



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**DISEÑO Y SIMULACION DE UN CONTROL DE
TEMPERATURA DE UN HORNO POR MEDIO DEL MODULO
USB6009**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electrónico**

Autores:

José Xavier Morocho Vásquez

Juan Pablo Ayabaca Saltos

Director:

Ing. Leonel Pérez

Cuenca, Ecuador

2009

DEDICATORIA

A nuestros padres quienes nos apoyaron durante nuestros estudios

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que nos brindaron su ayuda y estímulo, todos ellos son de gran valor.

Principalmente a nuestro director de tesis Ing. Leonel Pérez quien con sus conocimientos, apoyo desinteresado nos guió por el camino correcto para la culminación de nuestro proyecto de tesis, igualmente a dos destacados docentes de nuestra facultad Ing. Germán Zúñiga Decano de la facultad de Ingeniería y al Ing. Fabián Orellana quienes enriquecieron nuestro trabajo con sus valiosas sugerencias.

RESUMEN

Este trabajo se centra en el diseño y simulación del control automático de temperatura de un horno por medio del módulo de adquisición de datos USB6009 de National Instruments.

El modelo matemático de la planta se obtiene mediante experimentación y simulación usando la aplicación Control Station 3.7.

El control automático de temperatura se ejecuta mediante un lazo de control PI, cuyos coeficientes se obtienen a través de la aplicación Control Station 3.7.

Se aplica el lazo de control mediante un instrumento virtual de Labview 8.5 usando el modulo USB6009 de National Instruments

ABSTRACT

This work is centered in the design and simulation of the automatic control of temperature of an oven by national instruments data acquisition module USB6009.

The mathematical model is obtained by means of experimentation and simulations using Control Station 3.7 application.

The automatic temperature control is executed through a closed PI loop, whose coefficients are obtained by Control Station 3.7 application.

The control loop is applied by means of a virtual instrument of Labview 8.5 using the module USB6009 of National Instruments.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE ANEXOS	x

INTRODUCCION	1
---------------------	----------

CAPITULO 1: DESCRIPCION DE LA PLANTA	2
---	----------

Introducción	2
1.1 Planta	2
1.2 Proceso	2
1.3 Sistema	3
1.4 Variable controlada	3
1.5 Variable Manipulada	3
1.6 Control	3
1.7 Perturbacion	3
1.8 Actuador	4
1.9 Tipos de Actuadores	4
1.9.1 Actuador Primario	4
1.9.2 Actuador Intermedio o Secundario	4
1.9.3 Actuador Final	4
1.10 Partes que integran el horno a controlar	4
1.10.1 Carcasa	5
1.10.2 Actuador primario	5
1.10.3 Actuador final	6
1.10.4 Interfaz hombre maquina	6
1.11Conclusiones	7

CAPITULO 2: INTERFAZ DE CONTROL	8
Introducción	8
2.1 Interfaz de control	8
2.1.1 El TRIAC	8
2.1.2 Integrado H11AA1	10
2.1.3 Micro controlador	11
2.1.4 Integrado MOC3010	14
2.1.5 Sensor de temperatura LM35	15
2.2 Mediciones del cruce por cero en el Osciloscopio	16
2.3 Conclusiones	17
 CAPITULO 3: MODELACION	 18
Introducción	18
3.1 Conceptos Fundamentales	18
3.1.1 Respuesta transitoria	18
3.1.2 Respuesta de estado estable	18
3.1.3 Efectos de la Ganancia	19
3.1.4 Efectos del tiempo muerto θ_p	19
3.1.5 Estabilidad absoluta	19
3.1.6 Sistema en equilibrio	20
3.2 Sistemas de primer orden	21
3.3 Labview 8.5	22
3.4 Control Station	22
3.5 Obtención del modelo del horno	22
3.5.1 Obtención de los valores de temperatura	22
3.5.2 Análisis de datos	24
3.5.3 Sistema de segundo orden	26
3.5.4 Obtención de la ecuación de la planta	27
3.6 Conclusiones	29

CAPITULO 4: DISEÑO Y SIMULACION DEL CONTROL PI	30
Introducción	30
4.1 Conceptos Generales	30
4.1.1 Sistema de Control de Lazo Abierto	30
4.1.2 Sistemas de control de Lazo Cerrado (Feedback)	30
4.1.3 Control solo “P”	31
4.1.4 Control “PI”	32
4.1.5 Las características de los controladores P, I, y D	33
4.2 Reglas Ziegler-Nichols para controladores PID	34
4.2.1 Primer método	35
4.2.2 Segundo método	37
4.3 Simulación en MatLab	38
4.3.1 Creación del modelo	39
4.3.2 Introducción de bloques en el modelo	39
4.3.3 Determinar los polos del sistema	40
4.3.4 Modelo de la planta en Simulink	42
4.3.5 Diseño y Simulación del Control P	44
4.3.6 Diseño y Simulación del Control PI	45
4.4 Conclusiones	49
 CAPITULO 5: ADQUISICION DE SEÑALES Y CONTROL DEL HORNO (MAQUETA) POR MEDIO DEL MODULO USB6009	 50
Introducción	50
5.1 Control por medio de Labview 8.5	50
5.1.1 Realizar un VI para el control P (Proporcional)	50
5.1.2 Realizar un VI para el control PI (Proporcional Integral)	52
5.1.3 Comprobar el funcionamiento	53
5.1.4 Prueba de funcionamiento con perturbaciones	56
5.2 Conclusiones	56

CONCLUSIONES	57
---------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA	58
---------------------	-----------

INDICE DE ANEXOS	60
ANEXO 1: CODIGO DEL MICROPROCESADOR ATMEGA16	60
ANEXO 2: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TESIS	68
ANEXO 3: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL ACTUADOR PRIMARIO	69
ANEXO 4: PCB TOP LAYER	70
ANEXO 5: PCB BOTTOM LAYER	70
ANEXO 6: 3D PCB TOP LAYER	71
ANEXO 7: 3D PCB BOTTOM LAYER	71
ANEXO 8: LISTA DE COMPONENTES DEL CONTROLADOR PRIMARIO	72
ANEXO 9: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT PARA LA ADQUISICION DE LA TEMPERATURA DEL HORNO	73
ANEXO 10: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT CONTROL P	74
ANEXO 11: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT CONTROL PI	75

Morocho Vásquez José Xavier

Ayabaca Saltos Juan Pablo

Trabajo de Graduación

Ing. Leonel Pérez

Septiembre del 2009

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROL DE TEMPERATURA DE UN
HORNO POR MEDIO DEL MÓDULO USB6009***

INTRODUCCION

Mediante la utilización de un sistema automático en control procesos de un horno industrial, se tienen ventajas tanto en el aspecto económico, de seguridad, fiabilidad y oportunidad de la adquisición de los datos, para una oportuna toma de decisiones, agilidad en el proceso y calidad en el producto.

Implementando un sistema de monitoreo mediante el módulo USB6009 en el horno se elimina el control manual del operador dentro de la cadena de producción, lo cual posibilita aprovechar la mano de obra del operador en otras tareas.

En el horno se demostrará el comportamiento de un lazo de control PI, mediante experimentación.

El actuador final del horno será una niquelina controlada por control de ángulo de disparo, lo cual se logrará mediante un micro controlador, un detector de cruce por cero, un opto acoplador y un triac.

El modelo de la planta será obtenido mediante el software Control Station 3.7.

Los datos de la planta serán adquiridos por medio del modulo USB6009 y serán visualizados mediante Labview 8.5

CAPITULO I

DESCRIPCION DE LA PLANTA

Introducción

A lo largo del presente capítulo se definirán las partes que conforman una planta. Al final del capítulo se describe las partes que forman el horno a ser controlado.

1.1 Planta

Es un equipo u objeto físico, un juego de piezas de una máquina, funcionando conjuntamente, cuyo objetivo es realizar una operación determinada.

1.2 Proceso

Es una operación o desarrollo natural, caracterizado por una serie de cambios graduales, progresivamente continuos, que se suceden el uno al otro de un modo relativamente fijo, que tienen un determinado resultado o final; o a una operación voluntaria o artificial progresivamente continua, que consiste en una serie de acciones controladas o movimientos dirigidos sistemáticamente hacia determinado resultado o fin.

Llamaremos proceso a cualquier operación que deba controlarse.

1.3 Sistema

Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen determinado objetivo.

Un sistema no está limitado a objetos físicos. El concepto de sistema puede aplicarse a fenómenos dinámicos abstractos, como los que se encuentran en economía. Por lo tanto, el término sistema hay que interpretarlo como referido a sistemas físicos, biológicos, económicos y otros.

1.4 Variable controlada

Es la cantidad o condición que se mide y controla.

1.5 Variable Manipulada

Es la cantidad o condición modificada por el controlador, a fin de afectar la variable controlada. Normalmente la variable controlada es la salida del sistema.

1.6 Control

Significa medir el valor de la variable controlada del sistema, y aplicar al sistema la variable manipulada para corregir o limitar la desviación del valor medido, respecto al valor deseado.

Al estudiar control se deben definir términos adicionales para describir el sistema de control.

A continuación se darán las definiciones de estos términos.

1.7 Perturbacion

Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema.

Si la perturbación se genera dentro del sistema, se le denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

1.8 Actuador

El Actuador es el dispositivo o conjunto de dispositivos que modifican el medio ambiente de la Planta para obligar a la variable controlada a llegar a su valor final deseado.

1.9 Tipos de Actuadores

1.9.1 Actuador Primario

Es el que está en contacto con la Variable Manipulada.

1.9.2 Actuador Intermedio o Secundario

Es el que no está en contacto ni con la Variable Manipulada ni con la Planta.

1.9.3 Actuador Final

Es el que está en contacto con la Planta

1.10 Partes que integran el horno a controlar

Este horno(planta) está conformado por las partes definidas a continuación.

1.10.1 Carcasa: Esta carcasa tiene las siguientes dimensiones 50cm largo, 35.3cm ancho y 40cm alto, esta formado en su mayor parte de laton, en la parte frontal posee un vidrio ver figura1-1.

