estaban disponibles en el laboratorio y sus características son las siguientes 16 entradas analógicas, 500 kS/s, resolución de 16bits, ± 10 V dos salidas analógicas, 900 kS/s, resolución de 16 bits, ± 10 V 24 líneas de E/S digital (8 temporizadas por hardware hasta 1 MHz) cuatro contadores y temporizadores de 32 bits para PWM, codificador, contar eventos y más temporización y disparo avanzados con la tecnología NI-STC3 de temporización y sincronización, para la BNC-2120 sus características son conexiones de E/S establece interfaz a dispositivos de la serie X, serie M, serie E, serie S y NI 671 cubierta blindada generador de funciones y codificador de cuadratura Referencia de temperatura y conector de termopar, véase Figura 3.6 [b].

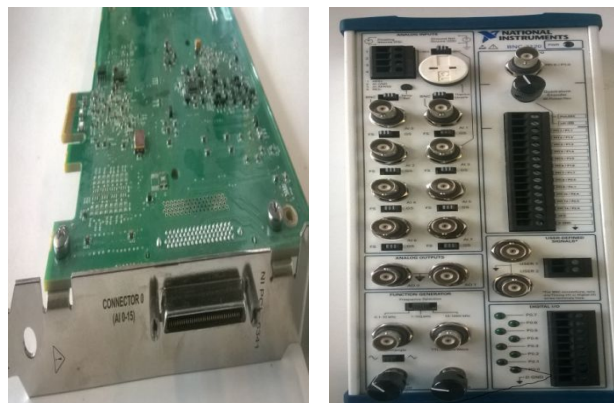


Figura 3.6. Vista superior y vista frontal de la NI PCIe-6341 y BNC-2120.

La selección de esta tarjeta se debió en principio a la disponibilidad en el laboratorio y a la facilidad con la que puede ser configurada y utilizada para la adquisición de datos a través de LabVIEW. La tarjeta NI PCIe-6341 y BNC-2120 tiene las características ideales para nuestro sistema, ya que trae entrada para conexión directa de una termopar tipo K e incluye un sensor de temperatura (LM35) para la compensación de la unión fría, también incluye canales de salida analógicos para obtener la señal de control para la etapa de potencia para el control de la temperatura.

3.2.4 Control de Temperatura del sistema CSVT.

El diagrama de bloques del sistema de control de temperatura, véase Figura 3.7, la parte de control está formada por la computadora donde se ejecuta el software de control desarrollado y la tarjeta de adquisición que es la interface al proceso, el lazo es completado por el sensor de temperatura, el proceso (CSVT) y la etapa de potencia.



Figura 3.7. Sistema de control en Lazo Cerrado.

El controlador que se realizó fue un controlador difuso, para implementar el control difuso se utilizó la librería de lógica difusa de LabVIEW.

Para el acondicionamiento de la señal de temperatura de la termopar tipo K, adquirida con la tarjeta de adquisición NI PCIe-6341 se desarrolló un filtro digital Butterworth pasa bajas de orden 10, con el objetivo de eliminar los errores del ruido causado por la entrada del aire del ambiente, ya que el sistema tiene orificios que no están completamente cerrados y la cámara no está al vacío, además el termopar tipo K que se construyó, también es sensible a la vibración mecánica.

La tarjeta de adquisición NI PCIe-6341 también lleva a cabo las funciones de amplificación de la señal del termopar tipo K, así como la linealización de la salida y la compensación de la unión fría por medio de un sensor LM35 que viene incluido en la tarjeta de conexiones BNC-2120.

La parte de potencia para mantener la temperatura al valor deseado se realizó con un controlador de potencia alterna basado en control de ángulo de fase, el cual se controló con un microcontrolador PIC18F4550, que recibe el voltaje analógico de la tarjeta de adquisición PCIe-6341, que representa el ángulo de fase o retardo de disparo requerido en el TRIAC BTA-40 para aplicar la potencia adecuada al proceso. Para generar el retardo de disparo adecuado, se incluyó un circuito detector de cruce por cero de la señal de alterna, para que el programa del microcontrolador tenga la referencia del retardo adecuada.

Se carga el programa denominado control de maquina a la tarjeta PCIe-6341, para la parte de la BNC-2120 se coloca la termopar tipo K que proporcionara la temperatura por lo general un bajo voltaje (solo de algunos pocos volts), en la etapa de potencia es necesario un TRIAC BTA-40 para activar las lámpara ultravioletas, para que después sean controladas con el PIC18F4550 que también se realizo un programa en C en cual lleva de nombre cruce por cero esto va hacer de activen las lámparas por medio de un potenciómetro digital de LabVIEW en el cual se caliente el interior de la maquina CSVT durante el proceso, se acondicionara mediante filtros digitales de la misma tarjeta de adquisición de datos y también tendrá una retroalimentación de la tarjeta de adquisición y comparará este dato del sensor con el valor deseado y volverá a ser el mismo ciclo y así hasta que las lámparas ultravioletas tengan la temperatura deseada, véase Figura 3.8 [i].



Figura 3.8. Lámpara ultra violeta.

3.3 Diseño del Controlador Difuso.

3.3.1 Controlador Difuso.

La lógica difusa se adapta mejor al mundo real en el que se vive, e incluso puede comprender y funcionar con expresiones, del tipo “tengo mucho calor”, “es muy alto”, “el corazón está un poco acelerado”, etc. La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje.

En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos en los que se basa esta lógica.

Se basa en reglas lingüísticas la forma: SI (IF) (antecedente) ENTONCES (THEN) (consecuencia), donde el antecedente y la consecuencia son también conjuntos difusos.

En el sistema CSVT tenemos de entradas el Error de temperatura y la Derivada de error, en la salida del sistema tenemos el Angulo de disparo.

NOTA: Los datos de entrada suelen ser recogidos por sensores, que miden las variables de entrada de un sistema CSVT. El motor de inferencias se basa en un programa. Un esquema de funcionamiento típico para un sistema difuso podría ser de la siguiente manera, véase Figura 3.9.



Figura 3.9. Entorno físico.

El sistema de control hace los cálculos con base en sus reglas difusas, comentadas anteriormente. La salida final actuaría sobre el entorno físico, y los valores sobre el entorno de las nuevas entradas (modificado por la salida del sistema de control) serían tomados por el termopar del sistema.

Los siguientes pasos para realizar el control difuso para las reglas son:

1. Estimar el grado o relevancia de membrecía de cada antecedente o entrada de regla.
2. Las formas de los conjuntos difusos de entrada son triangulares, las cuales permiten calcular fácilmente el grado de pertenencia, véase Figura 3.10 y 3.11.
3. Una vez obtenidos los grados de pertenencia de cada entrada, se ejecuta la máquina de inferencia difusa en base a las reglas, como salida obtenemos los grados de pertenecía de la conjunto difusos de la variable de salida.
4. Finalmente se calcula el valor de salida del controlador difuso usado el método del centroide.

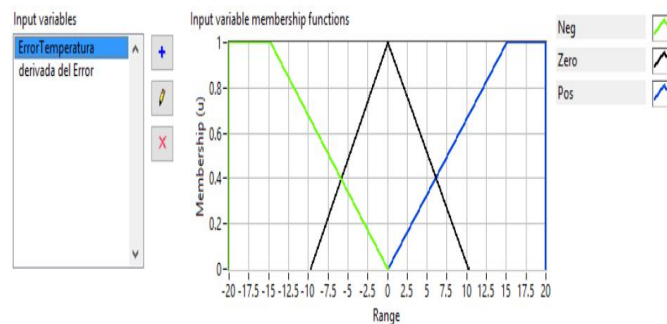


Figura 3.10. Conjuntos de la primera variable de entrada Error Temperatura.

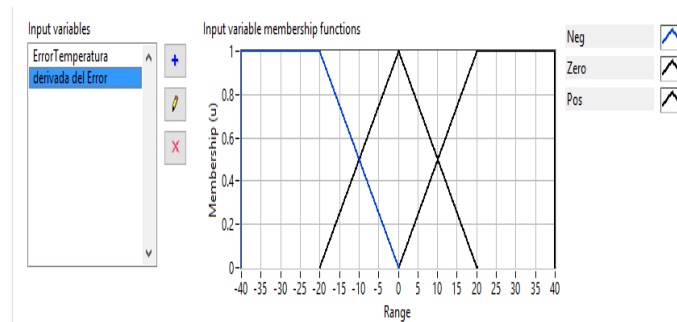


Figura 3.11. Conjuntos de la segunda variable de entrada Derivada del Error.

3.3.2 Diseño y edición del Controlador Difuso.

Para empezar a crear las reglas difusas abrimos el panel del programa LabVIEW se busca en la barra la opción de herramientas (Tools) y después se abre el diseñador del controlador de lógica difusa (Fuzzy Logic Controller Design).

Para la ventana principal tiene dos opciones edición (Edit) y prueba (Test), oprimiendo estas dos opciones aparecerán las siguientes ventanas componentes del editor de conjuntos difusos, véase Figura 3.12.

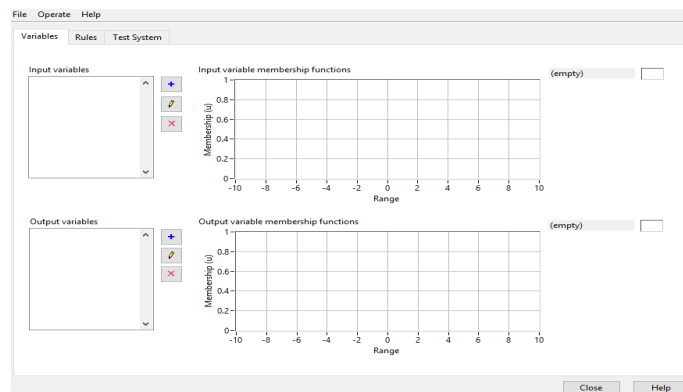


Figura 3.12. Ventana de controlador de lógica difusa.

Para hacer un programa nuevo le damos en la opción archivo (File) y después en la opción nuevo (New) como se muestra en la después aparecerá esta ventana que es el editor de conjuntos difusos (Fuzzy Set Editor), está a su vez tiene a su vez dos entradas y una salida (Input and Outputs), véase Figura 3.13.

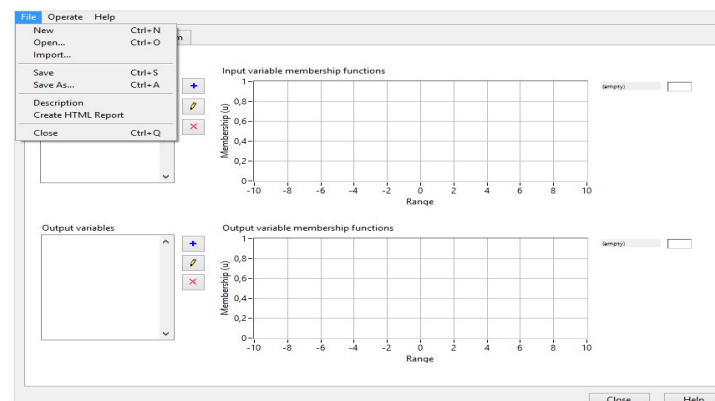


Figura 3.13. Componentes del conjunto difuso (Fuzzy Set Editor).

- En la parte uno. Se encuentran las entradas In1 (Error de temperatura) e In2 (derivada del error).
- En la parte dos. Se encuentran las etiquetas que están definidas por Negativo, Zero y Positivo (esto también para la entrada In2 y para la salida).
- La parte tres. Se encuentra el dominio o rango, en esta parte puedes modificar la función miembro como uno desee, véase Figura 3.14.

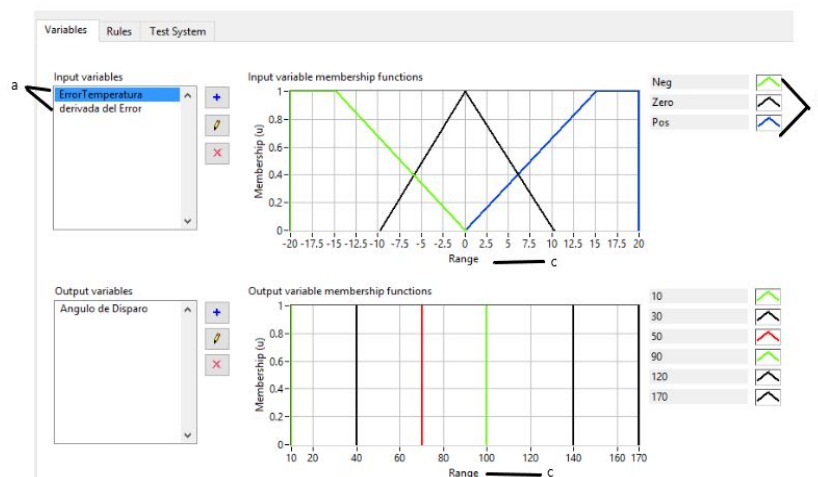


Figura 3.14. Entradas y salidas de las reglas difusas.

- En la parte cuatro. Especificaciones (specify) se utiliza para cambiar el nombre de las entradas y salidas como también el de las etiquetas y se puede modificar el rango, sus opciones son:
 - Cambiar el nombre de variable de entradas (Rename-Variable).
 - Cambia el nombre de las etiquetas (Rename-Term).
 - Edita el rango que uno desee (Edit-Range).
- En la parte cinco. Definir (Define) se añaden o eliminan funciones miembro o variables de entrada y son las siguientes opciones:
 - Añade una función miembro después (Add-Term-After).
 - Añade una función miembro antes (Add-Term-Before).
 - Remueve o elimina una función miembro (Remove-Term).
 - Agrega una variable de entrada (Add-Variable).
 - Remueve o elimina la variable de entrada (Remove-Variable).

- f. En la parte seis. Edición (Edit) se modifican las funciones de pertenencia comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática y su manejabilidad, sus opciones son:
- Cambia una función miembro a función singleton (Change-In-to-Singleton).
 - Cambia todas las funciones miembro a funciones singleton (Make-All-To-Singleton).
 - Sin tolerancia (No-Tolerance).
 - Ninguna tolerancia (No-Tolerance-At-All).
 - Solapamiento lateral derecho (Over-lap-Right-Side).
 - Se superpone a la izquierda (Over-lapeft-Side).
 - Todos los términos de superposición (Full-Term-OverlapeAll).
 - Todos sin plazo de superposición (No-Term-Over-lape-All).
 - Términos simétricos (Symmetrical-Terms).
 -
- g. En la parte siete. Trata sobre la variable de salida (Out) y esta se encuentra oprimiendo el botón CONSEQUENCE. Componentes de los conjuntos difusos (Fuzzy Set Editor) variable de salida:
- Para la variable de salida las especificaciones (specify)
 - Definiciones (Define) y las ediciones (Edit) son iguales a las variables de entrada y se siguen los pasos del 1 al 6 para modificar las funciones miembro, véase Figura 3.15.

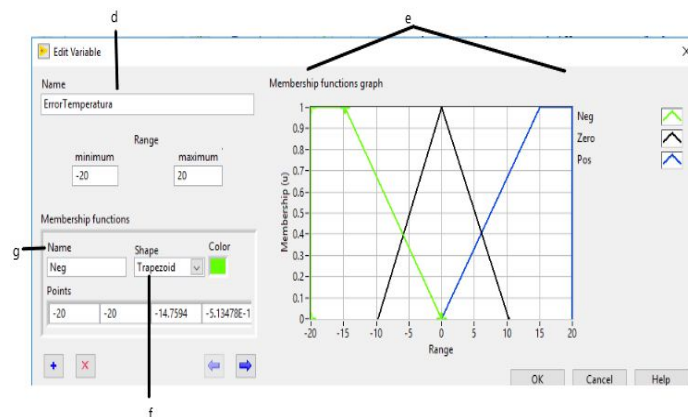


Figura 3.15. Define los parámetros lógica difusa.

Variables de Entrada y Salida

- h. Entrada (Error de temperatura) e (derivada del error) salida Angulo de disparo, véase Figura 3.16:
- Para cambiar el nombre de la variable de entrada In1 por el de Error de temperatura, utilizando, (Rename-Variable) que se encuentra en el paso cuatro especificaciones (specify).
 - Para cambiar las etiquetas que tienen como nombre Negativo, Zero, Positivo se usará la función (Rename-Term).
 - Para agregar más funciones miembro utilizaremos la opción definir (Define) y las función para agregar las funciones miembro pueden ser (Add-Term-After) y (Add-term-Before).
 - Para cambiar el valor del rango se sigue el paso cuatro que es de especificaciones (specify) y la función para cambiarlo es (Edit-Range).

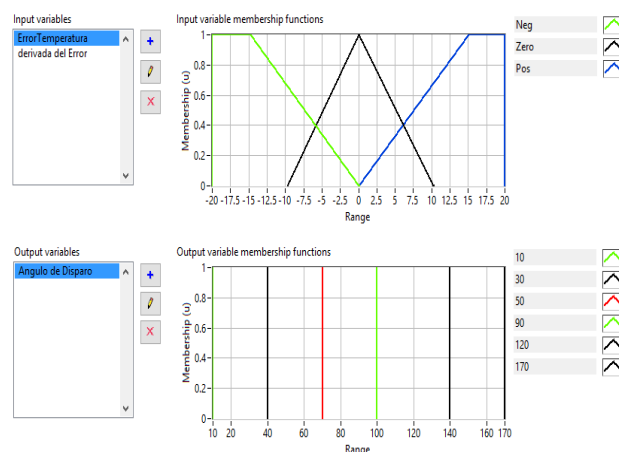


Figura 3.16. Conjuntos difusos primera variable de (derivada del Error).