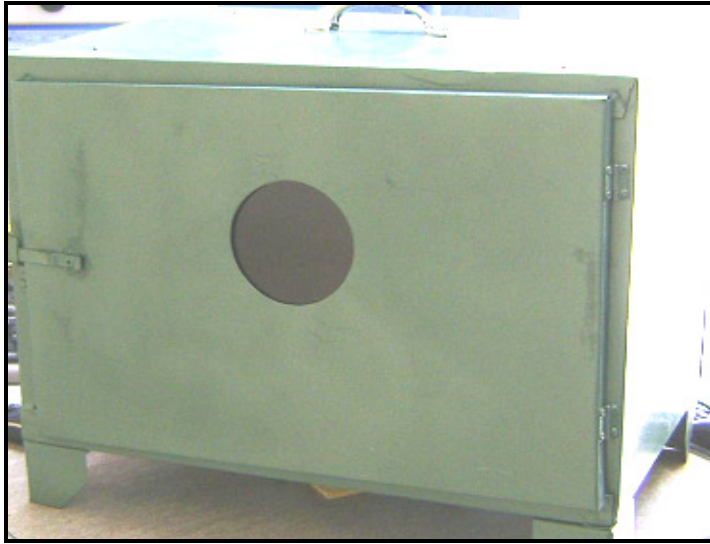


Figura 1-1: Carcasa del horno.

1.10.2 Actuador primario: En este caso el control de fase formado por microcomtrolador, triac (PCB) ver figura 1-2.

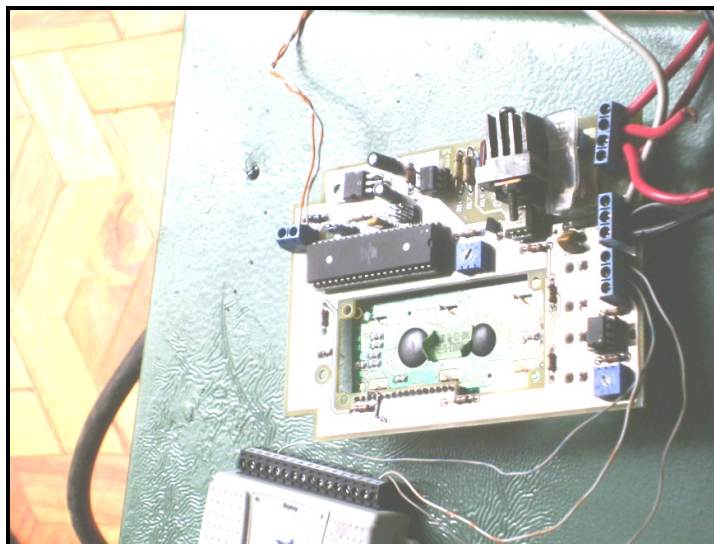


Figura 1-2: Actuador Intermedio o secundario.

1.10.3 Actuador final: Para esta planta los actuadores son las niquelinas ver

Figura 1-3

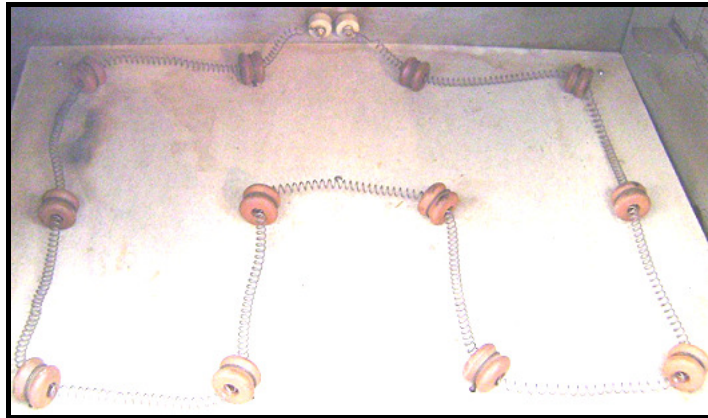


Figura 1-3: Niquelinas dentro de la carcasa del horno.

1.10.4 Interfaz hombre maquina: Es el programa diseñado en Labview 8.5 que envía la señal de control por medio del modulo USB6009 ver figura 1-4, para que este a su vez cambie el ángulo de fase que permite el ingreso de más o menos corriente a las niquelinas.



Figura 1-4: Modulo USB 6009

Fuente: www.ni.com

1.11 Conclusiones

- Se recomienda conocer los parámetros y la teoría que describen una planta, pues esto facilita conocer la variable a manipular, el sensor a usar, define el tipo de proceso si es lento rápido.

CAPITULO II

INTERFAZ DE CONTROL

Introducción

En el presente capítulo se indicará y describirá la interfaz de control aplicada en el control del horno (el esquema electrónico se puede observar en el anexo 3).

2.1 Interfaz de control

La interfaz de control está formada por un detector de cruce por cero y un optoaislador.

La detección del cruce por cero está formada principalmente por tres componentes el Integrado H11AA1, el Triac y el micro controlador ATmega16.

El control del disparo lo realiza el micro controlador ATmega16 junto con el optoaislador MOC3010.

2.1.1 EL TRIAC

El TRIAC (Triode for Alternative Current) es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos. El paso de bloqueo al de conducción se realiza por la aplicación de un impulso de corriente en la puerta (GATE), y el paso del estado de conducción al de bloqueo por la disminución de la

corriente por debajo de la intensidad de mantenimiento (I_H) entre sus terminales A1 y A2 debido a la disminución del voltaje aplicado a estos mismos terminales.

El TRIAC puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa.

En la siguiente figura 2-1 se indica el símbolo del triac.

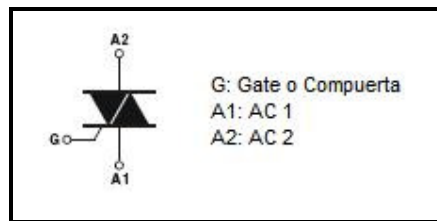


Figura 2-1: El Triac

Fuente: www.st.com,

Datasheet: 7470.pdf

Si no se aplica una corriente a la compuerta del triac, este estará en el estado inactivo (off), no habiendo circulación de corriente de A2 hacia A1 figura 2-2.

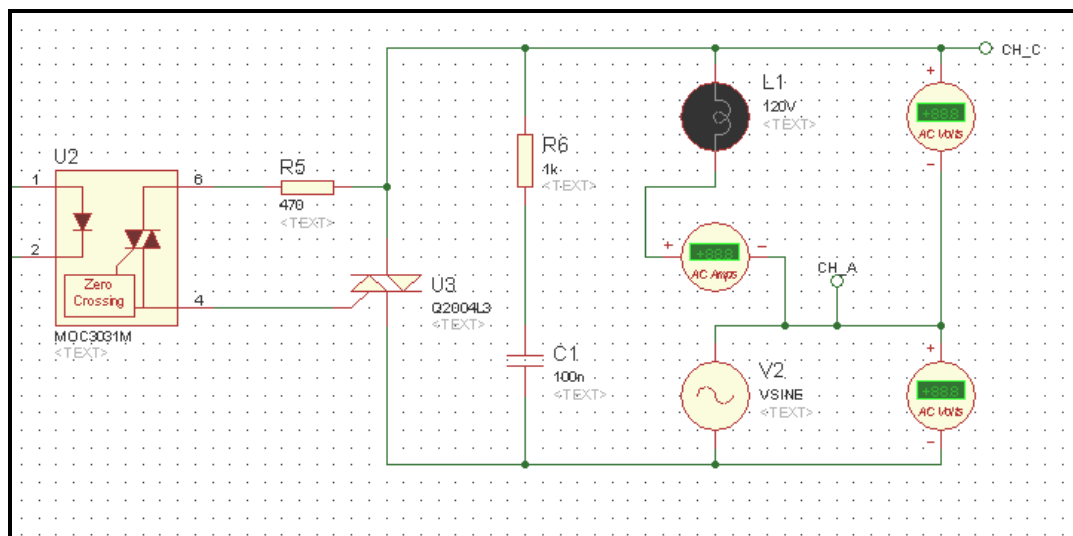


Figura 2-2: Estado inactivo del triac.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

Al aplicar una corriente a la compuerta del triac, esta pasa al estado activo (on), habiendo circulación de corriente de A2 a A1 figura 2-3, y por ende por la carga.

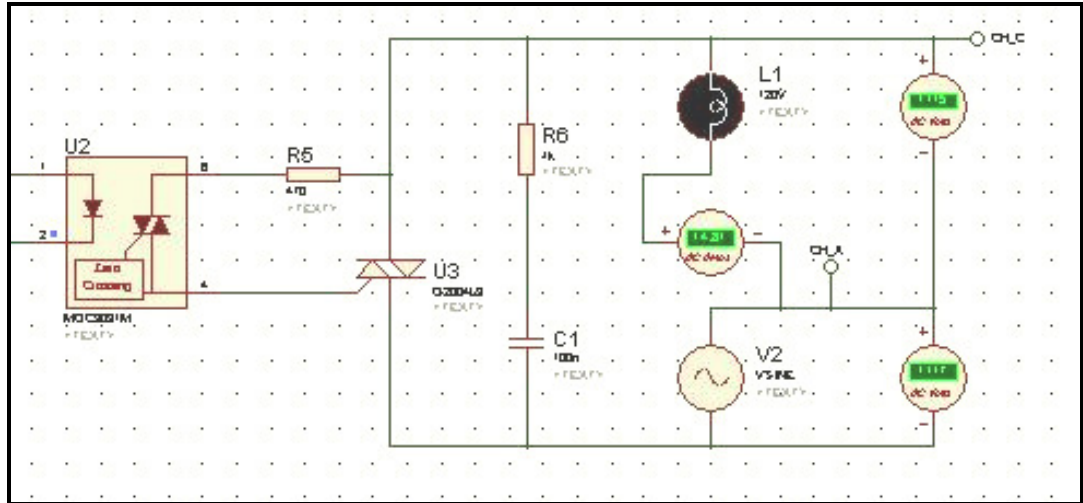


Figura 2-3: Estado activo del triac.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

2.1.2 Integrado H11AA1

Este integrado permite la detección del cruce por cero de una señal AC figura 2-4.

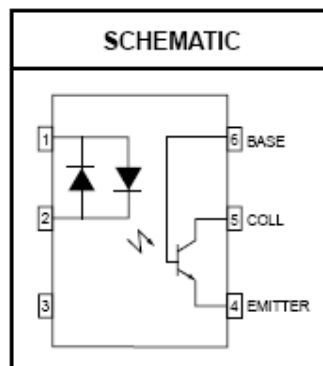


Figura 2-4: Integrado H11AA1

Fuente: www.fairchildsemi.com

Datasheet: H11AA1-M.pdf

La salida producida por este integrado ante una señal AC sin rectificar se muestra en la figura 2-5.

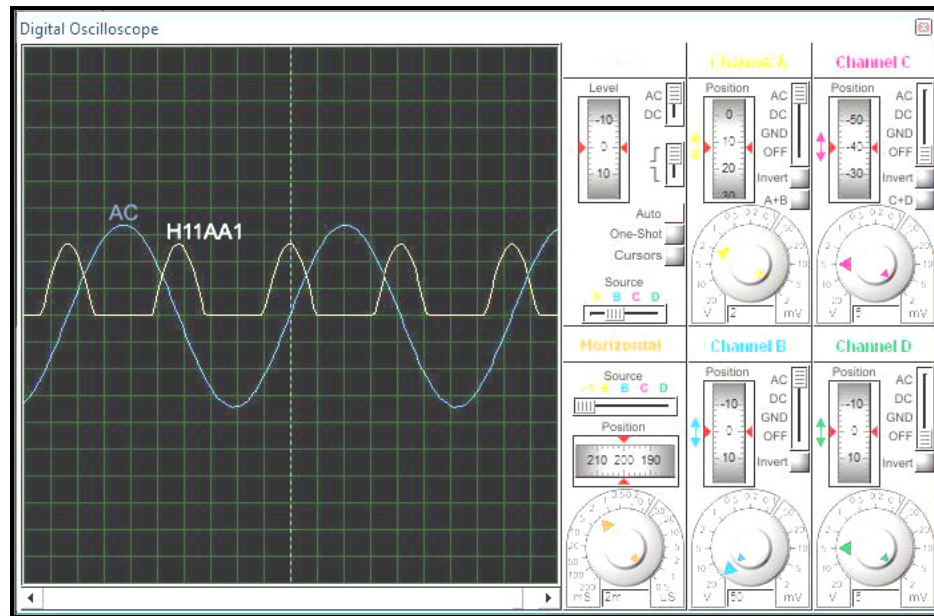


Figura 2-5: Señal de salida del integrado H11AA1
ante una señal AC de entrada.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

2.1.3 Micro controlador

El micro controlador ATmega 16 (ver figura 2-6) está encargado de producir el disparo de activación del triac, esto lo hace mediante una interrupción externa por flanco de subida en su pin RB0, este pin se conecta a la salida producida por el integrado H11A1.

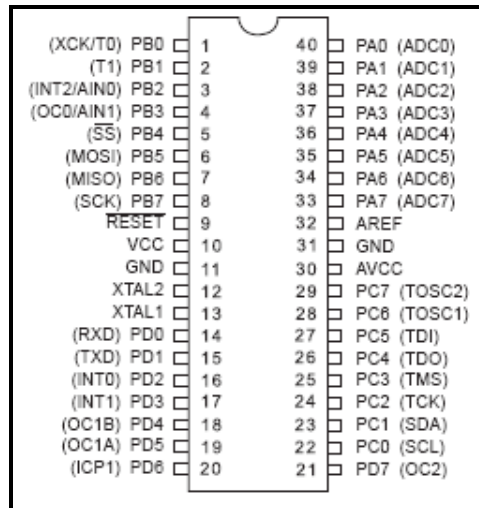


Figura 2-6: Micro controlador ATmega 16.

Fuente: www.atmel.com

Datasheet: doc2466.pdf

Se debe tener en cuenta que la interrupción producida en el micro controlador se debe al flanco de subida de la salida producida por el integrado H11A1, más no el flanco de subida de la señal AC. En el Apéndice A se muestra el programa del micro controlador que detecta el cruce por cero.

En la figura 2-7 se muestra el ángulo de disparo, se realiza a los cero grados desde la detección del cruce por cero.

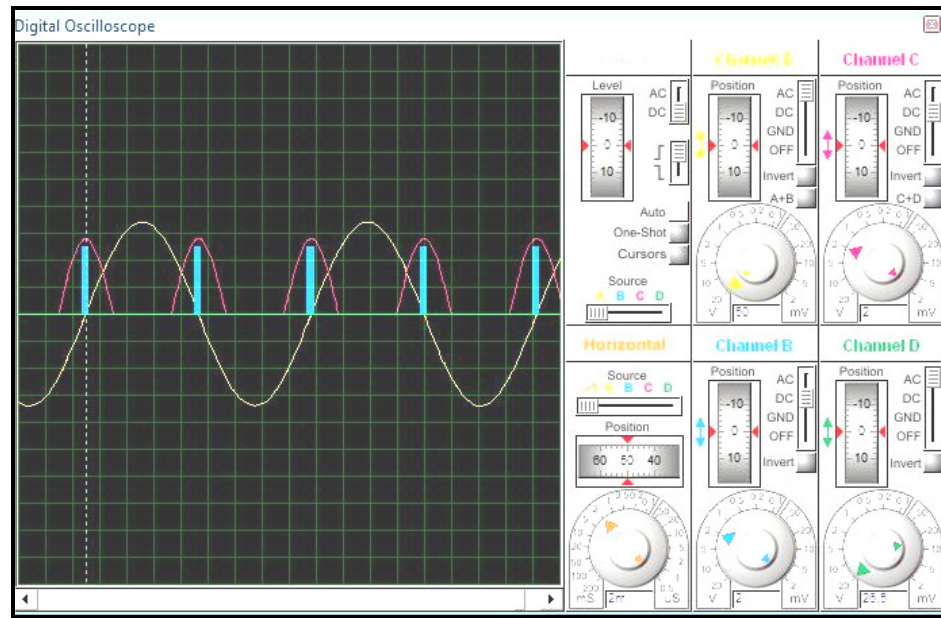


Figura 2-7: Angulo de disparo a los 0 grados.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

La figura 2-8 ilustra el disparo a los 35 grados o 1,6mS después de la detección del cruce por cero.

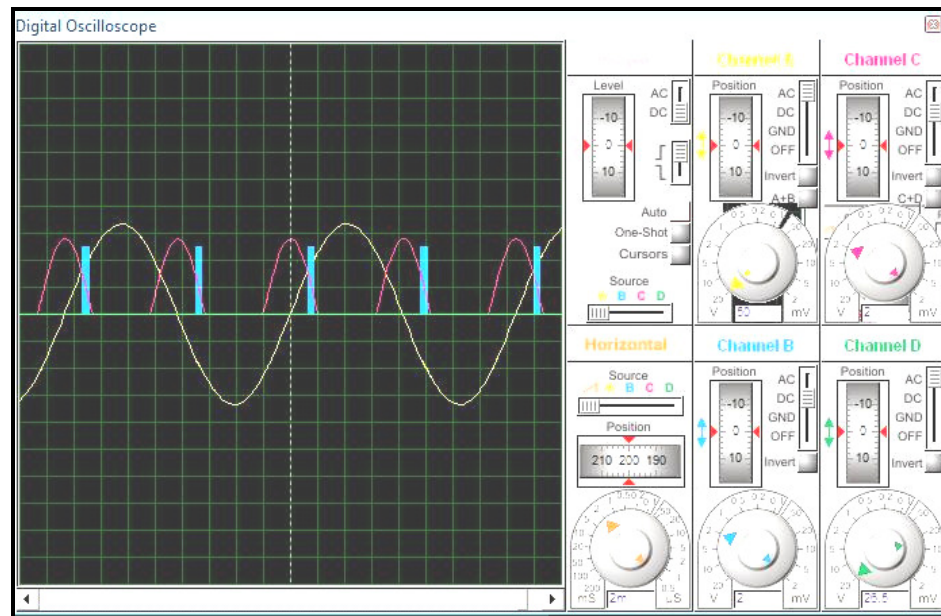


Figura 2-8: Angulo de disparo a 35 grados.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

La figura 2-9 ilustra el disparo a los 88 grados o 4,08mS después de la detección del cruce por cero.

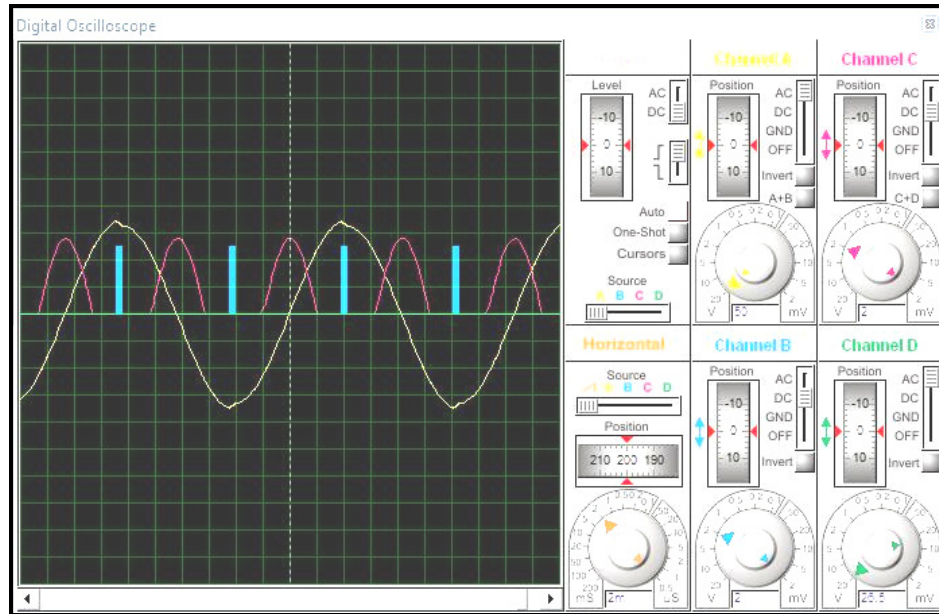


Figura 2-9: Angulo de disparo a 88 grados.