NOTA: Estos mismos pasos se utilizarán para la segunda entrada que es la derivada del Error y para la variable de salida que es la duración de la temperatura, cambia el nombre de las variables de entrada y salida, el nombre de las etiquetas, el número de funciones miembro y el rango según se requiera para el sistema.

1. Derivada del error, véase Figura 3.17.

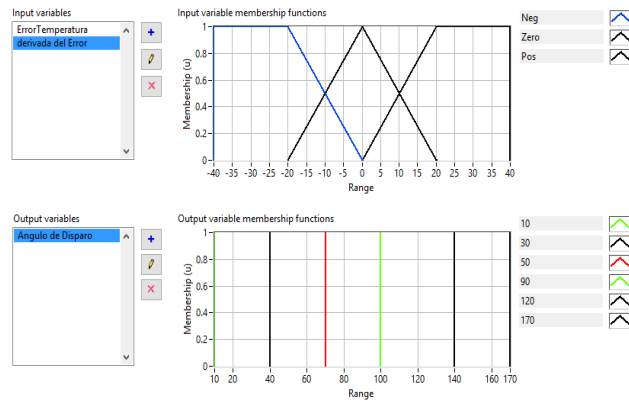


Figura 3.17. Conjuntos difusos segunda variable de (derivada del Error).

2. La salida denominada Angulo de Disparo obtenemos, véase Figura 3.18.

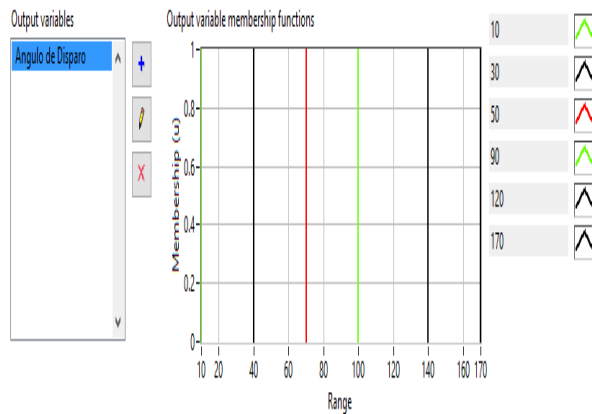


Figura 3.18. Salida de lógica difusa Angulo de Disparo.

Después de que se edita las reglas, véase Figura 3.19, se puede probar el sistema introduciendo datos de entrada al sistema para así poder evaluar algunas de las reglas y analizarlas.

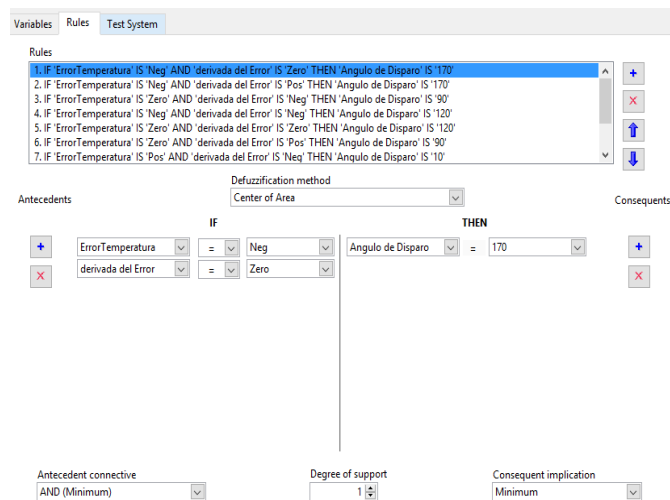


Figura 3.19. Editor de base de reglas 9.

Para correr este programa se mueve el rango de las variables de entrada que son el Error de temperatura y la derivada de Error, la variable de salida (Angulo de Disparo), pero también podemos ver la evaluación de reglas, véase en Figura 3.20, se listan las 9 reglas del controlador.

1. IF 'Error de Temperatura' IS 'Neg'AND'Derivada del error'IS'Neg'THEN' Angulo de disparo' IS '120'.
2. IF 'Error de Temperatura' IS 'Neg'AND'Derivada del error'IS'Zero'THEN' Angulo de disparo' IS '170'.
3. IF 'Error de Temperatura' IS 'Neg'AND'Derivada del error'IS'Pos'THEN' Angulo de disparo' IS '170'.
4. IF 'Error de Temperatura' IS 'Zero'AND'Derivada del error'IS'Neg'THEN' Angulo de disparo' IS '90'.
5. IF 'Error de Temperatura' IS 'Zero'AND'Derivada del error'IS'Zero'THEN' Angulo de disparo' IS '120'.
6. IF 'Error de Temperatura' IS 'Zero'AND'Derivada del error'IS'Pos'THEN' Angulo de disparo' IS '90'.
7. IF 'Error de Temperatura' IS 'Pos'AND'Derivada del error'IS'Neg'THEN' Angulo de disparo' IS '10'.
8. IF 'Error de Temperatura' IS 'Pos'AND'Derivada del error'IS'Zero'THEN' Angulo de disparo' IS '30'.
9. IF 'Error de Temperatura' IS 'Pos'AND'Derivada del error'IS'Pos'THEN' Angulo de disparo' IS '50'.

Figura 3.20. 9 Reglas.

El segundo paso de un proceso difuso es llamado evaluación de reglas, el procesador difuso utilizara reglas lingüísticas para determinar qué control debe accionarse para que ocurra una respuesta y entregue una asignación a los valores de entrada.

La evaluación de reglas también es conocida cómo inferencia difusa, aplica las reglas para las entradas difusas las cuales fueron generadas en el proceso de fuzzyficación, después se evalúa la regla para cada una de las entradas.

Generalmente las sentencias **IF-THEN** describen la acción que se debe de tomar en respuestas de las variables de entrada difusa.

Las reglas pueden verse desde un lenguaje natural, las cuales están confiadas a una acción predefinida en términos lingüísticos y una sintaxis escrita, el operador AND de la lógica difusa se selecciona el valor mínimo verdadero de los antecedentes para determinar las reglas de mayor peso, con el operador OR se seleccionan el valor máximo verdadero de los antecedentes, sin embargo se recomienda que los operadores AND sean utilizados lo más posible. A este método se le conoce como de inferencia de mínimos y máximos, véase Figura 3.21.

Resumen de procesos de evaluación de reglas o diferencia mínimos-máximos.

- Se crean las reglas que describen el comportamiento deseado del sistema.
- Para los valores de las variables de entrada se determina el grado de verdad de cada antecedente por medio del proceso de fusificación.
- Se encuentran las reglas de mayor peso de todas; las cuales son iguales a los valores mínimos del grado de verdad de los antecedentes.
- Se derivan las salidas de la lógica difusa, las cuales son iguales a la máxima regla de mayor peso para cada clasificación consecuente.

Este método de evaluación de reglas utilizado se denomina método de inferencia de mínimos y máximos; por que toma el mínimo valor verdadero de los antecedentes para determinarlas reglas de mayor peso y el máximo valor verdadero de estas para cada clasificación consecuente con lo que se determina las salidas de la lógica difusa.

En este proceso todos los valores de salida de la lógica difusa, son modificados por su respectiva función miembro de salida. En el proceso de evaluación de reglas, se almacena la regla de mayor peso dominante para cada consecuencia, estas reglas con mayor grado de verdad son las que dominan.

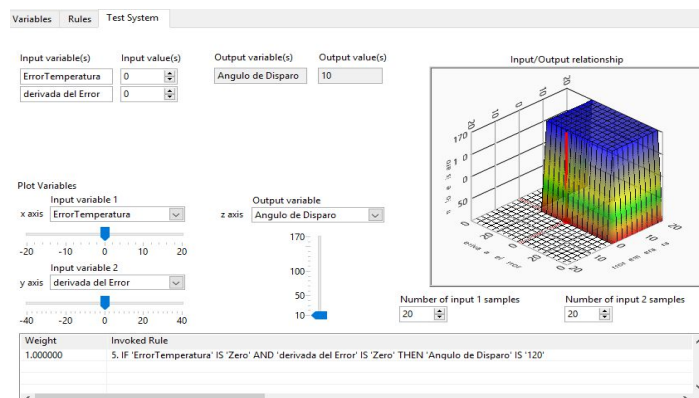


Figura 3.21. Característica de las entradas / salida (Input / Output Characteristic).

Una de las técnicas más usadas en el proceso de defusificación se le conoce como centro de gravedad (COG) o método del centroide este método son truncadas las salidas de la función miembro que están por encima del valor indicado para su respectiva salida difusa los resultados cortados (truncados) de las funciones miembro son combinados y se calcula el centro de gravedad, véase Figura 3.22.

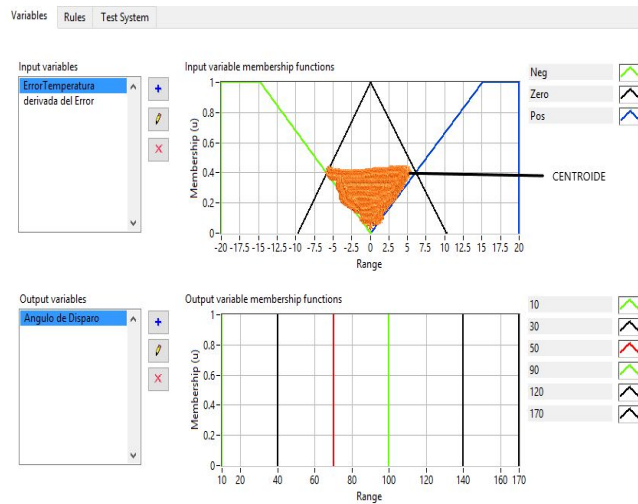


Figura 3.22. Salida Defusificada.

El siguiente paso es encontrar el punto del balance del centro de gravedad que es de la línea verde, la cual representa la salida Defusificada, véase Figura 3.23.

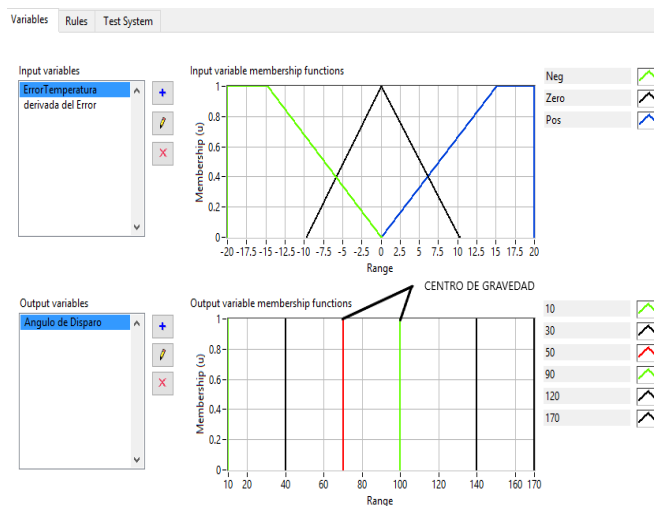


Figura 3.23. Centro de Gravedad.

Ecuación de centro de gravedad:

$$\text{COG} = \frac{\int_a^b \mu(x) \cdot x dx}{\int_a^b \mu(x) dx} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

$$\int_a^b \mu(x) dx \quad \text{Ecuación 5}$$

Es el área de la conclusión difusa 'x' y COG es el centro de gravedad (acción de control concreta) de la función de membrecía resultante de la evaluación de reglas.

En la práctica una simple línea de la función miembro de salida son frecuentemente utilizada, estas funciones simplifican considerablemente el cálculo de la defusificación en la teoría se deriva al calcular el centro de gravedad sobre una sucesión continua de puntos en el dominio de la salida, sin embargo se puede obtener una aproximación muy exacta del centro de gravedad con una muestra de puntos en el dominio de la salida.

$$\text{COG} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

b= número máximo.

x= valor máximo.

μ_x = es el valor de pertenencia del máximo.

El espacio existente entre las muestras es lo suficientemente pequeño para proporcionar mayor exactitud en un tiempo razonable.

$$\text{COG} = \frac{(0.2 \cdot 15) + (0.4 \cdot 25) + (0.4 \cdot 35) + (0.2 \cdot 45) + (0.2 \cdot 55)}{0.2 + 0.4 + 0.4 + 0.2 + 0.2} = \frac{41.58}{1.4} = 29.7 \quad \text{Ecuación 7}$$

Para sacar este resultado los datos se proporcionan, véase Figura 3.23, se toma el rango en el que esta línea horizontal (roja) y se multiplica por donde se interceptan las funciones miembro la línea horizontal (negro) y se divide entre la sumatoria del grado de la función miembro.

3.4 Interface de potencia.

3.4.1 Control del ángulo de fase.

La interface de potencia del sistema se basó en un controlador de alterna basado en control de ángulo de fase, para realizarlo se usó un microcontrolador PIC18f4550, con el cual se contaba y además que posee todos los periféricos para realizar control de ángulo de disparo. El microcontrolador por medio de un canal 0 del convertidor analógico digital recibe de la tarjeta de adquisición de datos el voltaje que representa la señal de control, este voltaje representa el ángulo de fase o retardo de disparo del TRIACBTA-40 para aplicar la potencia adecuada al proceso en función del controlador difuso.

Para realizar el control de fase se incluyó un circuito detector de cruce por cero de la señal de voltaje alterno, la señal de este circuito se aplica a la entrada de interrupción externa de microcontrolador para generar una interrupción en los pulsos de detección de cruce por cero y poder sincronizar el retardo de disparo de acuerdo al ángulo de fase deseado.

El PIC18F4550 forma parte de la familia de micro controladores PIC (Peripheral Interface Controller) de gama alta de 8 bits, fabricados por Microchip Technology Inc., cuenta con memoria de programa de tipo EEPROM flash mejorada, lo que permite programarlos fácilmente usando un dispositivo programador de PIC. Esta característica facilita sustancialmente el diseño de proyectos, minimizando el tiempo empleado en programar los micro controlador PIC18F4550, véase Figura 3.24 [d].

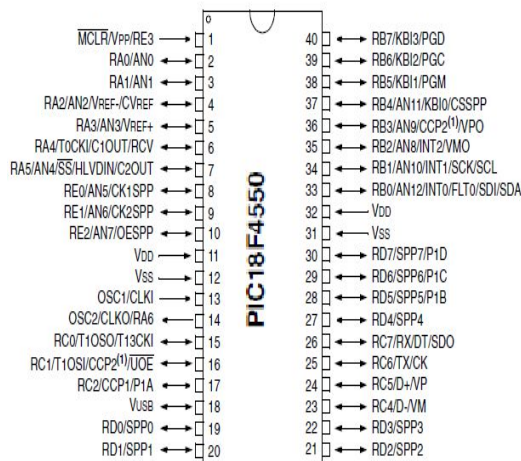


Figura 3.24. Microcontrolador PIC18F4550.

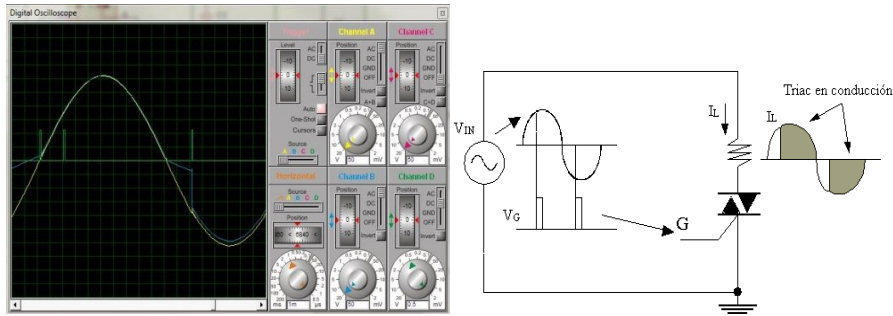


Figura 3.26. Control de ángulo de fase.