Fuente: PROTEUS 7 Professional

2.1.4 Integrado MOC3010

Este integrado sirve de aislador entre la parte de potencia y control (de la tarjeta electrónica) ver figura 2-10.

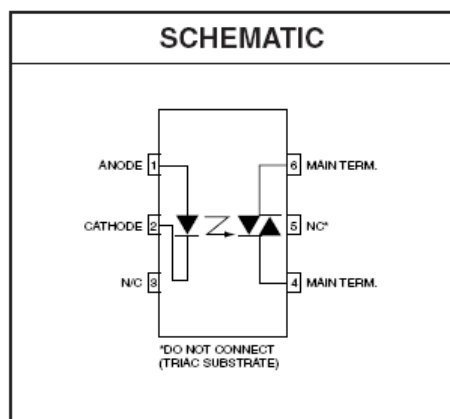


Figura 2-10: Integrado MOC3010.

Fuente: www.fairchildsemi.com

Datasheet: MOC3010M.pdf

En la figura 2-11 se indica el modo de conectar este componente al TRIAC y al micro controlador.

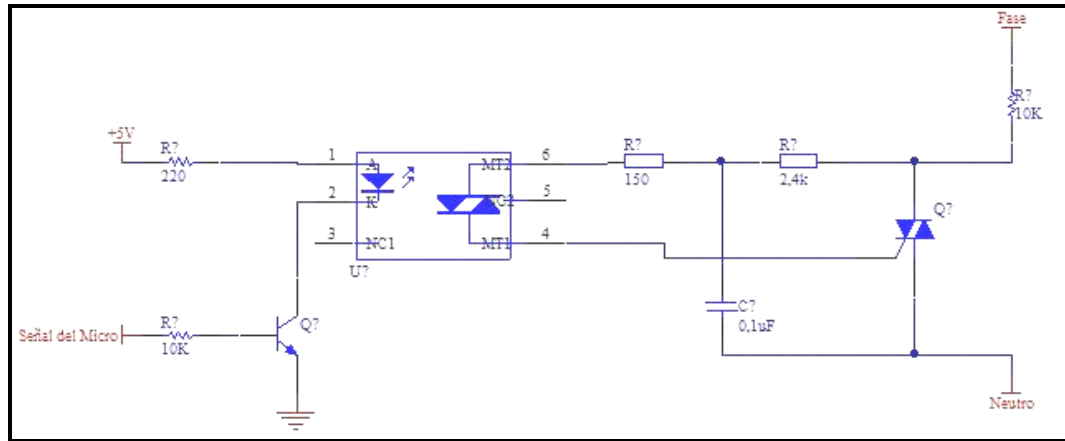


Figura 2-11: Conexión triac-moc3010-micro controlador

Fuente: Protel DXP 2004

2.1.5 Sensor de temperatura LM35

La selección de este integrado, se debe a su linealidad, bajo costo y de gran disponibilidad en el mercado. El sensor se muestra en la figura 2-12

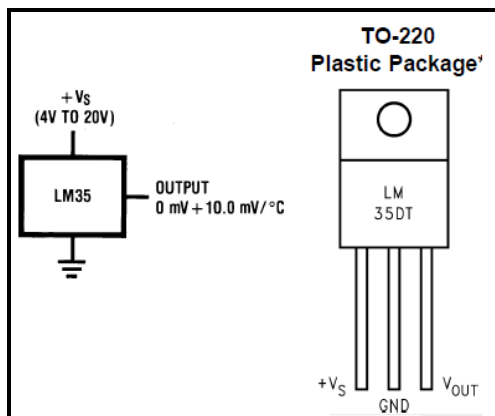


Figura 2-12: Sensor LM-35.

Fuente: www.national.com

Datasheet: LM35.pdf

En el Anexo 3 muestra el diagrama completo de conexión del controlador.

2.2 Mediciones del cruce por cero en el Osciloscopio

Para comprobar el funcionamiento del circuito se utiliza el osciloscopio para ver la detección de cruce por cero de la señal alterna.

La respuesta del integrado H11AA1 a los cruces por cero de una señal alterna de 60Hz, con 8.33 ms de periodo se muestra en la figura 2-13.

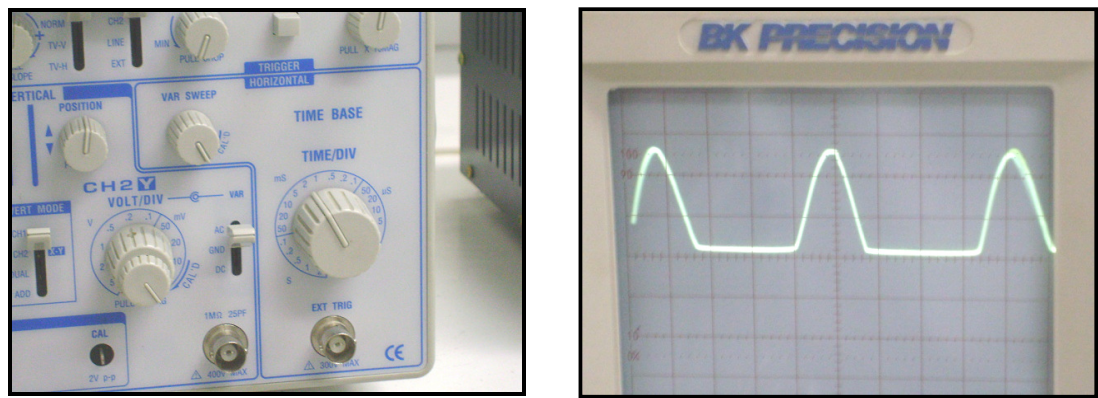


Figura 2-13: Respuesta del integrado H11AA1 a una señal de entrada AC

La figura 2-14 muestra la detección y disparo del moc.

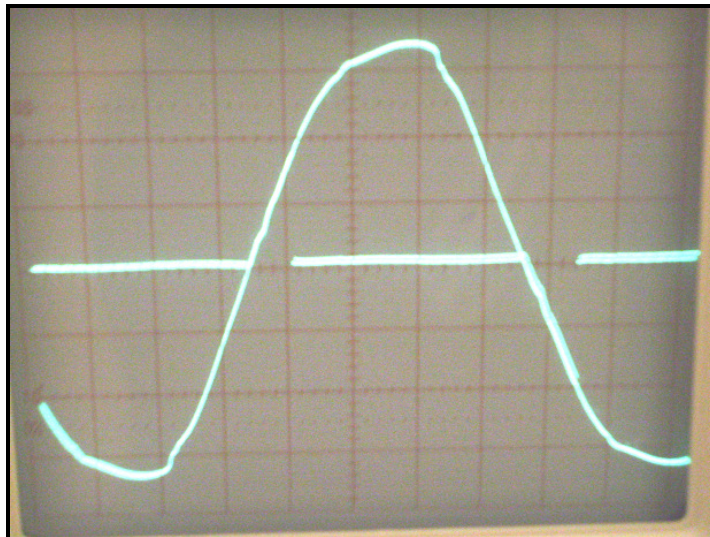


Figura 2-14: Detección y disparo del moc, onda alterna y onda resultante por el disparo del moc.

2.3 Conclusiones

- En el circuito se debe conectar de forma correcta fase y neutro para un adecuado funcionamiento del Triac y no obtener funcionamientos extraños.
- Tener en cuenta que a la hora de probar el circuito de detección de cruce por cero y control del Triac, la conexión de la sonda en el osciloscopio debe ser adecuada (tierra-neutro, fase-positivo) para proteger al equipo (osciloscopio) y a la tarjeta.
- No confundirse con el funcionamiento del integrado H11AA1 en la detección de cruce por cero.
- Se debe conectar de forma correcta fase y neutro para no quemar el MOC3010, al ser este un integrado sensible a malas conexiones.
- No se puede probar AC y DC simultáneamente en el osciloscopio.

CAPITULO III

MODELACION

Introducción

Una vez simulado y comprobado el funcionamiento adecuado de la interfaz de control se procede a obtener el modelo matemático del horno a través del lenguaje de programación gráfico Labview 8.5 y software Control Station 3.7.

3.1 Conceptos Fundamentales

A continuación se describe los conceptos fundamentales utilizados en una planta.

3.1.1 Respuesta transitoria

La respuesta en el tiempo de un sistema de control consta de dos partes:

La respuesta transitoria y la respuesta en estado estable.

Por respuesta transitoria nos referimos a la que va del estado inicial al estado final.

3.1.2 Respuesta de estado estable

Por respuesta en estado estable, nos referimos a la manera en la cual se comporta la salida del sistema conforme el tiempo t tiende a infinito.

3.1.3 Efectos de la Ganancia

El valor de ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

Cambia el ángulo de fase proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna o set point.

La señal P, cambia el ángulo de fase siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

Al cambiar el ángulo de fase en el controlador permitimos el paso de más o menos corriente a las niquelinas lo que permite llegar al valor del set point.

3.1.4 Efectos del tiempo muerto θ_p

Un incremento en tiempos de retardo (también conocido como tiempos muertos) introduce un mayor ángulo de fase, que reduce la frecuencia crítica (cross-over) y reduce, por ende, la máxima ganancia que se pueda utilizar en el controlador.

¿Cómo afecta esto al sistema de lazo cerrado?

Perturbaciones podrían no ser detectadas hasta un período de tiempo significativo.

La acción de control tomada de acuerdo a la última medición pudiese resultar inadecuada y no acorde con el estado actual de sistema.

La acción de control en sí puede tomar algún tiempo en causar efecto en el sistema.

Es posible concluir que los tiempos muertos o retrasos son una fuente importante de inestabilidad para respuestas de lazo cerrado.

3.1.5 Estabilidad absoluta

Al diseñar un sistema de control, debemos ser capaces de predecir su comportamiento dinámico a partir del conocimiento de los componentes.

La característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, es decir, si el sistema es estable o inestable.