Véase Figura 3.27, se muestra una tabla de valores de voltaje normalizado en función del ángulo de disparo (en radianes y grados) dado por la ecuación 8.

$$V_N = \sqrt{\frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)}{\pi}} \sqrt{\frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin(2\alpha)}{\pi}} \quad \text{Ecuación 8.}$$

PNormalización	Radianes	voltaje normalizado	Ángulo de disparo en °C
	0,078539816	0.999948658	4.49998948
	3397448	0.999590708	8.99997895
	0,157079632	0.998626476	13.4999684
	67949	0.99676253	17.9999579
	0,31415927	0.993750255	22.4999474
	0,39269908	0.989322548	26.9999369
	0,4712389	0.983264039	31.4999263
	0,54977871	0.975379649	35.9999053
	0,62831853	0.965502791	40.4999053
	0,70685835	0.95349628	44.9998948
	0,78539816	0.939252765	49.4998842
	0,86393798	0.9226948	53.9998737
	0,9424778	0.903774596	58.4998632
	1,02101761	0.882473553	62.9998527
	1,09955743	0.85880158	67.4998422
	1,17809725	0.832796281	71.9998316
	1,25663706	0.804522005	76.4998211
	1,33517688	0.774068808	80.9998106
	1,41371669	0.741551327	85.4998001
	1,49225651	0.707107608	89.9997895
	1,57079633	0.670897882	94.499779
	1,64933614	0.633103324	98.9997685

1,72787596	0.593924811	103.499758
1,80641578	0.553581695	107.999747
1,88495559	0.512310633	112.499737
1,96349541	0.470364505	116.999726
2,04203522	0.428011469	121.499716
2,12057504	0.385534233	125.999705
2,19911486	0.343229633	130.499695
2,27765467	0.301408664	134.999684
2,35619449	0.260397193	139.499674
2,43473431	0.220537704	143.999663
2,51327412	0.182192668	148.499653
2,59181394	0.145750592	152.999642
2,67035376	0.111636776	157.499632
2,74889357	0.080333025	161.999621
2,82743339	0.052416599	166.499611
2,9059732	0.028648811	170.9996
2,98451302	0.010247917	175.49959
3,06305284	0.001529192	179.999579
3,14159265	0,001529192	179,999579

Figura 3.27. Tabla de voltaje normalizado.

La gráfica de los datos, véase Figura 3.28. En el eje de las ordenadas es el ángulo de disparo en grados y el eje de las abscisas es el voltaje de salida normalizado. Se observa que a menor ángulo de disparo mayor voltaje eficaz de salida y viceversa.

En la gráfica también se incluye la curva de un polinomio de linealización de sexto orden para encontrar el ángulo de disparo requerido en función del voltaje normalizado.

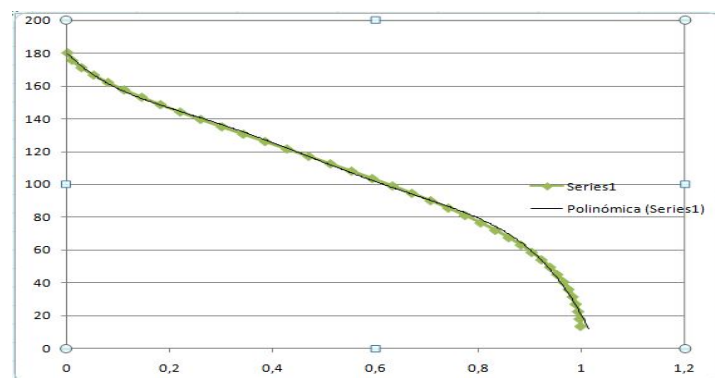


Figura 3.28. Ángulo de fase, contra voltaje normalizado.

El polinomio obtenido para el intervalo de ángulos de disparo de 10° a 170° es el siguiente:

$$y = -1619,641749x^5 + 3744,741567x^4 - 3189,840086x^3 + 1214,993317x^2 - 310,329393x + 179,781720$$

$$R^2 = ,998475$$

3.5.2 Circuito de potencia.

El circuito de la interface de potencia, véase Figura 3.29, para realizar el control del ángulo de disparo se requiere un circuito detector de cruce por cero, para que el microcontrolador pueda sincronizar del retardo de ángulo de disparo adecuadamente y también requiere de un interruptor de potencia que controle la potencia a las lámpara ultravioleta de acuerdo al ángulo de disparo requerido.

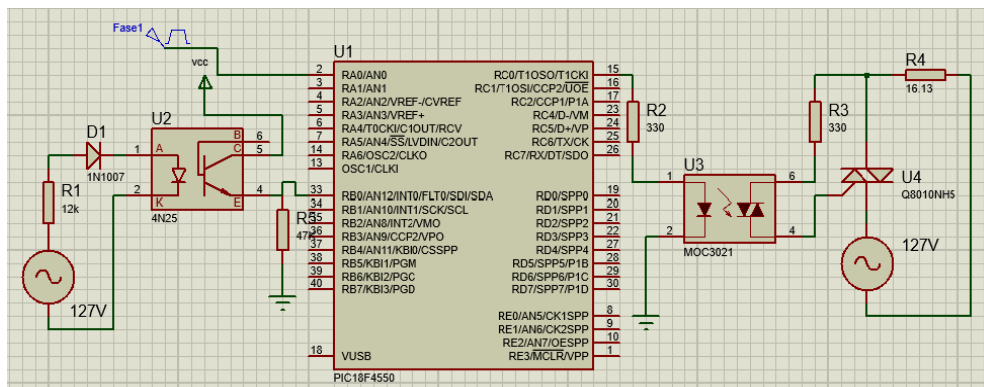


Figura 3.29. Circuito de la interface de potencia.

3.5.3 Circuito detector de cruce por cero.

El circuito detector de cruce por cero está basado en un optoacoplador con salida a transistor, la parte de entrada está constituida de un rectificador de media onda que hace conducir el diodo infrarrojo del optoacoplador (4N35) durante el ciclo positivo de la señal de alterna y no conduce en el medio ciclo negativo, la resistencia se agrega para limitar la corriente a un nivel adecuado para el diodo infrarrojo. El transistor de salida se conecta con el colector a Vdd (5 V) y una resistencia a emisor, que permite obtener un nivel de voltaje alto en el emisor cuando el diodo de entrada conduce y un nivel bajo cuando no conduce. De esta manera se obtiene una señal cuadrada a la salida del detector de cruce por cero, que da un nivel alto para la parte positiva del ciclo de la señal de alterna y un nivel bajo para la parte negativa.

La información de los cruces por cero de la señal de alterna se obtiene de los flancos de subida y bajada de la señal cuadrada, el flanco de subida indica el cruce por cero de negativo a positivo y el flanco de bajada indica el cruce por cero de positivo a negativo, véase Figura 3.30.

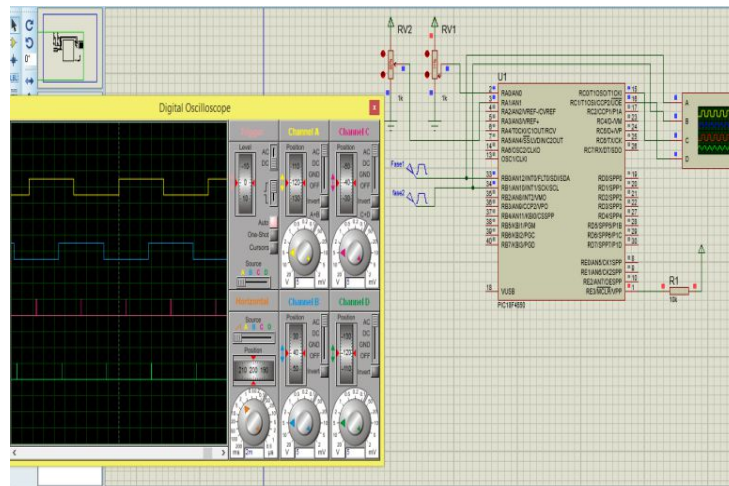


Figura 3.30. Señales de cruce por cero.

3.5.4 Interruptor de Potencia y circuito de excitación.

Para el interruptor de potencia se utiliza un TRIACBTA-40, el cual se activa con el pulso de disparo generado por el microcontrolador, el pulso esta sincronizado y retardado de acuerdo al ángulo de disparo requerido (determinado por el controlador difuso).

El TRIACBTA-40 es un dispositivo semiconductor de tres terminales, que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a la carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos y puede ser bloqueado por inversión de la tensión o al disminuir la corriente de conducción por debajo del valor de mantenimiento. Un TRIACBTA-40 se caracteriza básicamente por un semiconductor de tres terminales, de las cuales dos de ellas permiten en flujo de corriente en ambos sentidos y al mismo tiempo el dispositivo bloquea tensión. El TRIACBTA-40 cuenta con tres terminales: 2 de potencia A1 y A2, y una compuerta de disparo.

Así como su distribución de pines, cuando el TRIACBTA-40 deja de conducir no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado por lo tanto actúa como un interruptor abierto. Debe tenerse en cuenta que si se aplica una variación de tensión importante al TRIACBTA-40 en un lapso de

tiempo corto (dv/dt) aún sin conducción previa, el TRIACBTA-40 puede entrar en conducción directa, véase Figura 3.31.

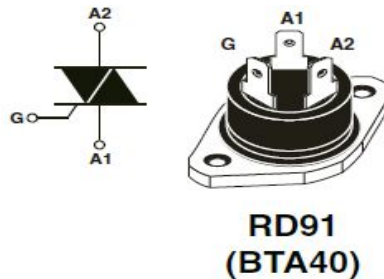


Figura 3.31. Símbolo y apariencia del TRIACBTA-40.

Los siguientes cálculos se realizaron para elegir el TRIACBTA-40 para el diseño de la etapa de potencia.

$$Corriente = \frac{Potencia}{Voltaje} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde Potencia=potencia máxima del calentador resistivo, y Voltaje=Voltaje de operación del calentador resistivo.

$$I = \frac{W}{V} \quad \text{Ecuación 10}$$

Sustituyendo valores en la ecuación anterior, nos queda:

$$I = \frac{1000W}{127V} \quad \text{Ecuación 11}$$

De ahí que:

$$I = 7.87 \text{ A} \quad \text{Ecuación 12}$$

Con este resultado, se puede hacer uso de cualquier TRIACBTA-40 que opere a más de 7.87A a 127Vrms, sin embargo, el TRIACBTA-40 que se utilizó [f], el cual trabaja con valores de 40 A y 400 Vrms. Si bien es un TRIACBTA-40 con características demasiado sobradas para nuestro sistema, cabe mencionar que su utilización es debido a que el sistema se diseñó para trabajar con placas calefactoras de más de 1000 W, por lo que el valor de corriente puede ser mayor y se deja un margen de seguridad. Las características más importantes del TRIACBTA-40, véase Figura 3.32.

SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
$I_{T(RMS)}$	40	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 a 800	V
$I_{GT(Q1)}$	50	mA

Figura 3.32. Características más importantes del TRIAC BTA40.

Para excitar el TRIAC del pulso de disparo generado por el microcontrolador se utiliza una optoacoplador MOC3011 con salida a TRIACBTA-40.

El MOC3011 tendrá un funcionamiento básico y sencillo en la implementación de la etapa de potencia, la señal proveniente del microcontrolador es aplicada al diodo foto-emisor y la salida tomada de la terminal del foto-receptor (TRIACBTA-40 disparado por luz infrarroja). La distribución de los pines para al optoacoplador MOC3011, así como su encapsulado, véase Figura 3.33.

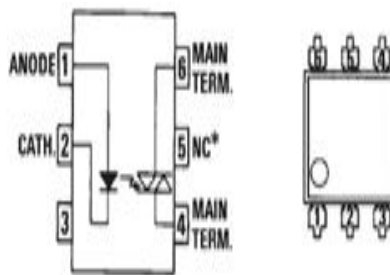


Figura 3.33. MOC3011.

3.6 Programación en LabVIEW.

3.6.1 Polinomio de ángulo de disparo en función del voltaje normalizado.

Para obtener la respuesta al escalón de la temperatura de los grafitos del CSVT, se programó en LabVIEW un programa para aplicar escalones de potencia al sistema CSVT y poder observar la respuesta de temperatura del sistema.

El programa recibe como entrada una potencia entre 0 y 990 W, calcula el voltaje normalizado para esa potencia y el polinomio entrega el ángulo de disparo requerido para el TRIACBTA-40 para aplicar la potencia requerida a las lámpara Ultravioleta.

El ángulo se convierte en un voltaje entre 0 y 5V y se saca como un voltaje por un canal de salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos y el cual es aplicado a la tarjeta de interface de potencia para que dispara el TRIACBTA-40 al ángulo requerido, véase Figura 3.34.

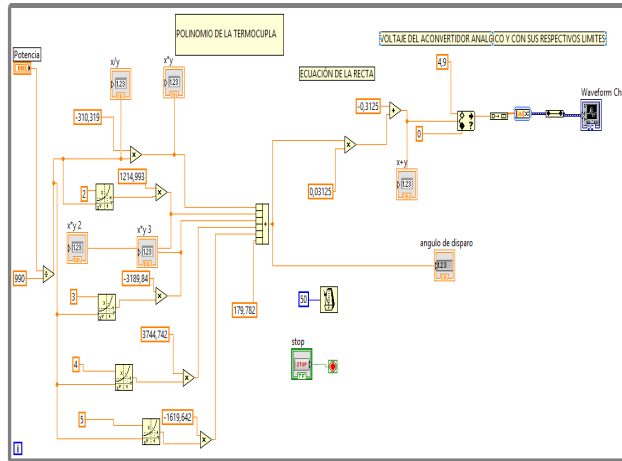


Figura 3.34. Comportamiento del sistema en la parte de potencia.

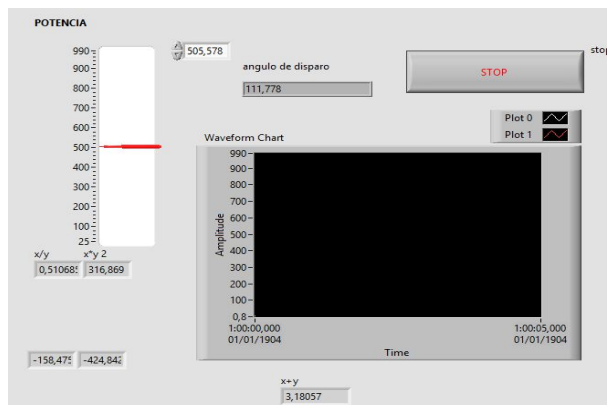


Figura 3.34. Comportamiento del sistema en la parte de potencia.

3.6.2 Diagramas de los programas de control de ángulo fase en el microcontrolador.

El software del control de ángulo de fase en el microcontrolador PIC18F4550 recibe como entrada el voltaje de salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos. Esta voltaje entre 0 y 5V indica el ángulo de disparo entre 10 y 170 grados.

El diagrama de flujo del programa principal, véase Figura 3.35.

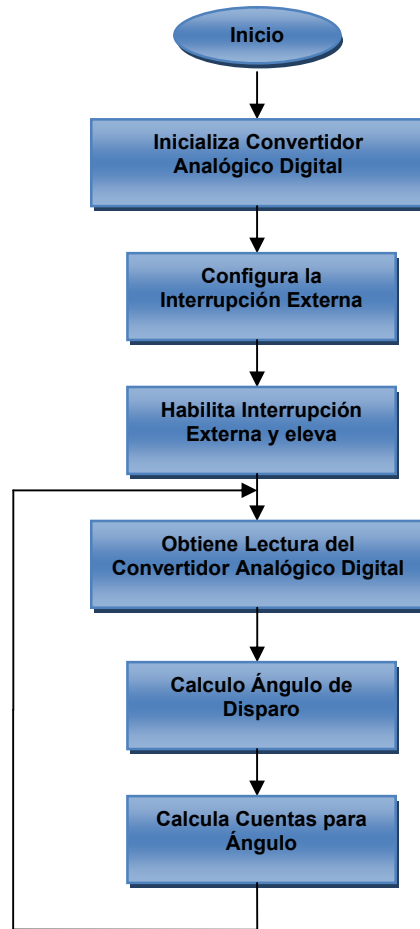


Figura 3.35. Diagrama de flujo de control de ángulo de fase.

El diagrama de flujo de la interrupción externa, véase Figura 3.36.

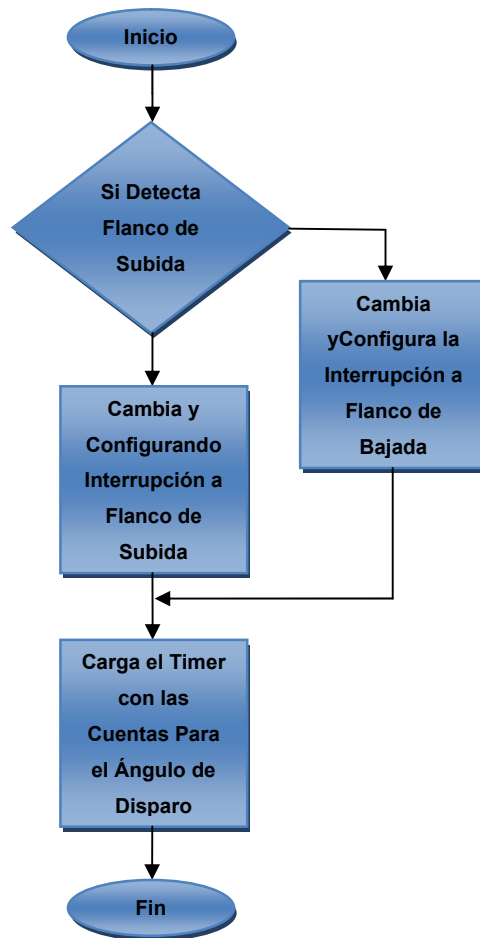


Figura 3.36. Diagrama de flujo de la interrupción externa

EL diagrama de flujo de la interrupción del Timer, véase Figura 3.37.

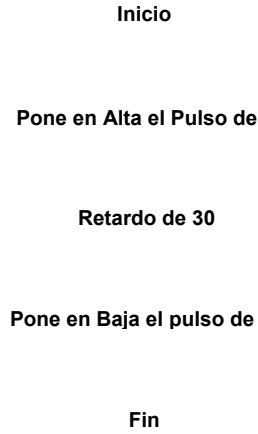


Figura 3.37. Diagrama de flujo de la interrupción del timer

3.7 Diseño y construcción de tarjetas electrónicas.

3.7.1 Circuito en Proteus 8.0 e impreso del PCB.

A continuación se muestra la imagen respectiva del diseño del circuito de la etapa de potencia y la parte de sistema digital realizado con el programa ISIS de Proteus 8.0, véase Figura 3.38.

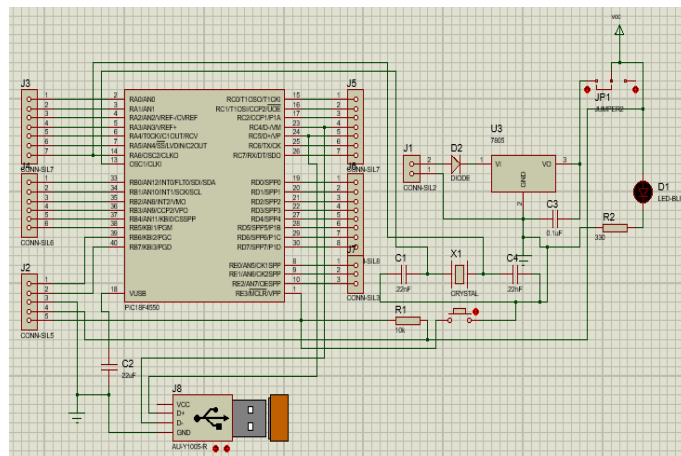


Figura 3.38. Circuito en Proteus 8.0.

También se realizó el diseño de la tarjeta de circuito impreso en el programa ARES, la tarjeta resultante, véase Figura 3.39.

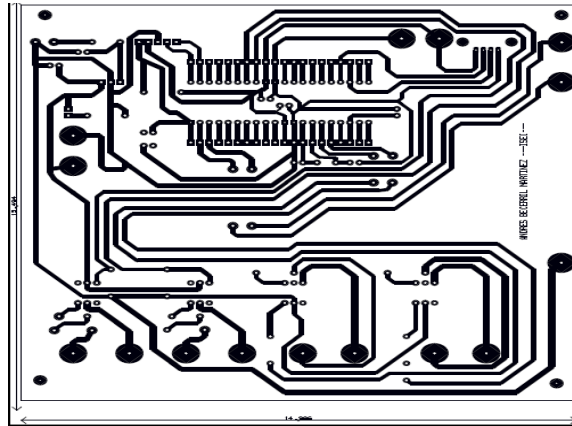


Figura 3.39 PCB placa terminada.

Se muestra también el circuito implementado y con sus respectivos circuitos eléctricos y elementos de entrada y salida de la tarjeta de control de potencia, véase Figura 3.40.

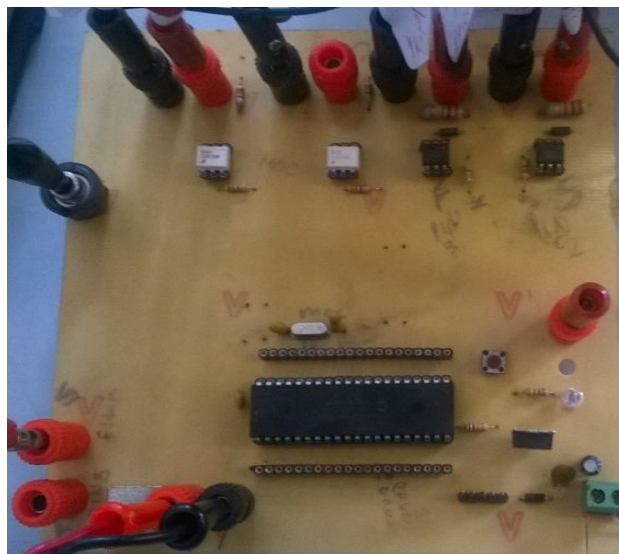


Figura 3.40. Tarjeta de control de potencia.

3.8 Software para el sistema de control y automatización de la temperatura del CSVT.

3.8.1 Selección del software CSVT.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo es desarrollar un sistema de control y automatización de la temperatura para el sistema CSVT, para controlar la temperatura mediante LabVIEW, con la finalidad de ofrecer al usuario una interfaz de fácil manejo.

La interfaz realizada ofrece la posibilidad de ajustar el valor de la temperatura de las placas de grafito por medio de lámparas ultravioletas aplicando un controlador Difuso al sistema, todo dependerá de las características de diseño deseadas.

La programación G (gráfica) de LabVIEW consta de un panel frontal y un panel de código como se mencionó antes, se describen a continuación:

Panel frontal: Es utilizado para actuar con el usuario cuando el programa está corriendo. El usuario puede controlar el programa, cambiar entradas y ver datos actualizados en tiempo real y cada control o indicador del panel frontal tiene una terminal correspondiente.

Los controles son interruptores, botones, marcadores y otros componentes de entrada. Los indicadores son gráficas, leds y otros dispositivos. Los controles simulan instrumentos de entrada de equipos y suministran datos al diagrama de bloques los indicadores simulan salidas de instrumentos y suministra datos que el diagrama de bloques genera.

En el caso de la interfaz de nuestro sistema, cuenta con los elementos observados, se ejecuta el programa con el botón de Run, el usuario debe activar botón de inicio para que se ejecute el ciclo de control de temperatura.

Diagrama de bloques: Contiene el código fuente. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en éste y contienen funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LabVIEW.

El alambrado conecta cada uno de los nodos en el diagrama, incluyendo controles e indicadores, temporizadores, máquinas de estados, botones de tiempos, controladores, funciones y estructuras de diagrama de bloques, véase Figura 3.41 y 3.42.

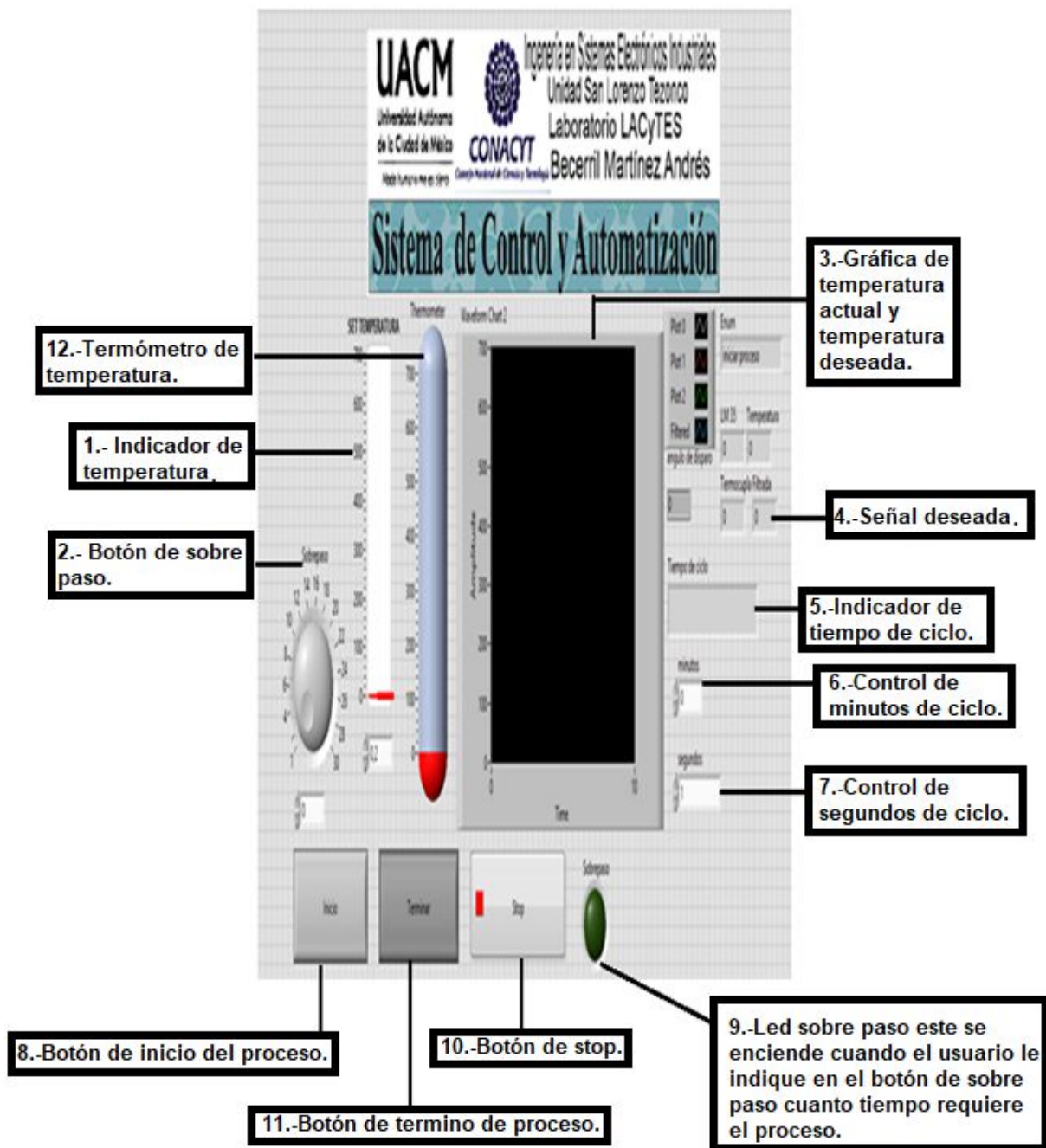


Figura 3.41. Panel frontal del control del CSVT.

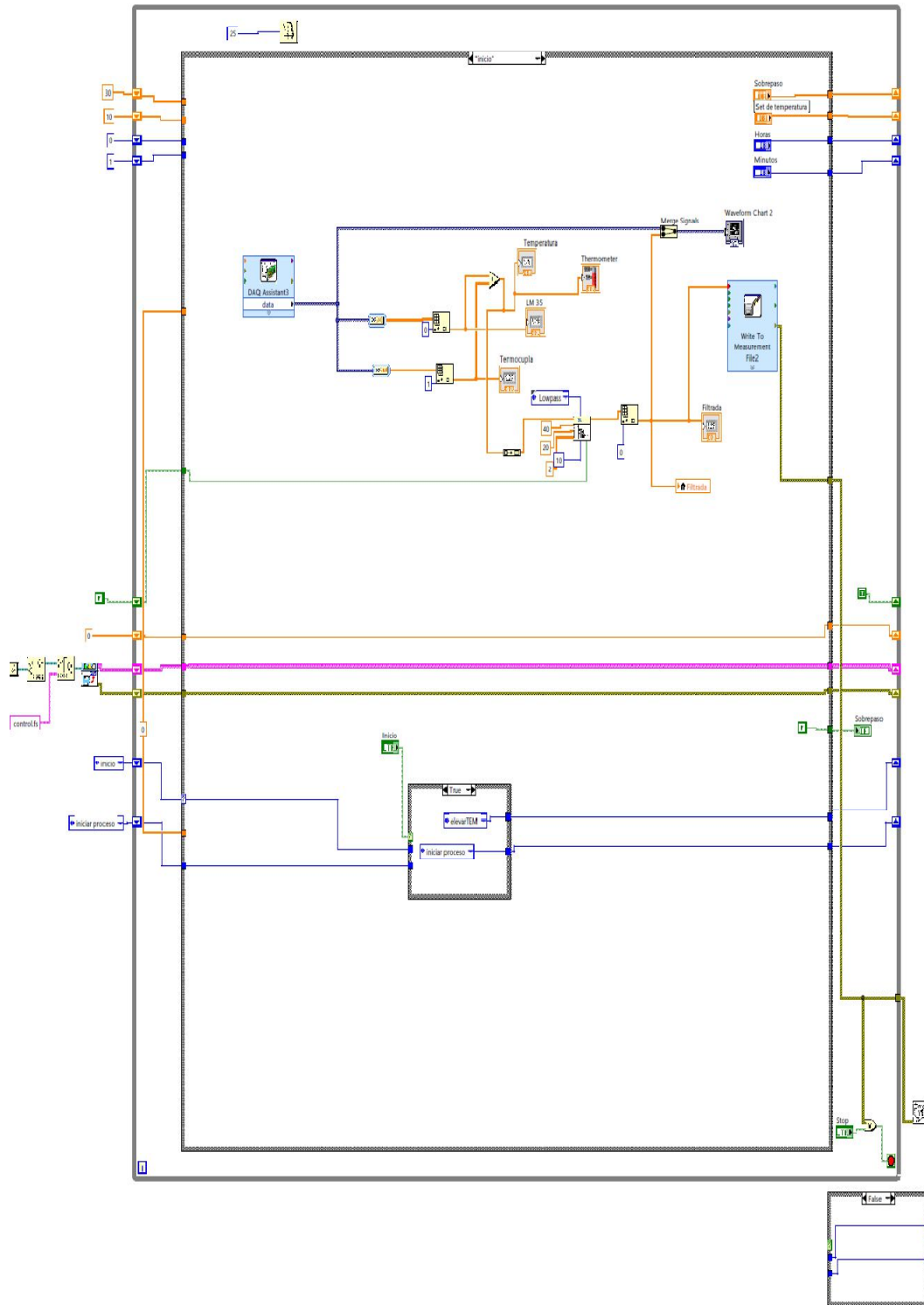


Figura 3.42. Diagrama de bloques del código programación del CSVT

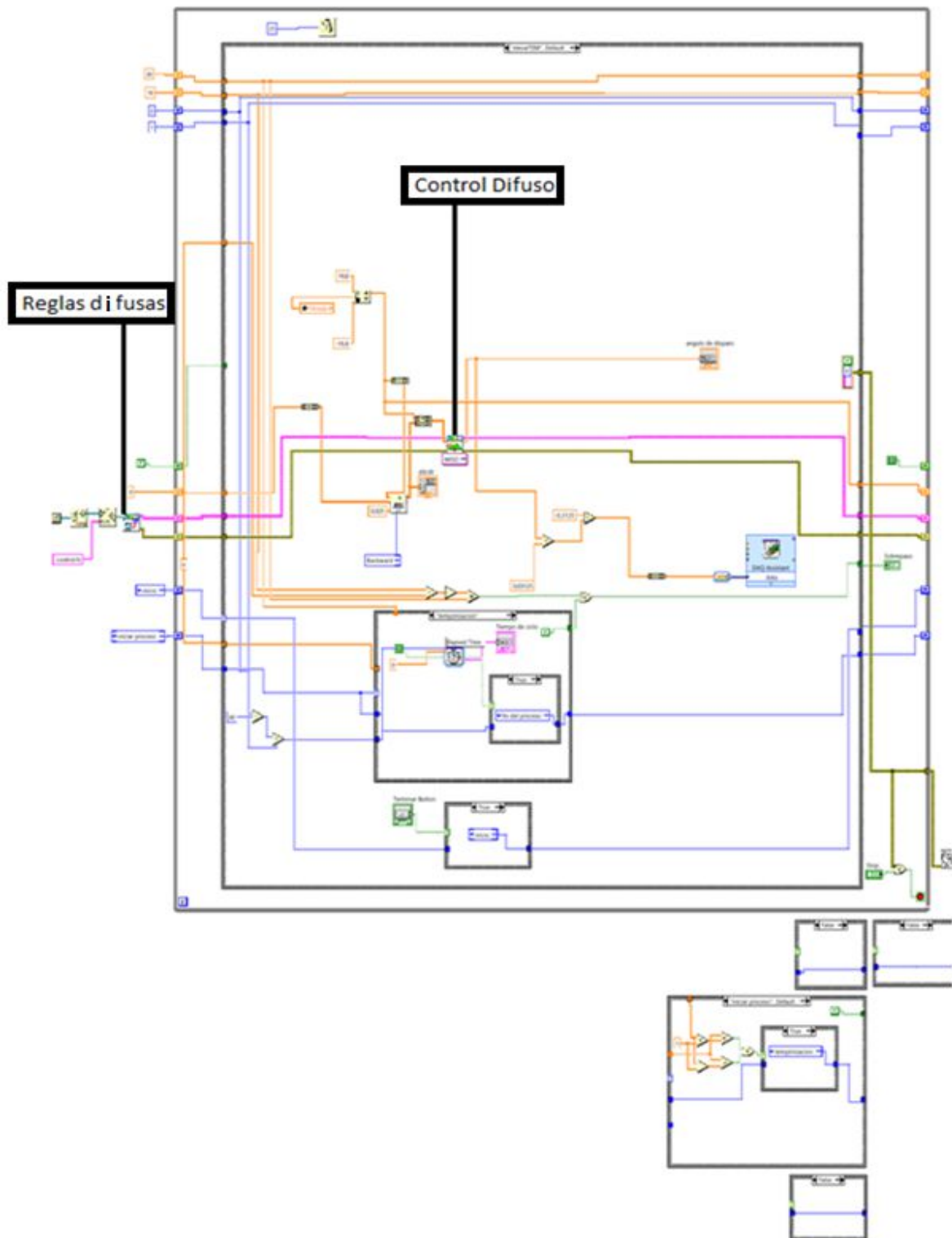


Figura 3.42. Diagrama de bloques, código programación del CSVT.