Un sistema de control lineal e invariante con el tiempo es estable si la salida termina por regresar a su estado de equilibrio cuando el sistema está sujeto a una condición inicial. Un sistema de control lineal e invariante con el tiempo es críticamente estable si las oscilaciones de la salida continúan para siempre.

Es inestable si la salida diverge sin límite a partir de su estado de equilibrio cuando el sistema está sujeto a una condición inicial.

En realidad, la salida de un sistema físico puede aumentar hasta un cierto grado, pero puede estar limitada por detenciones mecánicas o el sistema puede colapsarse o volverse no lineal después de que la salida excede cierta magnitud.

3.1.6 Sistema en equilibrio

La idea básica es que las variables que describen un sistema que está en equilibrio no cambian con el tiempo.

Una definición más restrictiva: un sistema está en equilibrio si, y solo si, está en un estado desde el cual no es posible ningún cambio sin que haya cambios netos en el ambiente.

En un controlador cuando se genera una señal de error en un sistema de control automático, el controlador empieza a trabajar para restablecer el equilibrio.

Este llegará a restablecerse un tiempo más tarde.

Al tiempo de respuesta de un sistema de control automático, o al tiempo que tarda en restablecer el equilibrio, se le llama respuesta dinámica.

Algunos de los factores que retardan la respuesta dinámica se describen a continuación:

- El tiempo de respuesta de los instrumentos que constituyen el lazo de control se le llama .time lag.
- El tiempo que tarda la señal en viajar de un instrumento a otro.
- La inercia de la variable controlada a cambiar su valor se le llama pure lag.

- El tiempo que transcurre desde el momento en que la variable controlada sufre un cambio hasta que se inicia una acción correctiva se le llama dead time.

3.2 Sistemas de primer orden

La función de transferencia para un sistema LTI de primer orden se puede generalizar como:

$$F(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad \text{Ecuación 3 - 1}$$

Fuente Practical process control Table 7.1

Donde K se conoce como "ganancia de lazo abierto" y τ como "constante de tiempo".

Si se despeja Y (s) de la ecuación (3-1) se obtiene la siguiente expresión de la salida:

$$Y(s) = \frac{K}{\tau s + 1} U(s) \quad \text{Ecuación 3 - 2}$$

Por lo tanto un sistema de primer orden representado por medio de diagrama de bloques quedaría de la siguiente manera ver figura 3-1.

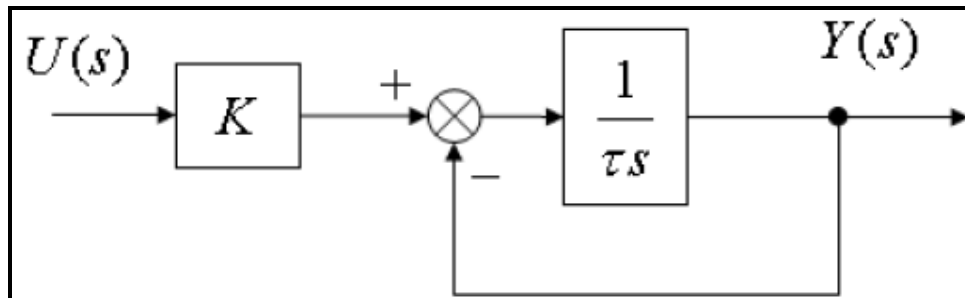


Figura 3-1: Diagrama de bloques de un sistema de primer orden.

Una entrada típica de prueba muy común es la función escalón de magnitud constante “ Γ ”; es decir $u(t) = \Gamma$. Dado que la transformada de Laplace de $u(t)$ es $U(s) = \frac{\Gamma}{s}$; sustituyendo $U(s)$ en la ecuación 3.2 se tiene:

$$Y(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \left(\frac{\Gamma}{s} \right) = \frac{\frac{K\Gamma}{\tau}}{s \left(s + \frac{1}{\tau} \right)} \quad \text{Ecuación 3 – 3}$$

3.3 Labview 8.5

Es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

3.4 Control Station

Software que se utiliza para el análisis del control de procesos, calibración de los parámetros del controlador y entrenamiento en un ambiente simulado.

3.5 Obtención del modelo del horno

Para la obtención del modelo del horno se realiza los siguientes pasos descritos a continuación:

3.5.1 Obtención de los valores de temperatura

Para obtener los valores de temperatura del horno se crea un VI en Labview 8.5 ver figura 3-3 y figura 3-4 el cual guardara los valores de temperatura de la variable manipulada (set point), la variable controlada y el tiempo, en un archivo de texto para posterior análisis (para observar mejor el diagrama de bloques revisar el anexo 9).

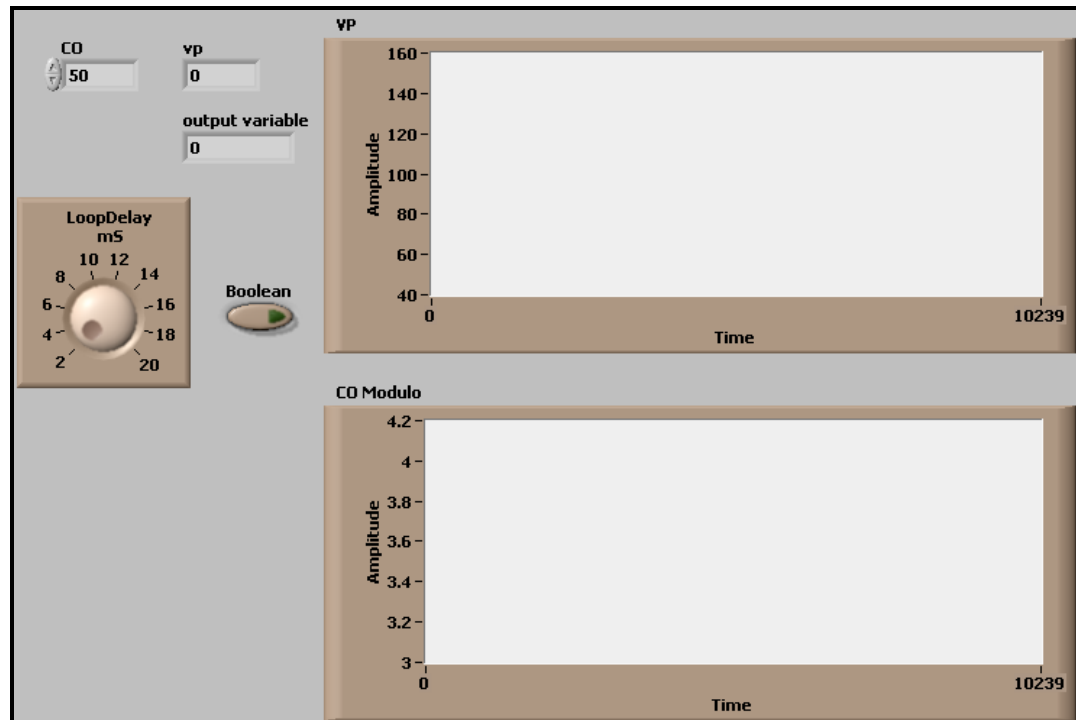


Figura 3-3: Adquisición de datos Front Panel.

Fuente: Labview 8.5

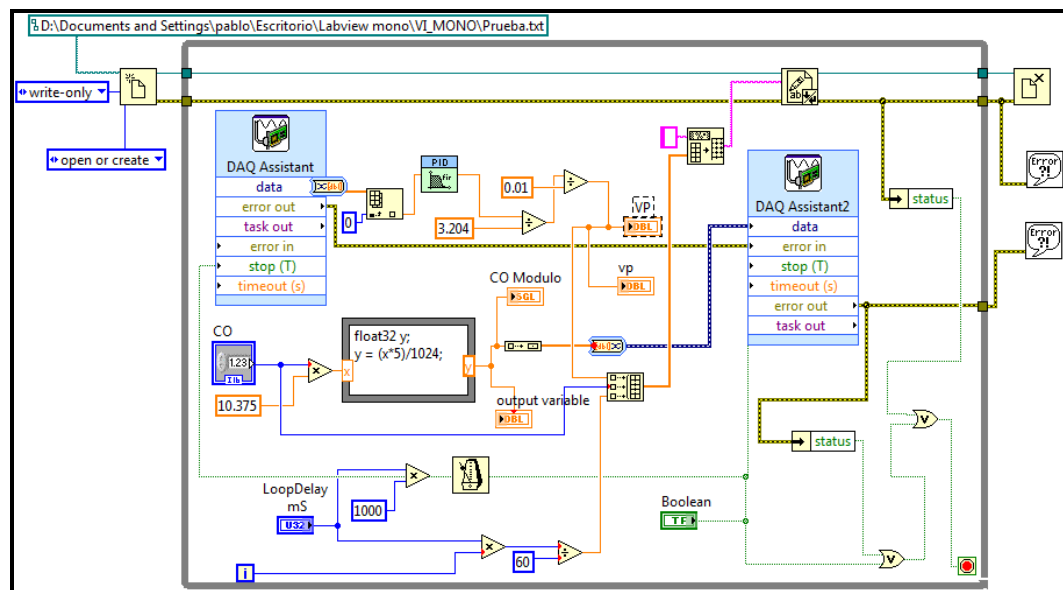


Figura 3-4: Adquisición de datos Block Diagram.

Fuente: Labview 8.5

3.5.2 Análisis de datos

Obtenido el archivo de texto se procede al análisis de los datos del mismo, por medio del programa Control Station figura 3-5. Abrir Control Station, dar clic en Design Tools, abrir el archivo de texto donde se guardaron los datos ver figura 3-6, dar clic en ok, se selecciona un modelo de primer orden en Select Model, se da clic en Start Fitting y se tiene la grafica del comportamiento de la planta ver figura 3-4, sus valores de K (Gain) T1 (Time Constant) y TD (Dead Time).

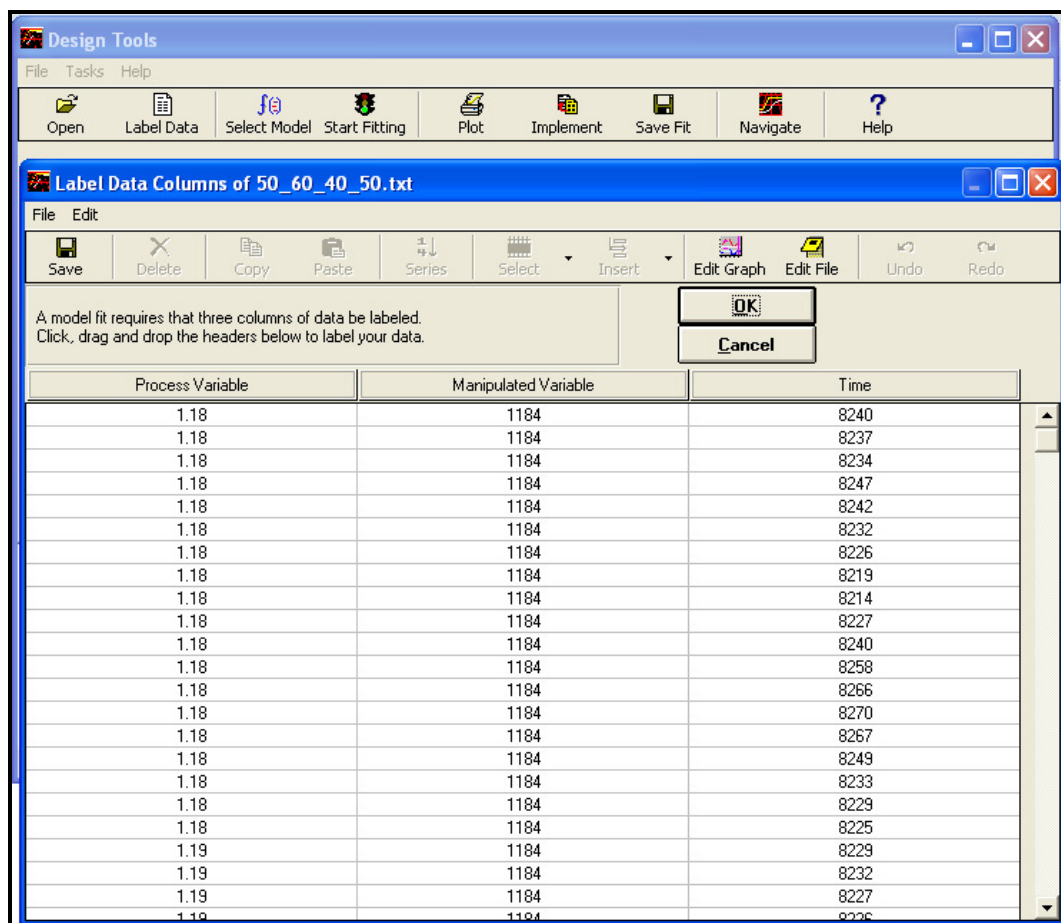


Figura 3-5: Análisis de datos con Control Station

Fuente: Control Station 3.7

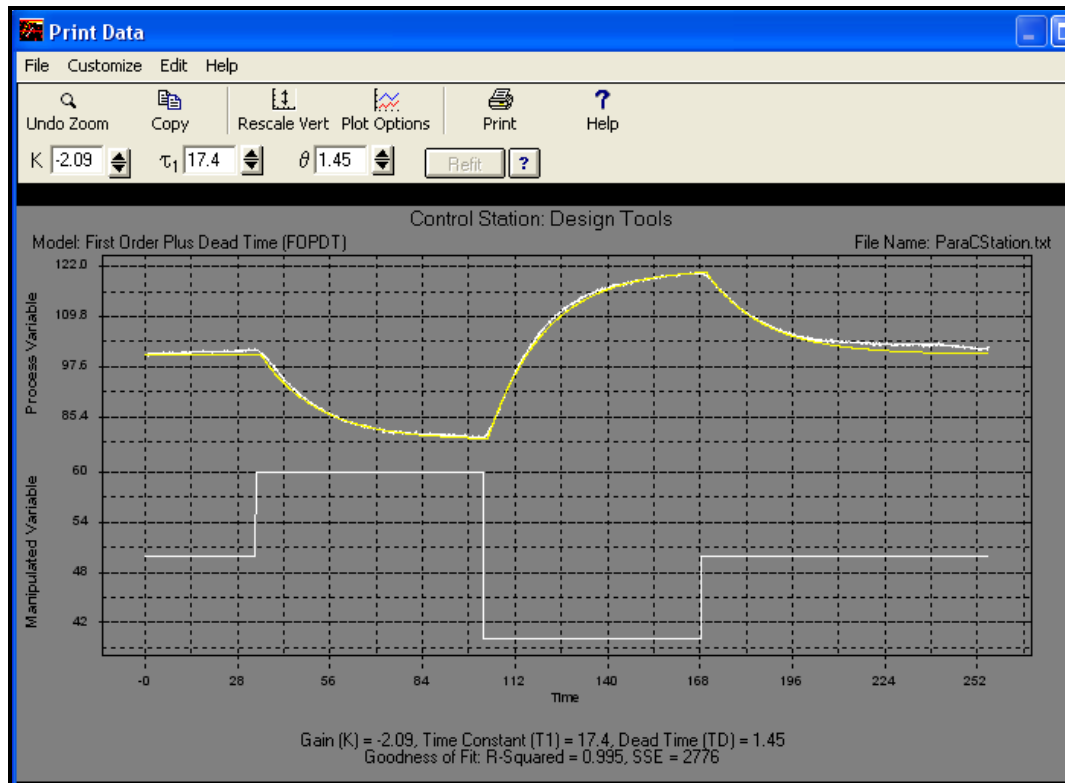


Figura 3-6: Grafica del comportamiento de la planta

Fuente: Control Station 3.7

Ya con la grafica del comportamiento de la planta, dar un clic en ok para obtener la tabla 3-1 con los valores de K Gain), T_I (Time Constant) y T_D (Dead Time) para un sistema de primer orden. Además de obtener los parámetros del modelo de la planta, en la tabla 3-1 se observan los valores que se pueden aplicar en un controlador PID

Model Parameters		Standard PID				
Process Gain, K	-2.09	Conservative PID				
Overall Time Constant, τ	17.4	DMC Tuning				
Dead Time, θ	1.45	Using IMC (Lambda) Correlations	K_c	τ_i	τ_d	α
Sum of Squared Error (SSE)	2776	P-Only	-2.01			
Goodness of Fit (R^2)	0.995	PI	-2.61	17.4		
		PID Ideal (Non-interacting)	-3.52	18.12	0.694	
		PID Interacting	-3.38	17.4	0.723	
		PID Ideal with Filter	-2.72	18.12	0.694	0.569
		PID Interacting with Filter	-2.61	17.4	0.723	0.546
		User Specified Closed Loop Time Constant: 1.74				

Tabla 3-1: Valores de G, T_I , T_D para un sistema de primer orden.

Fuente: Control Station 3.7

3.5.3 Sistema de segundo orden

Los valores de un sistema de segundo orden son considerados los valores más reales, que se ajustan al modelo de la planta bajo estudio (el horno).

Para obtener estos valores se debe cambiar en Select Model a second order, se obtendrá los valores de G, T₁, T_D figura 3-7 para un sistema de segundo orden y se verá que la grafica figura 3-8 de la ecuación que representa la planta se ajusta mucho mejor a los valores obtenidos de la misma.

Model Parameters		Controller Tunings	
Process Gain, K	-2.09	Controller tuning values are not available for this model. The First Order Plus Dead Time (FOPDT) model should be used for controller tuning. The exception is for non-self regulating (also called integrating) processes. These processes do not settle at a new steady state when forced by a step in a manipulated variable. Such processes should be modeled and tuned using the FOPDT with Integrator model.	
First Time Constant, τ_1	17.31		
Second Time Constant, τ_2	0.8646		
Dead Time, θ	0.6397		
Sum of Squared Error (SSE)	2767		
Goodness of Fit (R ²)	0.995		

Second Order Plus Dead Time (Overdamped)

Nomenclature

Time Domain $\tau_{P1} \tau_{P2} \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (\tau_{P1} + \tau_{P2}) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_P u(t - \theta_P)$

Laplace Domain $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_P e^{-\theta_P s}}{(\tau_{P1} s + 1)(\tau_{P2} s + 1)}$

Figura 3-7: Valores de G, T₁, T_D para un sistema de segundo orden

Fuente: Control Station 3.7

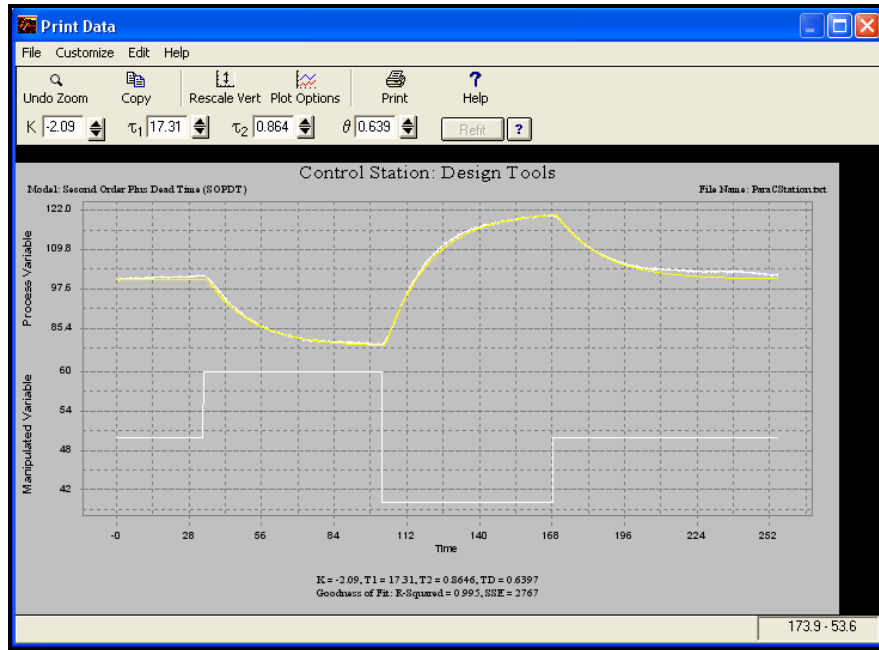


Figura 3-8: Sistema de segundo orden.