3.9 Programa de automatización y control de la temperatura del CSVT en LabVIEW.

El programa de automatización y control de la temperatura del CSVT en LabVIEW se realizó como una máquina de estado.

3.9.1 ¿Que es una máquina de estado?

El diseño de la máquina de estados es común y muy útil en labVIEW. Puede usar el modelo de diseño de maquinas de estados para implementar cualquier algoritmo que pueda describir explícitamente un diagrama de estados o un diagrama de flujo. Una maquina de estados normalmente implementa un algoritmo moderadamente complejo de toma de decisiones, como una rutina de diagnostico o una monitorización de procesos.

3.9.2 Diagrama de la máquina de estados en LabVIEW.

La máquina de estados del sistema CSVT se divide en dos maquinas de estados que se encuentran anidadas entre sí, la maquina principal tiene dos estados principales, el primer estado es el de inicio, donde el sistema está a la espera que se proporcionen los datos de configuración, como son, la temperatura deseada, el sobrepaso sin que se active una alarma, y el tiempo que debe durar el ciclo, para salir de este estado y pasar al siguiente, se debe presionar el botón de inicio, véase Figura 3.43.

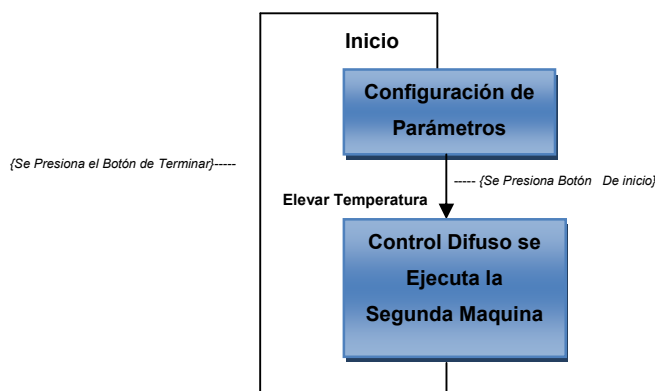


Figura 3.43. Primera máquina de estado principal para el sistema CSVT.

El segundo estado, es el de elevación y control de temperatura, en esta estado se ejecuta el controlador difuso, mientras al mismo tiempo se ejecuta otra máquina de estados anidada que lleva seguimiento del proceso del control de temperatura. Este estado termina cuando se presiona el botón de terminar o cuando finaliza el ciclo de control de temperatura, se regresa al estado inicial.

La segunda maquina de estados anidada tiene 3 estados, en el primero se está a la espera que la temperatura alcance el valor deseado, una vez se alcanza el valor deseado se pasa al siguiente estado, que es el de temporización, donde se está a la espera de que termine el tiempo de ciclo, al terminal se pasa el ultimo estado, donde se notifica al usuario el fin del ciclo y se está a la espera de que el usuario presione el botón de termino para regresar al estado inicial de ambas maquinas de estado, véase Figura 3.44.

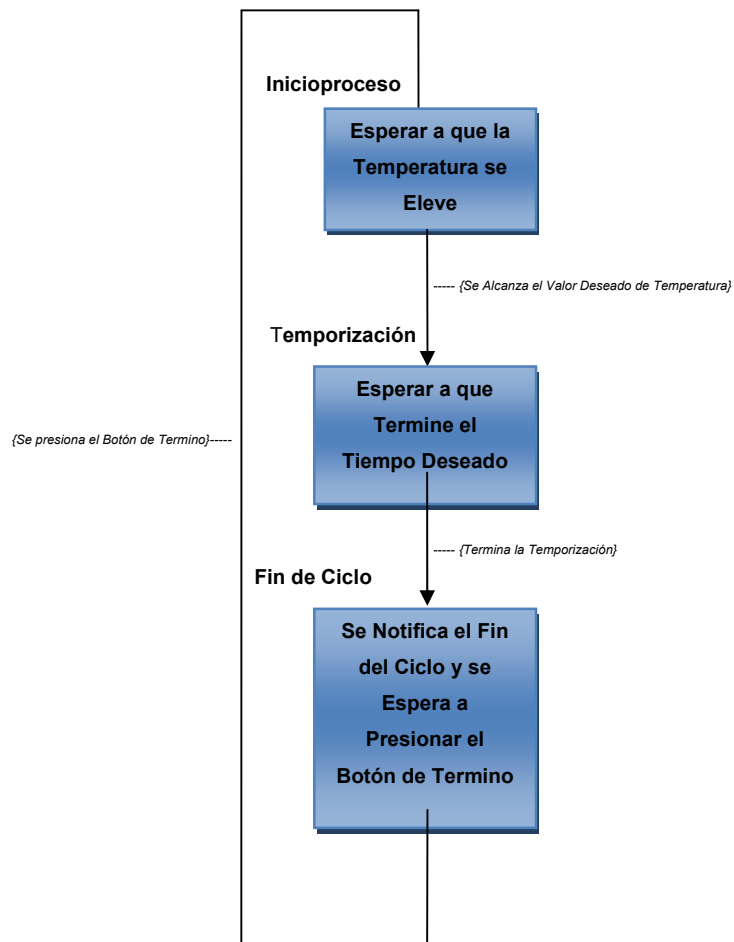


Figura 3.44. Segunda máquina de estado para el sistema CSVT.

3.9.3 Programación de la máquina de estados del sistema CSVT en la LabVIEW.

Es trasladar el diagrama de transición de estados a un diagrama de bloques de LabVIEW.

EL diagrama de bloques para el primer estado de la maquina 1, en LabVIEW, véase Figura 3.45.

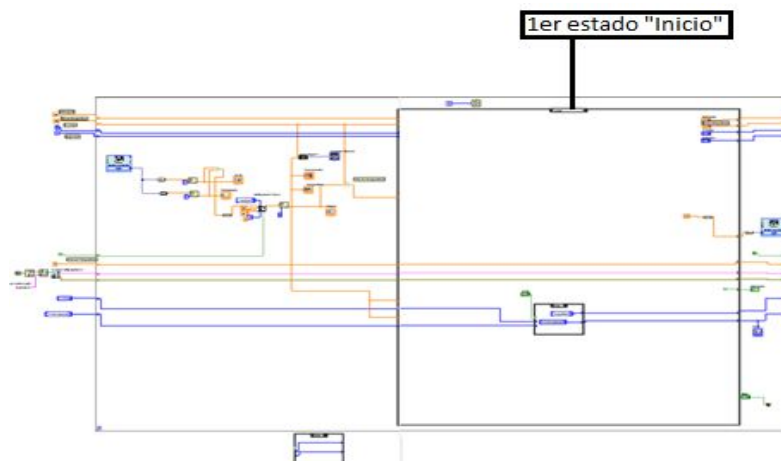


Figura 3.45. Primer estado de la maquina 1, en LabVIEW.

EL diagrama de bloques para el segunda estado de la maquina 1, en LabVIEW, véase Figura 3.46.

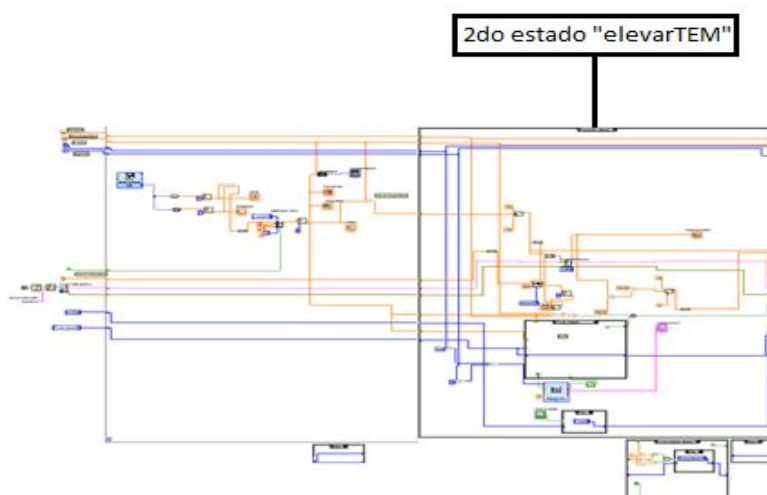


Figura 3.46. Segundo estado de la maquina 1, en LabVIEW.

EL diagrama de bloques del primer estado de la maquina 2, en LabVIEW, véase Figura 3.47.

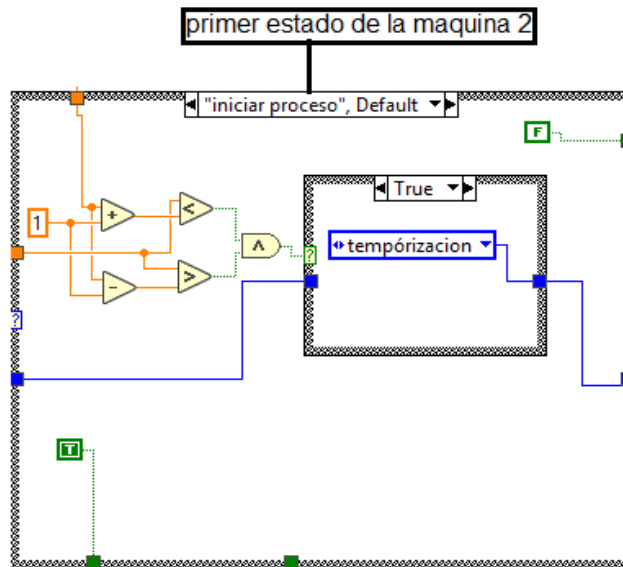


Figura 3.47. Primer estado de la maquina 2, en LabVIEW.

EL diagrama de bloques del segundo estado de la maquina 2, en LabVIEW, véase Figura 3.48.

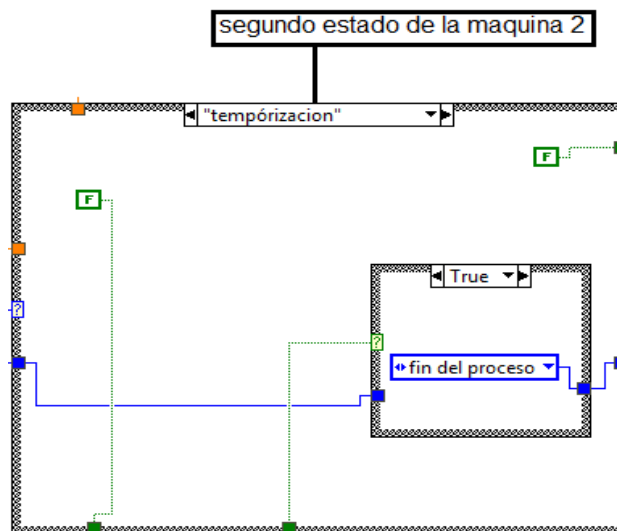


Figura 3.48. Segundo estado de la maquina 2, en LabVIEW.

EL diagrama de bloques del tercer estado de la maquina 2, en LabVIEW, véase Figura 3.49.

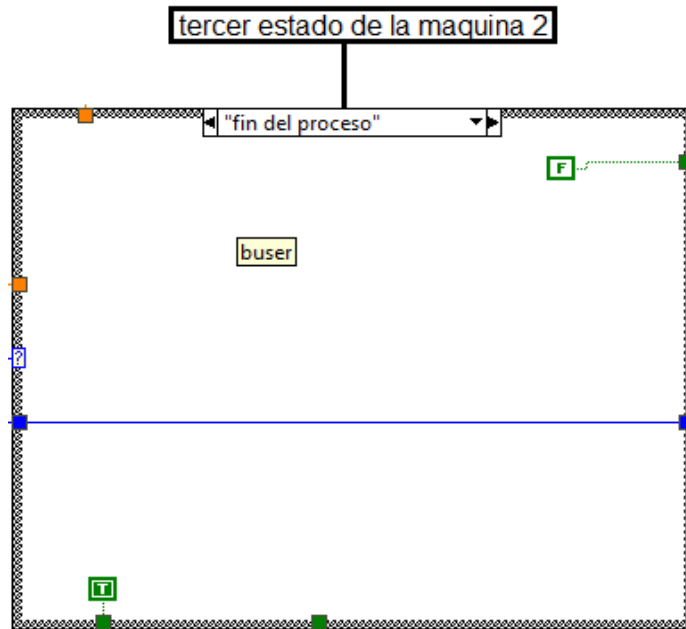


Figura 3.49. Tercer estado de la maquina 2, en LabVIEW.

Capítulo 4. Pruebas, resultados y conclusiones.

4.1 Integración del prototipo de CSVT y el sistema de control de temperatura.

Véase Figura 4.1, se muestra el sistema completo de control y automatización de temperatura para una maquina CSVT, se observan sus componentes mecánicos, electrónicos, eléctricos y de control.

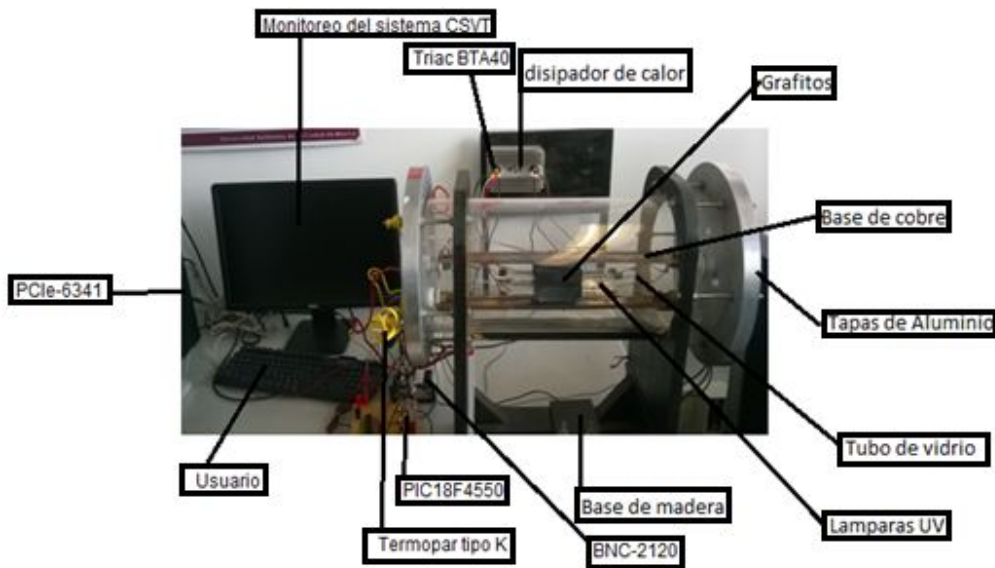


Figura 4.1. Control y automatización de temperatura del CSVT.

Basado en el sistema anterior se procedieron a realizar las pruebas del desempeño del sistema.

4.2 Pruebas de control de Temperatura.

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas al sistema de control y automatización de temperatura desarrollado y aplicado al prototipo de CSVT también construido, esto con el objetivo de evaluar su desempeño.

Las pruebas consistieron en evaluar el desempeño del control en diferentes valores deseados de temperatura, comenzando en una temperatura de 100 °C hasta 700 °C en pasos de 100°C.

El parámetro que se evaluó fue el error en estado estacionario. En las gráficas de comparación, el valor deseado de temperatura aparece en rojo y el valor de temperatura actual en blanco.

4.2.1 Prueba a 100°C.

Véase Figura 4.2, se observa la gráfica obtenida de la prueba a 100 °C, En la gráfica se observa que a baja temperatura el valor actual de temperatura oscila ligeramente alrededor del valor deseado, alcanzando el error en estado estacionario a veces valores grandes.

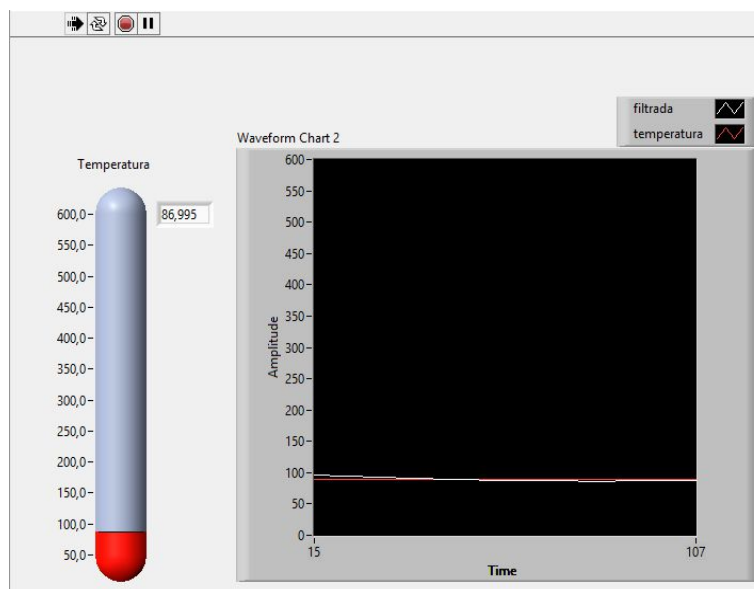


Figura 4.2. Temperatura a 100 °C.

4.2.2 Prueba a 200°C

Véase Figura 4.3, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de 200°C, se observa que la oscilación disminuye, aunque al tomar la imagen se observa una perturbación esporádica de valor grande, el error en estado estacionario promedio de mantuvo en 2.239°C.

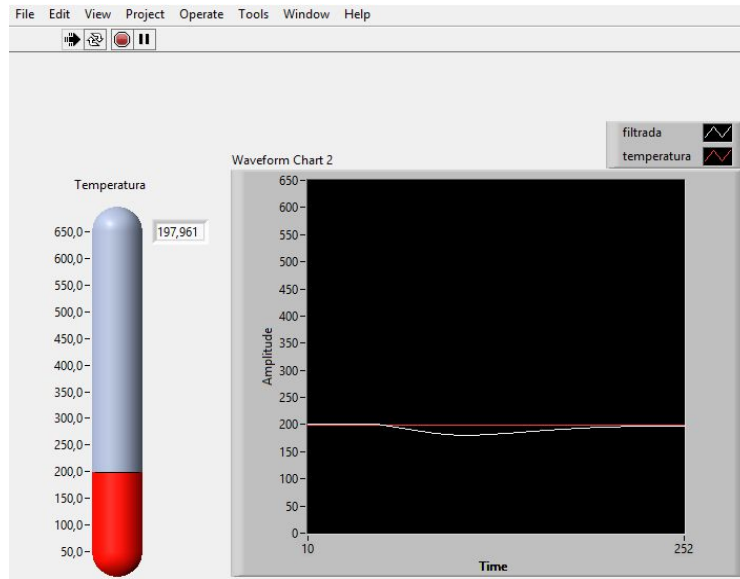


Figura 4.3. Temperatura a 200 °C.

4.2.3 Prueba a 300°C.

Véase Figura 4.4, se observa que en la prueba de 300 °C la oscilación y el error de estado estacionario disminuyen considerablemente, incluso teniendo largos periodos de error de 0° C.

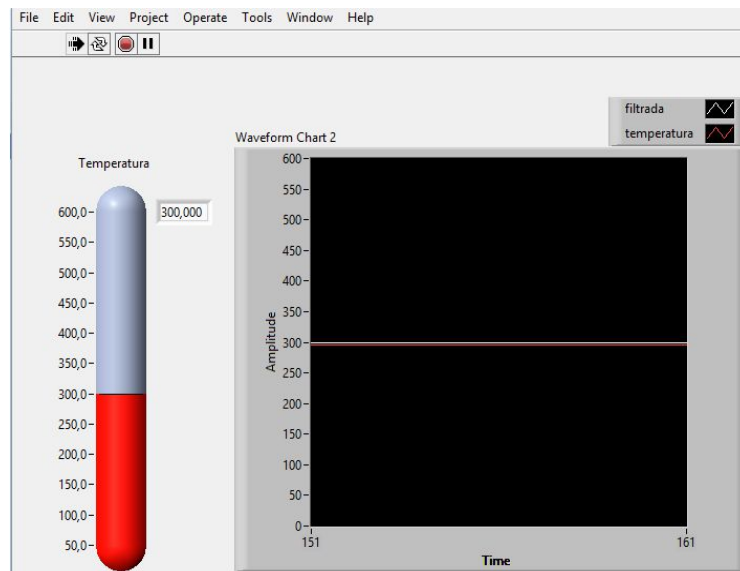


Figura 4.4. Temperatura a 300 °C.

4.2.4 Prueba a 400°C.

En la prueba a temperatura deseada de 400°C, Véase Figura 4.5, la oscilación y el error en estado estacionario se mantienen igual muy bajos, el error promedio fue de 0.301°C.

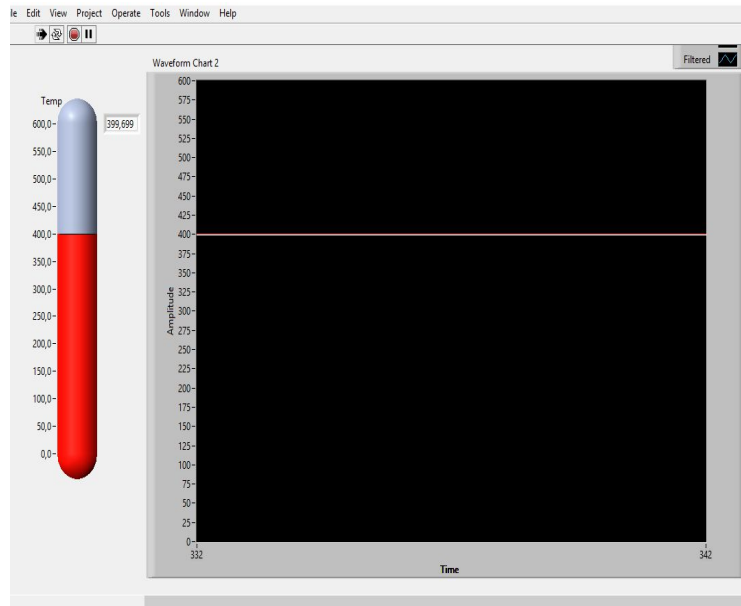


Figura 4.5. Temperatura a 400 °C.

4.2.5 Prueba a 500°C.

En la prueba a temperatura deseada de 500°C, Véase Figura 4.6, el error en estado se mantuvo bajo, aunque en la figura se ve un bajón de temperatura, pero que fue introducido de manera intencional, para ver el desempeño del sistema frente a movimiento mecánico, se observa que el sistema se recupera rápido ante estas perturbaciones.

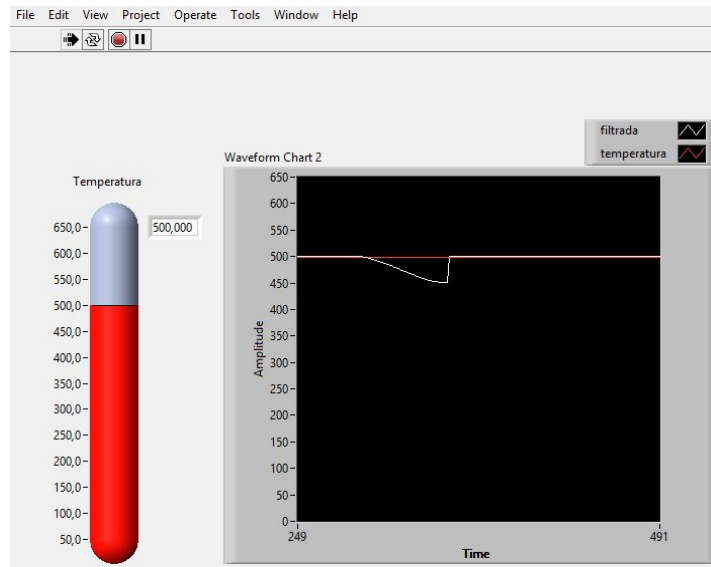


Figura 4.6. Temperatura a 500 °C.

4.2.6 Prueba a 600°C.

Véase Figura 4.7, observamos los resultados obtenidos en la prueba a temperatura deseada de 600°C, el desempeño fue similar, aunque una vez más empiezan a presentarse ligeras oscilaciones esporádicas con un error de hasta 3.768°C, pero el error promedio fue menor.

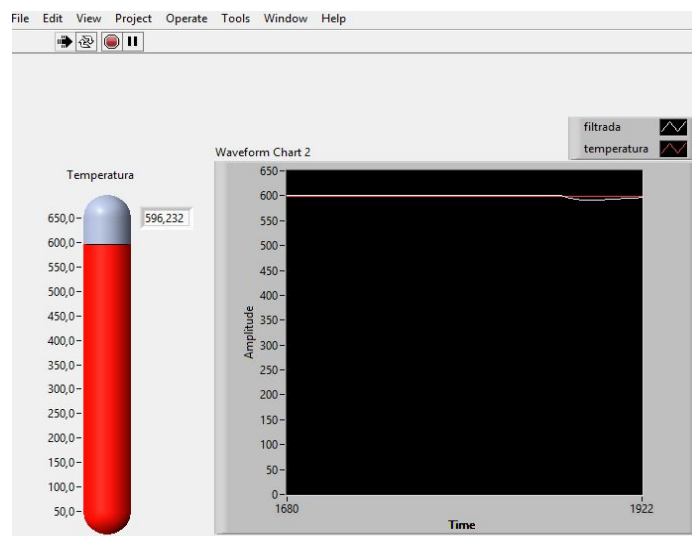


Figura 4.7. Temperatura a 600 °C.

4.2.7 Prueba a 700°C.

Finalmente en la prueba a temperatura deseada de 700°C, que fue la temperatura máxima planteada alcanza, véase Figura 4.8, el desempeño sigue siendo aceptable con un error en estado estacionario máximo de 1.465°C.

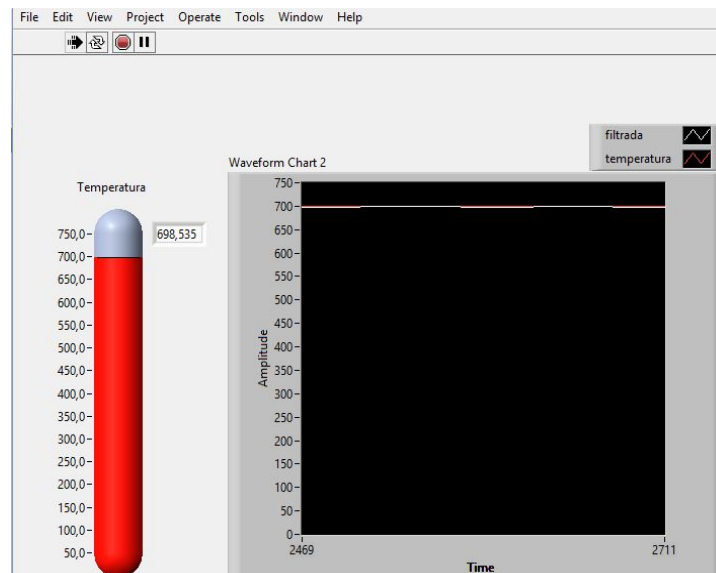


Figura 4.8. Temperatura a 700 °C.

4.3 Análisis de Resultados.

De las pruebas realizadas, se observa que a bajas temperaturas el desempeño del control de temperatura es un poco menor, ya que se observan oscilaciones ligeras y un error en estado estacionario mayor, lo cual se puede explicar debido a la potencia de las lámparas ultra violetas, la cual resulta alta para esas temperaturas y debido a las dimensiones y características del sistema, pero esto no afecta al sistema, ya que raramente se utiliza en esas temperaturas.

A partir de 300°C el desempeño mejora, con un error en estado estacionario muy bajo y se incrementa ligeramente a partir de 600°C, lo cual se debe a que a mayores temperaturas las perturbaciones externas, como la temperatura ambiente empiezan a afectar más, pero para los propósitos del control del tratamiento térmico de los materiales semiconductores resulta aceptable todo el intervalo desde 300°C hasta 700 °C.

4.4 Conclusiones.

En este trabajo se llevó a cabo el diseño de un sistema de control y automatización de temperatura de un CSVT consistente en una cámara de vidrio y un par de placas de grafitos que tienen internamente lámparas ultravioleta.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas se logró controlar exitosamente la temperatura de las placas de grafito con un mejor desempeño que el control manual.

Para la realización del control automático de las lámparas ultravioletas se realizó la etapa de potencia, la cual cuenta con un micro controlador PIC18F4550, como dispositivo de conversión A/D, TRIAC BTA40 como elemento de interruptor de corriente alterna y el MOC3011 como dispositivo de opto-acoplamiento y aislamiento eléctrico entre la etapa digital (micro controlador) y la etapa de potencia.

La tarjeta de adquisición de datos NI-PCIe-6341 y la tarjeta de conexiones BNC-2120, es el elemento encargado de la comunicación entre la PC y la etapa de acondicionamiento del termopar tipo K, que fue utilizado como sensor de temperatura del sistema. Maneja un intervalo de temperatura ambiente a 700°C, ideal para el trabajo solicitado.

Como se observó de los resultados de las pruebas realizadas el sistema de control de temperatura, tiene un buen desempeño con errores muy bajos en el intervalo de temperatura de operación más usados, es decir de 300 °C o 700 °C, aun así a más bajas temperaturas el sistema mostro un comportamiento aceptable.

El sistema de control de temperatura cumple con los requerimientos mínimos establecidos, lo que se traduce en un sistema confiable y eficiente para poder aplicarlo sistema con vacío.

4.5 Trabajo Futuro.

El prototipo que se realizó y la parte de automatización y control de temperatura del CSVT tendría que ser probado en otro CSVT en operación real, que actualmente si se esté usando en el tratamiento térmico de materiales semiconductores, es decir probar el sistema en condiciones reales.

- a) Agregar un sensor de corriente que nos indique que nuestro sistema de control de potencia está funcionando.
- b) Experimentar con otras formas de control, como mezclar los enfoques cuantitativos (PID) y cualitativos (control difuso) para enriquecer la búsqueda de nuevas soluciones de control de temperatura.
- c) Se sugiere también probar el uso de otros dispositivos de control electrónico como un PLC sencillo, un microcontrolador para capturar las señales de los sensores y enviarlas a la computadora y así no usar la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), algunos de estos circuitos se tienen para futuras soluciones de control.
- d) Por último pero como una de las sugerencias más importante es la de mejorar la programación en LabVIEW de modo que el sistema se pueda controlar la temperatura en 2 puntos del sistema CSVT, como lo requieres un sistema real.

Apéndice A: Tarjeta de adquisición de datos NI-PCI-6343.

NI 6341/6343 Specifications

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文
ni.com/manuals

Specifications listed below are typical at 25 °C unless otherwise noted. Refer to the *X Series User Manual* for more information about NI PCIe-6341/6343, NI PXIe-6341, and NI USB-6341/6343 devices.

Analog Input

Number of channels

NI 6341	8 differential or 16 single ended
NI 6343	16 differential or 32 single ended

ADC resolution..... 16 bits

DNL..... No missing codes guaranteed

INL..... Refer to the *AI Absolute Accuracy Table*

Sample rate

Maximum.....	500 kS/s single channel, 500 kS/s multichannel (aggregate)
Minimum	No minimum
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution.....	10 ns

Input coupling..... DC

Input range..... ± 10 V, ± 5 V, ± 1 V, ± 0.2 V

Maximum working voltage for analog inputs

(signal + common mode)..... ± 11 V of AI GND

CMRR (DC to 60 Hz)..... 100 dB

Input impedance

Device powered on

AI+ to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
AI- to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF

Device powered off

AI+ to AI GND	1200 Ω
AI- to AI GND	1200 Ω

Input bias current..... ± 100 pA



Crosstalk (at 100 kHz)	
Adjacent channels	-75 dB
Nonadjacent channels	-90 dB
Small signal bandwidth (-3 dB)	1.2 MHz
Input FIFO size	4,095 samples
Scan list memory	4,095 entries
Data transfers	
NI PCIe/PXIe-6341/6343	DMA (scatter-gather), programmed I/O
NI USB-6341/6343	USB Signal Stream, programmed I/O
Overvoltage protection (AI <0..31>, AI SENSE, AI SENSE 2)	
Device powered on	± 25 V for up to two AI pins
Device powered off	± 15 V for up to two AI pins
Input current during	
overvoltage condition	± 20 mA max/AI pin

Settling Time for Multichannel Measurements

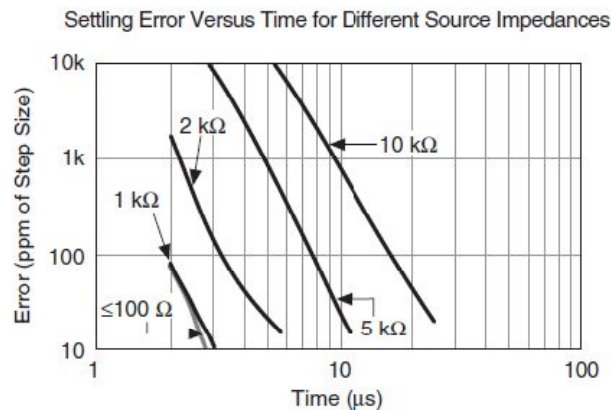
Accuracy, full scale step, all ranges

± 90 ppm of step (± 6 LSB)	2 μ s convert interval
± 30 ppm of step (± 2 LSB)	3 μ s convert interval
± 15 ppm of step (± 1 LSB)	5 μ s convert interval

Analog triggers

None

Typical Performance Graph



Analog Output

Number of channels	
NI 6341	2
NI 6343	4
DAC resolution.....	16 bits
DNL	±1 LSB
Monotonicity	16 bit guaranteed
Maximum update rate (simultaneous)	
1 channel.....	900 kS/s
2 channels	840 kS/s per channel
3 channels	775 kS/s per channel
4 channels	719 kS/s per channel
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution.....	10 ns
Output range	±10 V
Output coupling	DC
Output impedance.....	0.2 Ω
Output current drive.....	±5 mA
Overdrive protection.....	±15 V
Overdrive current.....	15 mA
Power-on state	±20 mV
Power-on/off glitch	
NI PCIe/PXIe-6341/6343	2 V for 500 ms
NI USB-6341/6343	1.5 V for 1.2 s ¹
Output FIFO size	8,191 samples shared among channels used
Data transfers	
NI PCIe/PXIe-6341/6343	DMA (scatter-gather), programmed I/O
NI USB-6341/6343	USB Signal Stream, programmed I/O
AO waveform modes:	
• Non-periodic waveform	
• Periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO	
• Periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update	

¹ Typical behavior. Time period may be longer due to host system USB performance. Time period will be longer during firmware updates.

Settling time, full scale step

15 ppm (1 LSB) 6 μs

Slew rate 15 V/μs

Glitch energy

Magnitude 100 mV

Duration 2.6 μs

Calibration (AI and AO)

Recommended warm-up time 15 minutes

Calibration interval 2 years

Apéndice B: Tarjeta de salida de control BNC-2120.

INSTALLATION GUIDE BNC-2120

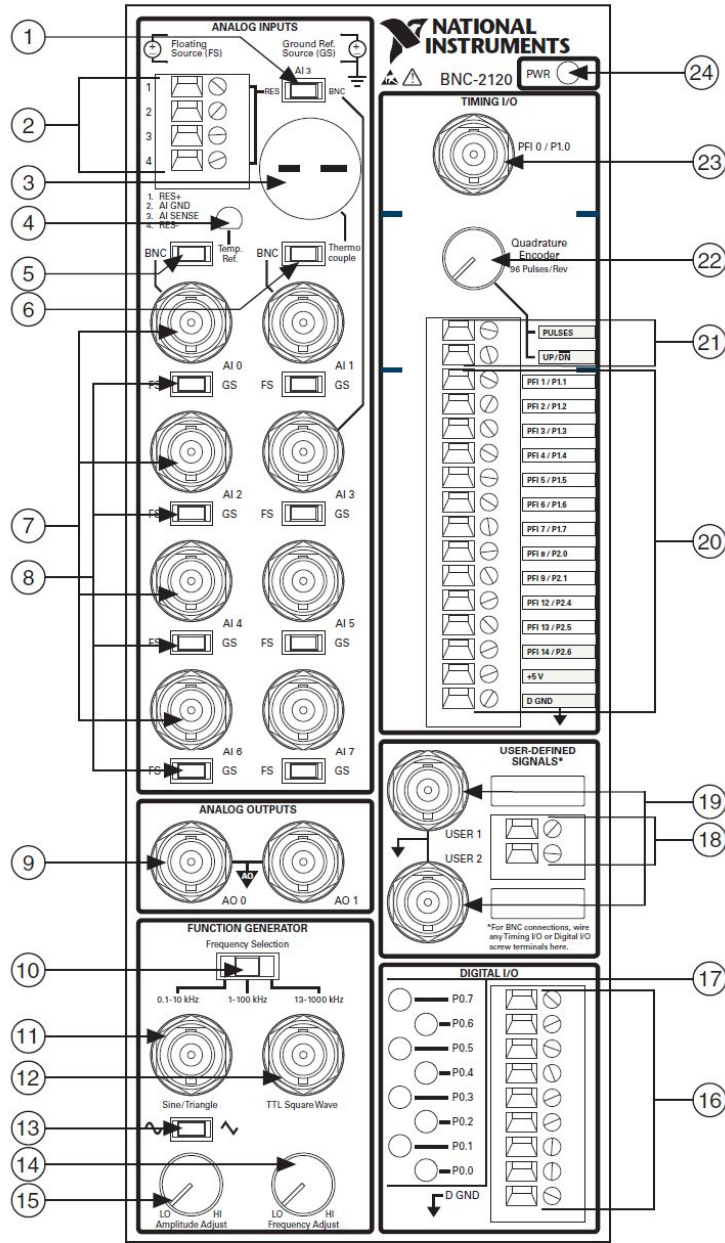
Connector Accessory for E/M/S/X Series Devices

This installation guide describes how to install, configure, and use your BNC-2120 accessory with 68-pin or 100-pin E/M/S/X Series multifunction data acquisition (DAQ) devices. This document also contains accessory specifications.

The BNC-2120 has the following features:

- Eight BNC connectors for analog input (AI) connection
- Onboard temperature reference
- Thermocouple connector
- Resistor measurement screw terminals
- Two BNC connectors for analog output (AO) connection
- Screw terminals for digital I/O (DIO) connection with state indicators
- Screw terminals for timing I/O (TIO) connection
- Two user-defined BNC connectors
- A function generator with the following outputs:
 - Frequency-adjustable, TTL-compatible square wave
 - Frequency- and amplitude-adjustable sine wave or triangle wave
- Quadrature encoder
- A 68-pin I/O connector that connects to multifunction DAQ devices
- Can be used on a desktop or mounted on a DIN rail

Figure 1. BNC-2120 Front Panel



- | | | |
|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 RES/BNC Switch (AI 3) | 9 Analog Output BNC Connector | 17 Digital I/O LEDs |
| 2 Resistor Measurement Screw Terminals | 10 Frequency Range Selection Switch | 18 User-Defined Screw Terminals |
| 3 Thermocouple Input Connector | 11 Sine/Triangle BNC Connector | 19 User-Defined BNC Connectors |
| 4 Temperature Reference | 12 TTL Square Wave BNC Connector | 20 Timing I/O Screw Terminals |
| 5 BNC/Temp. Ref. Switch (AI 0) | 13 Sine/Triangle Waveform Switch | 21 Quadrature Encoder Screw Terminals |
| 6 BNC/Thermocouple Switch (AI 1) | 14 Frequency Adjust Knob | 22 Quadrature Encoder Knob |
| 7 Analog Input BNC Connectors | 15 Amplitude Adjust Knob | 23 Timing I/O BNC Connector |
| 8 FS/GS Switches | 16 Digital I/O Screw Terminals | 24 Power Indicator LED |

Apéndice C: 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 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ 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 clock stops

Peripheral Highlights:

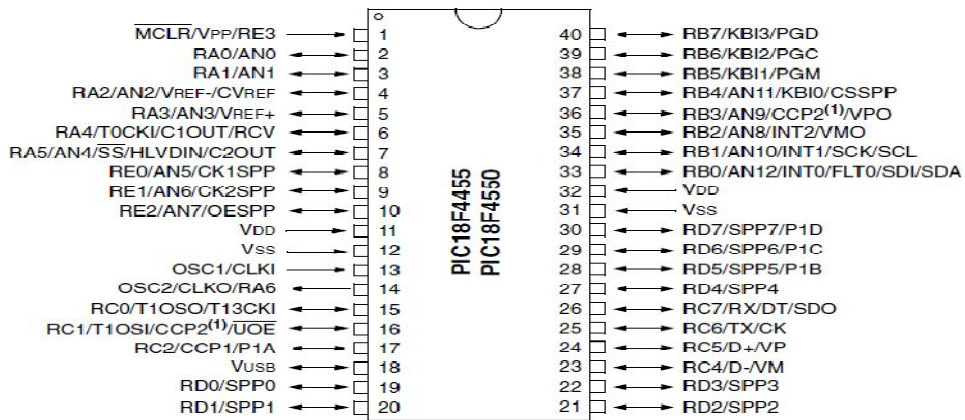
- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (TCY/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (TCY)
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- 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 I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel 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		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² 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

40-Pin PDIP



PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

PIC18F2455/2550/4455/4550

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device-specific information for the following devices:

- PIC18F2455
- PIC18F2550
- PIC18F4455
- PIC18F4550
- PIC18LF2455
- PIC18LF2550
- PIC18LF4455
- PIC18LF4550

This family of devices offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high endurance, Enhanced Flash program memory. In addition to these features, the PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.
- **On-the-Fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Low Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer are minimized. See **Section 28.0 "Electrical Characteristics"** for values.

1.1.2 UNIVERSAL SERIAL BUS (USB)

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a fully featured Universal Serial Bus communications module that is compliant with the USB Specification Revision 2.0. The module supports both low-speed and full-speed communication for all supported data transfer types. It also incorporates its own on-chip transceiver and 3.3V regulator and supports the use of external transceivers and voltage regulators.

1.1.3 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family offer twelve different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes using crystals or ceramic resonators.
- Four External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O).
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock ($\pm 2\%$ accuracy) and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and VDD), as well as a range of 6 user-selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees an oscillator pin for use as an additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the High-Speed Crystal and External Oscillator modes, which allows a wide range of clock speeds from 4 MHz to 48 MHz.
- Asynchronous dual clock operation, allowing the USB module to run from a high-frequency oscillator while the rest of the microcontroller is clocked from an internal low-power oscillator.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

PIC18F2455/2550/4455/4550

1.2 Other Special Features

- **Memory Endurance:** The Enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles – up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 40 years.
- **Self-Programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine, located in the protected Boot Block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Extended Instruction Set:** The PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces an optional extension to the PIC18 instruction set, which adds 8 new instructions and an Indexed Literal Offset Addressing mode. This extension, enabled as a device configuration option, has been specifically designed to optimize re-entrant application code originally developed in high-level languages such as C.
- **Enhanced CCP Module:** In PWM mode, this module provides 1, 2 or 4 modulated outputs for controlling half-bridge and full-bridge drivers. Other features include auto-shutdown for disabling PWM outputs on interrupt or other select conditions and auto-restart to reactivate outputs once the condition has cleared.
- **Enhanced Addressable USART:** This serial communication module is capable of standard RS-232 operation and provides support for the LIN bus protocol. Other enhancements include Automatic Baud Rate Detection and a 16-bit Baud Rate Generator for improved resolution. When the microcontroller is using the internal oscillator block, the EUSART provides stable operation for applications that talk to the outside world without using an external crystal (or its accompanying power requirement).
- **10-Bit A/D Converter:** This module incorporates programmable acquisition time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated, without waiting for a sampling period and thus, reducing code overhead.
- **Dedicated ICD/ICSP Port:** These devices introduce the use of debugger and programming pins that are not multiplexed with other microcontroller features. Offered as an option in select packages, this feature allows users to develop I/O intensive applications while retaining the ability to program and debug in the circuit.

1.3 Details on Individual Family Members

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available in 28-pin and 40/44-pin packages. Block diagrams for the two groups are shown in Figure 1-1 and Figure 1-2.

The devices are differentiated from each other in six ways:

1. Flash program memory (24 Kbytes for PIC18FX455 devices, 32 Kbytes for PIC18FX550).
2. A/D channels (10 for 28-pin devices, 13 for 40/44-pin devices).
3. I/O ports (3 bidirectional ports and 1 input only port on 28-pin devices, 5 bidirectional ports on 40/44-pin devices).
4. CCP and Enhanced CCP implementation (28-pin devices have two standard CCP modules, 40/44-pin devices have one standard CCP module and one ECCP module).
5. Streaming Parallel Port (present only on 40/44-pin devices).

All other features for devices in this family are identical. These are summarized in Table 1-1.

The pinouts for all devices are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Like all Microchip PIC18 devices, members of the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available as both standard and low-voltage devices. Standard devices with Enhanced Flash memory, designated with an “F” in the part number (such as PIC18F2550), accommodate an operating VDD range of 4.2V to 5.5V. Low-voltage parts, designated by “LF” (such as PIC18LF2550), function over an extended VDD range of 2.0V to 5.5V.

Apéndice D: TRIAC BTA40.



BTA40, BTA41 and BTB41 Series

STANDARD

40A TRIACs

Table 1: Main Features

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	40	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(Q_1)$	50	mA

DESCRIPTION

Available in high power packages, the BTA/BTB40-41 series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers, ...

Thanks to their clip assembly technique, they provide a superior performance in surge current handling capabilities.

By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V_{RMS}) complying with UL standards (File ref.: E81734).

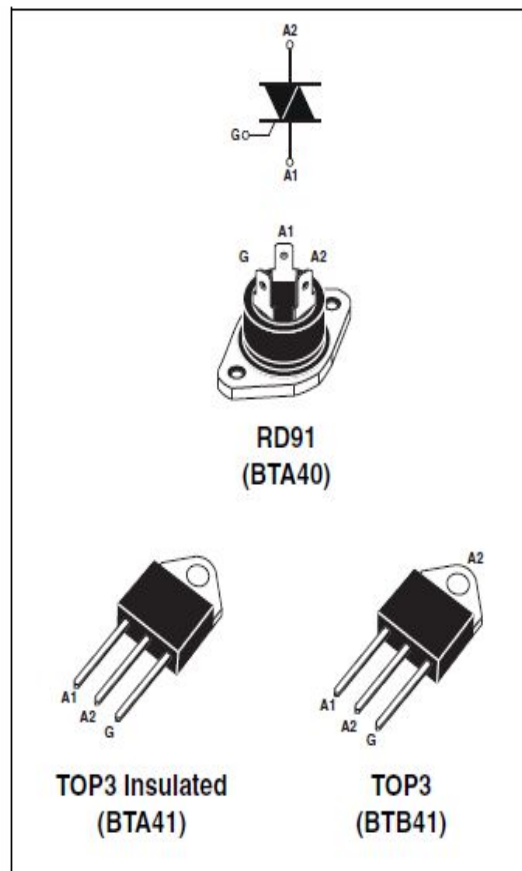


Table 2: Order Codes

Part Number	Marking
BTA40-xxxB	See table 8 on page 6
BTA41-xxxBRG	
BTB41-xxxBRG	

BTA40, BTA41 and BTB41 Series

Table 3: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$I_{T(NMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	RD91 / TOP3	$T_c = 95^\circ\text{C}$	40	A
		TOP Ins.	$T_c = 80^\circ\text{C}$		
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz	t = 20 ms	400	A
		F = 60 Hz	t = 16.7 ms	420	
I^2t	I^2t Value for fusing	$t_p = 10$ ms		880	A^2s
dI/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, $t_r \leq 100$ ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ\text{C}$	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	$t_p = 10$ ms	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DSM}/V_{RSM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	$t_p = 20$ μs	$T_j = 125^\circ\text{C}$	8	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation		$T_j = 125^\circ\text{C}$	1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^\circ\text{C}$

Tables 4: Electrical Characteristics ($T_j = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		Value	Unit
I_{GT} (1)	$V_D = 12$ V $R_L = 33$ Ω	I - II - III IV	MAX.	50 100	mA
		ALL	MAX.	1.3	
V_{GD}	$V_D = V_{DRM}$ $R_L = 3.3$ k Ω $T_j = 125^\circ\text{C}$	ALL	MIN.	0.2	V
I_H (2)	$I_T = 500$ mA		MAX.	80	mA
I_L	$I_G = 1.2$ I_{GT}	I - III - IV	MAX.	70	mA
		II		160	
dV/dt (2)	$V_D = 67\%$ V_{DHM} gate open	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MIN.	500	$\text{V}/\mu\text{s}$
(dV/dt) _c (2)	(dI/dt) _c = 20 A/ms	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MIN.	10	$\text{V}/\mu\text{s}$

Table 5: Static Characteristics

Symbol	Test Conditions		Value	Unit	
V_T (2)	$I_{TM} = 60$ A $t_p = 380$ μs	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	1.55	V
V_{t0} (2)	Threshold voltage	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	0.85	V
R_d (2)	Dynamic resistance	$T_j = 125^\circ\text{C}$	MAX.	10	m Ω
I_{DRM} I_{RRM}	$V_{DRM} = V_{RRM}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	MAX.	5	μA
		$T_j = 125^\circ\text{C}$		5	mA

Apéndice E: Moc 3011.

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3010/D



6-Pin DIP Random-Phase Optoisolators Triac Driver Output (250 Volts Peak)

The MOC3010 Series consists of gallium arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to silicon bilateral switch and are designed for applications requiring isolated triac triggering, low-current isolated ac switching, high electrical isolation (to 7500 Vac peak), high detector standoff voltage, small size, and low cost.

- To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.

Recommended for 115 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lamp Ballasts
- Interfacing Microprocessors to 115 Vac Peripherals
- Motor Controls
- Static ac Power Switch
- Solid State Relays
- Incandescent Lamp Dimmers

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Transistor Derate above 25°C	P_D	100	mW
		1.33	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	250	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	300	mW
		4	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	330	mW
		4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	T_I	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage. V_{ISO} is an internal device dielectric breakdown rating.

For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3009/D)

MOC3010
[IFT = 15 mA Max]
MOC3011
[IFT = 10 mA Max]
MOC3012*
[IFT = 5 mA Max]

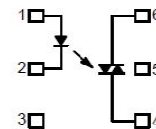
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL



Apéndice F: Sensor de temperatura LM35.

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

1 Features

- Calibrated Directly in Celsius (Centigrade)
- Linear + 10-mV/°C Scale Factor
- 0.5°C Ensured Accuracy (at 25°C)
- Rated for Full -55°C to 150°C Range
- Suitable for Remote Applications
- Low-Cost Due to Wafer-Level Trimming
- Operates from 4 V to 30 V
- Less than 60-µA Current Drain
- Low Self-Heating, 0.08°C in Still Air
- Non-Linearity Only ±¼°C Typical
- Low-Impedance Output, 0.1 Ω for 1-mA Load

2 Applications

- Power Supplies
- Battery Management
- HVAC
- Appliances

3 Description

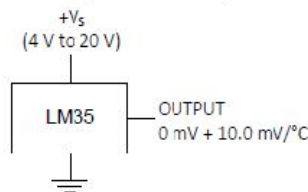
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature devices with an output voltage linearly-proportional to the Centigrade temperature. The LM35 device has an advantage over linear temperature sensors calibrated in Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from the output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 device does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of ±¼°C at room temperature and ±¾°C over a full -55°C to 150°C temperature range. Lower cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The low-output impedance, linear output, and precise inherent calibration of the LM35 device makes interfacing to readout or control circuitry especially easy. The device is used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As the LM35 device draws only 60 µA from the supply, it has very low self-heating of less than 0.1°C in still air. The LM35 device is rated to operate over a -55°C to 150°C temperature range, while the LM35C device is rated for a -40°C to 110°C range (-10° with improved accuracy). The LM35-series devices are available packaged in hermetic TO transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D devices are available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D device is available in an 8-lead surface-mount small-outline package and a plastic TO-220 package.

Device Information⁽¹⁾

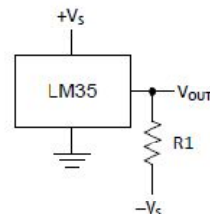
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM35	TO-CAN (3)	4.699 mm × 4.699 mm
	TO-92 (3)	4.30 mm × 4.30 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Basic Centigrade Temperature Sensor (2°C to 150°C)



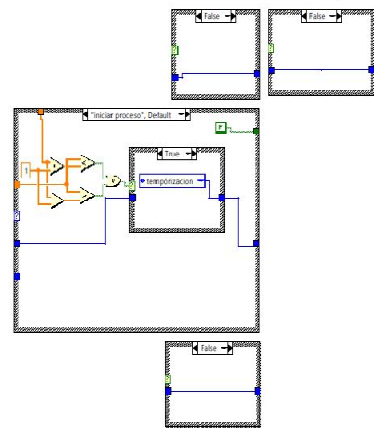
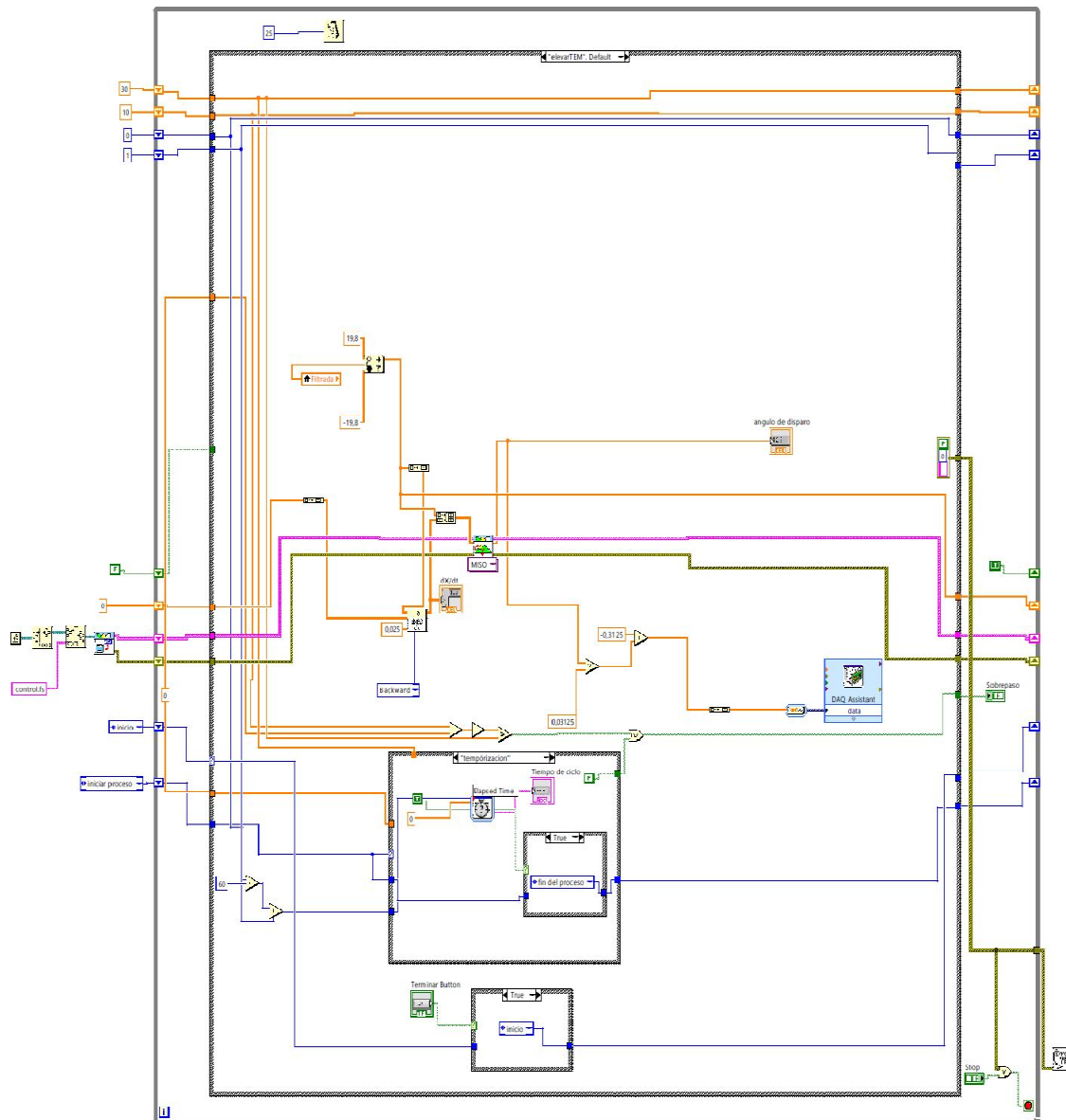
Full-Range Centigrade Temperature Sensor



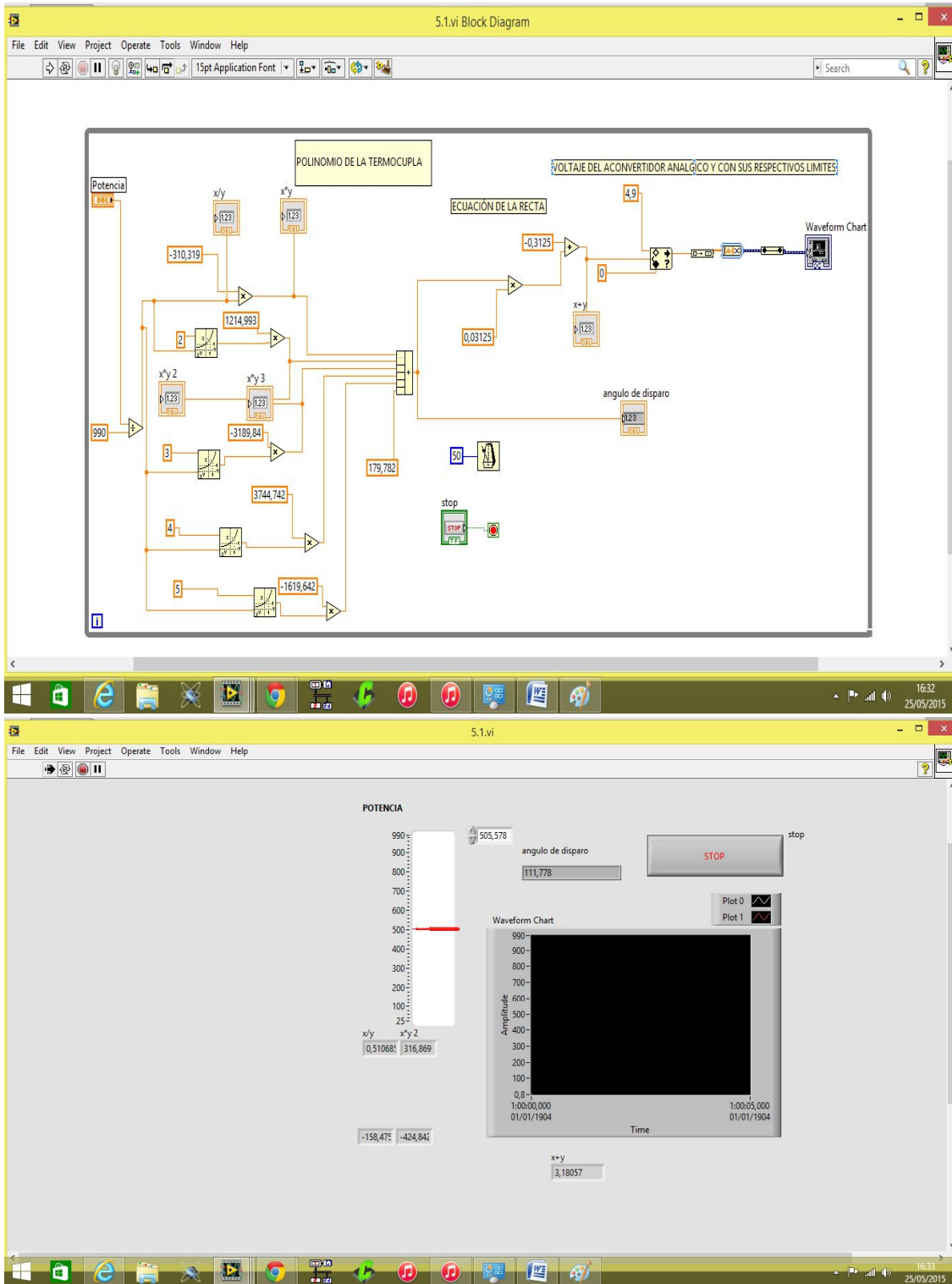
Choose $R_1 = -V_S / 50 \mu\text{A}$
 $V_{OUT} = 1500 \text{ mV at } 150^\circ\text{C}$
 $V_{OUT} = 250 \text{ mV at } 25^\circ\text{C}$
 $V_{OUT} = -550 \text{ mV at } -55^\circ\text{C}$

Apéndice G: Software LabVIEW CSVT.





Apéndice H: Control de potencia.



Apéndice I: Programa de control de ángulo fase micro....

```
#include<control_potencia.h>
int16 cero = 0, cero1 = 0;
int16 ADCvalor=0;
unsigned int16 cuenta = 7856, cuenta1 = 7856;
#INT_EXT
{
if (cero == 0)//
{
EXT_INT_EDGE(0, H_TO_L);
cero=1;
}
else
{
EXT_INT_EDGE(0, L_TO_H);
cero=0;
}
}

//output_toggle(pin_c2);
SET_TIMER1(~cuenta);
SETUP_TIMER_1(T1_INTERNAL| T1_DIV_BY_2);
}

#INT_TIMER1
void isr_timer1(void)
{
SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED);
output_high(PIN_C0);
delay_us(30); output_low(PIN_C0);
}

#INT_EXT1
void isr_int_ext1(void)
{
if (cero1 == 0)//
{
ext_int_edge( 1, H_TO_L);
cero1=1;
}
else
{
ext_int_edge( 1, L_TO_H);
cero1=0;
}
}

//output_toggle(pin_c2);
SET_TIMER3(~cuenta1);
SETUP_TIMER_3(T3_INTERNAL| T3_DIV_BY_2);
}

#INT_TIMER3
void isr_timer3(void)
{
SETUP_TIMER_3(T3_DISABLED);
output_high(PIN_C1);
delay_us(30);
output_low(PIN_C1);
}

voidmain()
{
setup_oscillator(OSC_8MHZ);
SETUP_ADC(ADC_CLOCK_INTERNAL);
SETUP_ADC_PORTS(AN0_TO_AN1, VSS_VDD);
SET_ADC_CHANNEL(0);
ENABLE_INTERRUPTS(INT_TIMER1);
ENABLE_INTERRUPTS(INT_TIMER3);
cero=0;
cero1=0;
SETUP_TIMER_1(T1_DISABLED);
SETUP_TIMER_3(T3_DISABLED);
EXT_INT_EDGE(0,L_TO_H);
EXT_INT_EDGE(1,L_TO_H);
ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT);
ENABLE_INTERRUPTS(INT_EXT1);
ENABLE_INTERRUPTS(GLOBAL);
while(TRUE)
{
delay_ms(30);
SET_ADC_CHANNEL(0);
delay_us(50);
ADCvalor=READ_ADC();
cuenta = (unsigned int16)(7.23*ADCvalor ) + 460;
SET_ADC_CHANNEL(1);
delay_us(50);
ADCvalor=READ_ADC();

cuenta1 = (unsigned int16)(7.23*ADCvalor ) + 460; }
}
```

Apéndice J: Presupuesto de Prototipo CSVT.

Artículo	Nº piezas	Precio \$ pesos	Total \$ pesos
Tabla	1(2.50*36cm)	190	190
Esparrago ½	2	30	60
Rondanas ½	64	1.50	96
Tuercas ½	64	2	120
Pijas	20	1.50	30
Clavos 2 ½ “	20	5.0	10
Tapas de aluminio	2	1,900	3,800
Espárragos de cobre	4	200	800
Tuvo de vidrio	1	4,500	4,500
Tubo de cobre	50cm	100	100
Lámparas (UV)	4	1,200	4,800
Cerámicas con orificios ½ “	8	35	350
Termopar tipo K	2	120	240
Cable # 10	4m	9	32
Cable 3 polos reforzado # 10	5m	55	275
Clavijas trifásicas	2	250	500
Enchufe trifásico	2	250	500
Canaleta	1	50	50
Interruptor monofásico	1	230	230
Disipador de calor	1	50	50
Triac BTA40	4	130	520
Zapatas	20	4	80
PIC18F4550	4	130	520
Placa fenolica	2	190	380
Moc 3011	8	38	304
Resistencia 30 Ω	10	1	10
Led rojo	4	1.50	6
Optocoplador 2111	8	35	280
Base de 40 pines para PIC18F4550	4	10	40
Base de 4 pines para Moc 3011	4	5	20

Heder macho de 20 pines	2	20	40
Heder hembra de 20 pines	2	20	40
Bornera de 2 pines	2	10	20
Jad de banana hembra	20	13	260
Jad de banana macho	20	14	280
Acido férrico	1 litro	180	180
Programador pic kit 3	1	800	800
NI PCI 6341	1	25,000	25,000
BNC 2120	1	16,000	16,000
Conector de caimanes	2	150	300
Computadora completa para el software	1	10,000	10,000
			\$71,721

Bibliografía.

- [1] Acedo, J. (2003). Medida con temperatura con termopar. En J. Acedo, *Control Avanzado de Procesos* (pág. 71). Madrid: diaz de Santos.
- [2] Avendaño, E. L. (2000). Transductores Termoresistivos. En E. L. Avendaño, *Fundamentos de instrumentación* (págs. 160-177). Costa Rica: Universidad Tecnológica de Pereira.
- [3] Baron, T., Martin, F., & Mur, P. (2000). Silicon Quantum dot nucleation on Si₃N₄, SiO₂. *Growth* , 1004.
- [4] Boltón, W. (2015). Control. En W. Boltón, *Ingeniería de control* (pág. 413). México: Alfaomega.
- [5] Boltón, W. (2001). Sistemas de Control. En W. Boltón, *ingeniería de Control* (pág. 303). México: Alfaomega.
- [6] Creus, A. (1997). Termopares. En A. Creus, *Instrumentación Industrial* (págs. 236-237). Barcelona, España: Marcombo.
- [7] Creus, A. (1997). *Thermopares*. España: Marcombo.
- [8] Gámes, J. (2011). *Diseño de un sistema de deposito*. Zacatecas: Universidad Autonoma de Zacatecas.
- [9] Gómez, C. J. (2008). *FUZZY CONTROL*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- [10] Ibrahim, A. M. (204). Defuzzification. En A. M. Ibrahim, *Fuzzy Logic For Embedded Systems Applications* (págs. 73-78). USA: Elsevier.
- [11] Mendoza, R., Aguilar, J., Sastre, J., Contreras, G., & Santana, G. (2008). Prototipo de modulos fotovoltaicos. *Nacional Energia* , 10-12.
- [12] Romero, P. J., Lorite, A. J., & Montero, S. (1994). *Problemas Resueltos con Automatas Programables* (7 ed.). España: Paraninfo.

Mesografía.

[a] *WWW.mitecnologico.com/main/sensores de temperatura*. (23 junio de septiembre de 2010). Recuperado el 15 de marzo 2015 de 2015, de *WWW.mitecnologico.com/main/sensores de temperatura*.

[b] NI PCIe-6341 - National Instruments.

[c] NI BNC-2120 - National Instruments.

[d] PDF PIC18F4550.

[e] PDF Moc3011.

[f] TRIAC BTA40.

[g] LM35 sensor de temperatura.

[h] Termopar tipo K.

[i] Lámparas ultravioletas (UV).