Fuente: Control Station 3.7

3.5.4 Obtención de la ecuación de la planta

Como la función de transferencia del sistema en el dominio de Laplace es igual a

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{(\tau_{p1}s + 1)(\tau_{p2}s + 1)}$$

Fuente: Practical process control. p.135

Entonces remplazamos los valores obtenidos de θ , τ y K en la siguiente ecuación

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{(\tau_{p1}s + 1)(\tau_{p2}s + 1)} \quad \text{Ecuación 3 - 4}$$

Fuente: Practical process control p.135

Se obtiene la ecuación 3-5

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-2.09e^{-0.6397s}}{(17.31s+1)(0.8646s+1)} = \frac{-2.09e^{-0.6397s}}{14.97s^2+18.17s+1} \quad \text{Ecuación 3 - 5}$$

Aplicando el teorema del valor final el cual indica.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s * y(s) \quad \text{Ecuación 3-6}$$

Fuente:

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001603/lecciones/cap10/cap10lec4/cap10lec4ded5.htm>

Como

$$U(s) = \frac{1}{s} \quad \text{Ecuación 3 - 7}$$

Fuente: Ingeniería de Control Moderna, Ogata.

La ecuación 3-5 quedaría de la siguiente manera.

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) &= s * Y(s) = s * \frac{-2.09e^{-0.6397*0}}{14.97 * 0 + 18.17 * 0 + 1} * \frac{1}{s} \\ &= \frac{-2.09}{1} = -2.09 \quad \text{Ecuación 3 - 8} \end{aligned}$$

Donde -2.09 es el valor de Y(s).

Para trabajar con la ecuación de la planta en Simulink el valor de $e^{-0.6397s}$ se aproxima mediante la siguiente ecuación.

$$e^{-0.6397s} \approx \frac{1}{\tau s + 1} = \frac{1}{0.6397s + 1} \quad \text{Ecuación 3 - 9}$$

Remplazando la ecuación 3-9 en la ecuación 3-8 se obtiene la ecuación 3-10.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-2.09}{14.97s^2 + 18.17s + 1} * \frac{1}{0.6397s + 1} \quad \text{Ecuación 3 - 10}$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-2.09}{8.98s^3 + 25.87s^2 + 18.77s + 1} \text{ Ecuación 3 – 11}$$

La ecuación 3-2 es la ecuación que representa el comportamiento dinámico de la planta.

3.6 Conclusiones

- No se debe realizar la toma de datos para la obtención del modelo de la planta en días con cambios de temperatura muy variados.
- Si se tiene dudas sobre los datos que servirán para obtener el modelo de la planta con CStation, se debe repetir la prueba aunque tome horas.
- Basados en el horno, se concluye que la elección de un sensor adecuado con poca demora o de buena sensibilidad respecto al sistema (proceso), ayuda en un adecuado funcionamiento del lazo de control PID.

CAPITULO IV

DISEÑO Y SIMULACION DEL CONTROL PI

Introducción

En este capítulo se describirá el control retroalimentado, el control P, el control PI, las técnicas de sintonización de Ziegler-Nichols

4.1 Conceptos Generales

4.1.1 Sistema de Control de Lazo Abierto

Los sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal de control, se denominan sistemas de control de lazo abierto.

En estos sistemas, la salida ni se mide ni se retroalimenta para compararla con la entrada. Por tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fija. Así la precisión del sistema depende de la calibración. En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no cumple su función asignada. En la práctica se puede utilizar solo si la relación entrada-salida es conocida y si no se presentan perturbaciones de ningún tipo.

4.1.2 Sistemas de control de Lazo Cerrado (Feedback)

Con frecuencia se llama así a los sistemas de control retroalimentados. En la práctica se utiliza indistintamente la denominación control retroalimentado o control de lazo cerrado.

La señal de error actuante, que es la diferencia entre la señal de entrada y la de retroalimentación que puede ser la señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas, entra al controlador para reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

El termino lazo cerrado implica siempre el uso de la acción de control retroalimentado para reducir el error del sistema. Los más poderosos algoritmos de control que permite un control más preciso con menos oscilaciones en la medición de la variable de proceso son requeridos por una variedad de aplicaciones de proceso.

Estos algoritmos pueden calcular un completo rango de acciones de control entre totalmente on o totalmente off.

Los más conocidos algoritmos son el Proporcional (P), el Proporcional Integral (PI) y el Proporcional Integral Derivativo (PID).

4.1.3 Control solo “P”

El control P –only es capaz de hacer la medición e igualar el set point cuando el set point está en el valor de diseño.

Cuando el set point no está en el valor de diseño, el offset ocurre en la mayoría de los procesos siendo esta la desventaja principal del control P –only.

El control P –only calcula la señal de salida del controlador usando la ecuación 4-1

$$u(t) = u_{bias} + k_c e(t) \text{ Ecuación 4-1}$$

Fuente Practical process control p.34

Donde:

$u(t)$ es la señal de salida del controlador.

u_{bias} es el controlador de bias necesario para obtener el set point deseado, también llamado valor nulo por algunos fabricantes.

K_c es la ganancia del controlador.

$e(t)$ es el valor de error del sistema ecuación 4-2

$$e(t) = y_{setpoint} - y(t) \text{ Ecuación 4-2}$$

Fuente Practical process control p.34

Donde $y_{setpoint}$ es el punto de referencia y $y(t)$ es el valor en curso de la variable de proceso medida.

4.1.4 Control PI

De la misma manera que el controlador P -only, el controlador (PI) proporcional – integral calcula una señal de salida en el elemento de control final basado en determinar los parámetros y el error del controlador, $e(t)$.

Llamado el controlador ideal, continuo y de precisión, ecuación 4-3

$$u(t) = u_{bias} + k_c e(t) + \frac{k_c}{\tau_I} \int e(t) dt \text{ Ecuación 4 – 3}$$

Fuente Practical process control p.63

El termino integral τ_I provee un distinto valor al termino integral, tiene unidades de tiempo siempre positivas, y es comúnmente referido al tiempo de reset, porque τ_I esta en el denominador, pequeños valores de tiempo de reset proveen unos valores grandes al incrementarse la influencia del término integral.

Como con el controlador P -only, el término proporcional del controlador PI, K_C , $e(t)$, añade o resta del ubias basado en cuán lejos es la medida de la variable de proceso con respecto del set point en todos los instantes de tiempo.

La contribución de $u(t)$ en el termino proporcional es basado en el tamaño de $e(t)$ en el tiempo.

$E(t)$ crece o disminuye y la cantidad de u_{bias} crece o disminuye inmediatamente y proporcionalmente.

4.1.5 Las características de los controladores P, I, y D

Un controlador proporcional (K_p) tendrá el efecto de reducir el tiempo de crecimiento y reducirá (pero no elimina) el *error de estado estable*.

Un control integrativo (K_i) tendrá el efecto de eliminar el error de estado estable, pero sin embargo podría empeorar la respuesta transitoria.

Un control derivativo (K_d) tendrá el efecto de aumentar la estabilidad del sistema al disminuir el sobre pico, mejorando la respuesta transitoria.

Los efectos de cada uno de los controladores K_p , K_d , y K_i en un sistema de lazo cerrado están resumidos en la tabla 4-1.

Controlador	T. Crecimiento	Sobre pico	T. Establecimiento	Error Estado Estable
K_p	Disminuye	Aumenta	Poco cambio	Disminuye
K_i	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
K_d	Poco cambio	Disminuye	Disminuye	Poco cambio

Tabla 4-1: Características de los controladores PID.

4.2 Reglas Ziegler-Nichols para controladores PID

Si se puede obtener un modelo matemático de una planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones en estado transitorio y en estado estable del sistema en lazo cerrado.

Sin embargo si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un enfoque analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, debemos recurrir a los enfoques experimentales para la sintonización de los controladores PID.

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de desempeño se conoce como sintonización del controlador. Ziegler-Nichols sugirieron más reglas para sintonizar los controladores PID (lo cual significa establecer K_p , T_i y T_d) con base en las respuestas escalón experimentales o basadas en el valor de K_p que se produce en la estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional.

Las reglas de Ziegler-Nichols son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas.

Ziegler-Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica.

Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta.

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.

En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón figura 4-1.

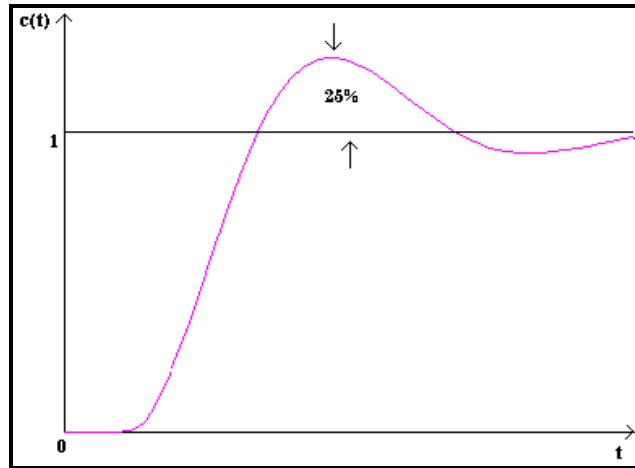


Figura 4-1: Sobrepasso máximo en la respuesta al escalón.

Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

4.2.1 Primer método

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura 4-2.

Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente. Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T .

El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t)=K$.

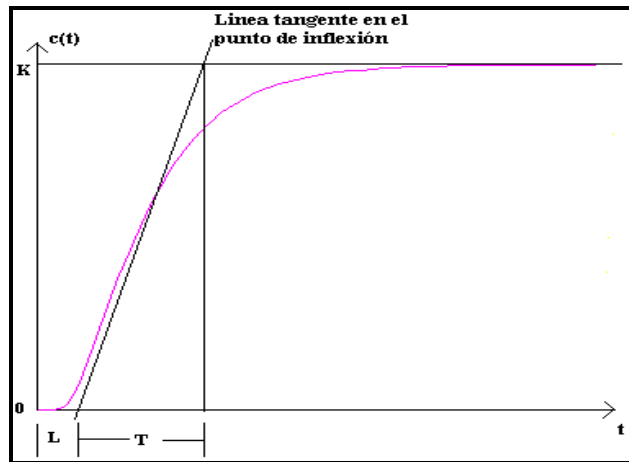


Figura 4-2: Tiempo de retardo.

Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{T_s + 1} \quad \text{Ecuación 4 - 4}$$

Ziegler-Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo con la tabla 4-2.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

Tabla 4-2: Tabla de valores de K_p , T_i y T_d Primer método.

Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

Observe que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce.

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \text{ Ecuación 4 - 5}$$

$$G(s) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) = 0.6 \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \text{ Ecuación 4 - 6}$$

Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en $s = -1/L$.

4.2.2 Segundo método

En el segundo método, primero establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$.

Usando sólo la acción de control proporcional, se incrementa K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas.

Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método.

Por tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente.

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d ver tabla 4-3.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Tabla 4-3: Valores de K_p , T_i y T_d Segundo método.

Fuente: <http://www.angelfire.com/electronic/jagp/sem7/pidcont1.html>

Se debe observar que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \text{ Ecuación 4 - 7}$$

$$G(s) = 0.6K \left(1 + \frac{1}{0.5P_s} + 0.125Ps \right) = 0.075KP \frac{\left(s + \frac{4}{P} \right)^2}{s} \text{ Ecuación 4 - 8}$$

Por lo tanto, el controlador PID tiene un polo en el origen y cero doble en $s = -4/P_{cr}$.

4.3 Simulación en MatLab

Para realizar la simulación en MatLab se realizan los pasos descritos a continuación

4.3.1 Creación del modelo

Desde la ventana 'Simulink Library Browser', dar clic sobre el botón 'Create a new model' (página en blanco). Automáticamente se abrirá una ventana en blanco que será la ventana de diseño para nuestro modelo.

4.3.2 Introducción de bloques en el modelo

Los elementos se introducen haciendo un arrastre con el ratón desde la ventana que contiene el listado de todos los bloques hacia la ventana de diseño. En este caso se requerirá los siguientes bloques:

Dentro de la categoría '**Sources**', el bloque '**Step**'. Este elemento corresponde con una señal Dirac.

Dentro de la categoría '**Math Operations**' el bloque '**Gain**'. Este elemento representara la Ganancia del sistema.

Dentro de la categoría '**Continuous**' el bloque '**Transfer Fun**'. Este elemento representara la función de transferencia del sistema.

Dentro de la categoría '**Math Operations**' el bloque '**Sum**'. Este elemento representara la suma de la entrada con la salida del sistema.

Dentro de la categoría '**Signal Routing**' el bloque '**Mux**'. Este elemento nos permitirá ver la señal de entrada Dirac con respecto a la Salida del sistema en el bloque Scope.

Dentro de la categoría '**Sinks**', el bloque '**Scope**'. Será el que se utilizara para visualizar la señal.

Una vez introducidos los elementos necesarios, el modelo puede quedar como el de la figura 4-3.

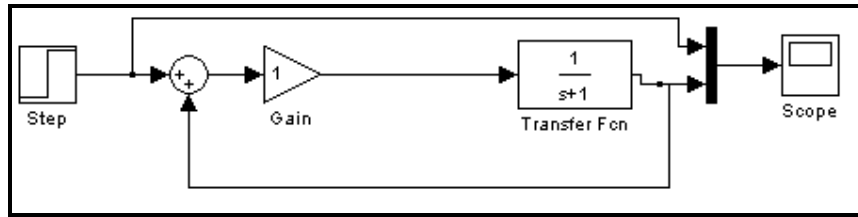


Figura 4-3: Modelo en Simulink

Fuente: MATLAB R2008a

4.3.3 Determinar los polos del sistema

Por medio de la ecuación 3-2 que representa la planta, que se transcribe a continuación.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{-2.09}{8.98s^3 + 25.87s^2 + 18.77s + 1} \quad \text{Ecuación 3 - 2}$$

Se identifican los polos (valores que hacen cero al denominador) del sistema usando la función roots de MatLAB ver figura 4-4.

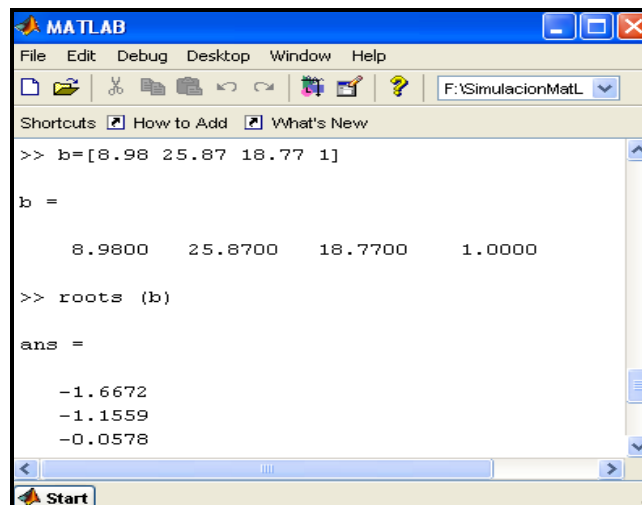


Figura 4-4: Función roots en matlab.

Fuente: MATLAB R2008a

Se tienen 3 polos.

$P1 = -1.667$

$P2 = -1.155$

$P3 = -0.057$

Para Graficar la ecuación de la planta y sus valores de ganancia se realiza lo siguiente ver figura 4-5.

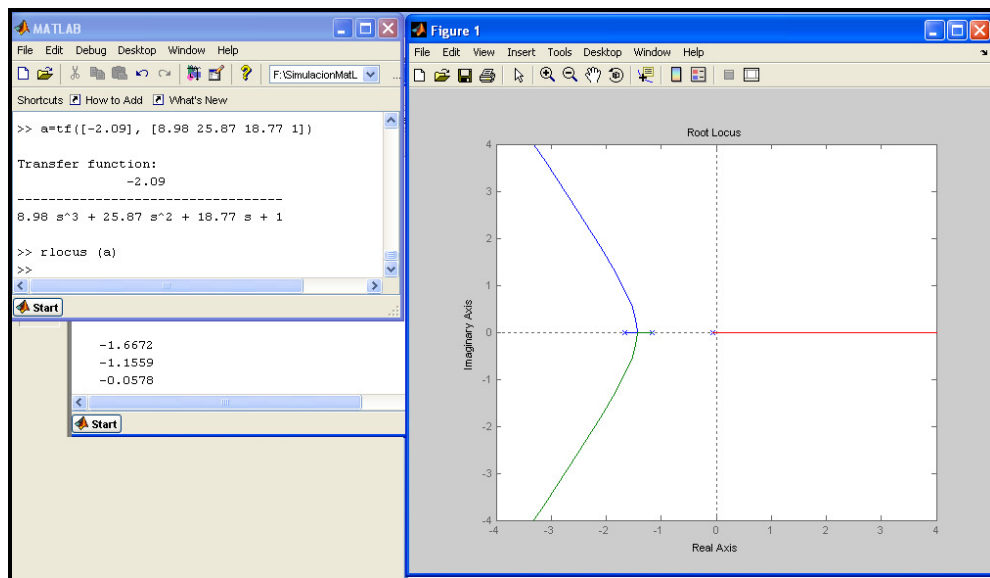


Figura 4-5: Grafica de la planta por medio de la función rlocus.

Fuente: MATLAB R2008a

Para ver los polos dar un clic sobre los puntos marcados en la grafica, además se puede observar los valores de ganancia que puede tener el sistema ver figura 4-6.

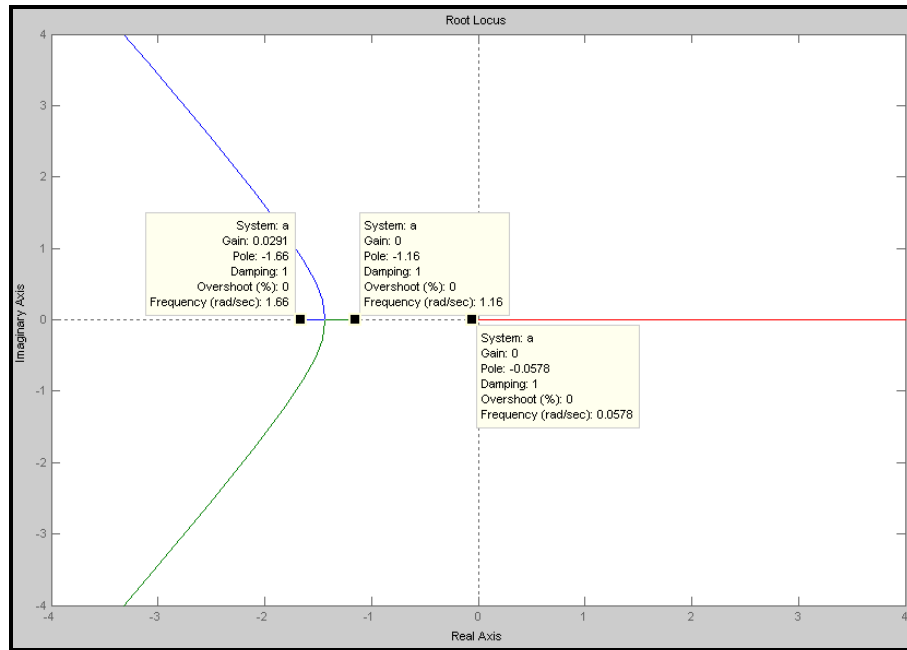


Figura 4-6: Polos de la función y valores de ganancia del sistema.

Fuente: MATLAB R2008a

4.3.4 Modelo de la planta en Simulink

A continuación se procede a probar la ecuación obtenida a través de Control Station.

En la figura 4-7 se muestra que la señal de ingreso para obtener los parámetros de la planta, no es un simple escalón o step, sino que es una especie de escalones compuestos alrededor de un set point deseado (102 en este caso), esta forma de onda se elige por que entrega mayor información del comportamiento del horno.

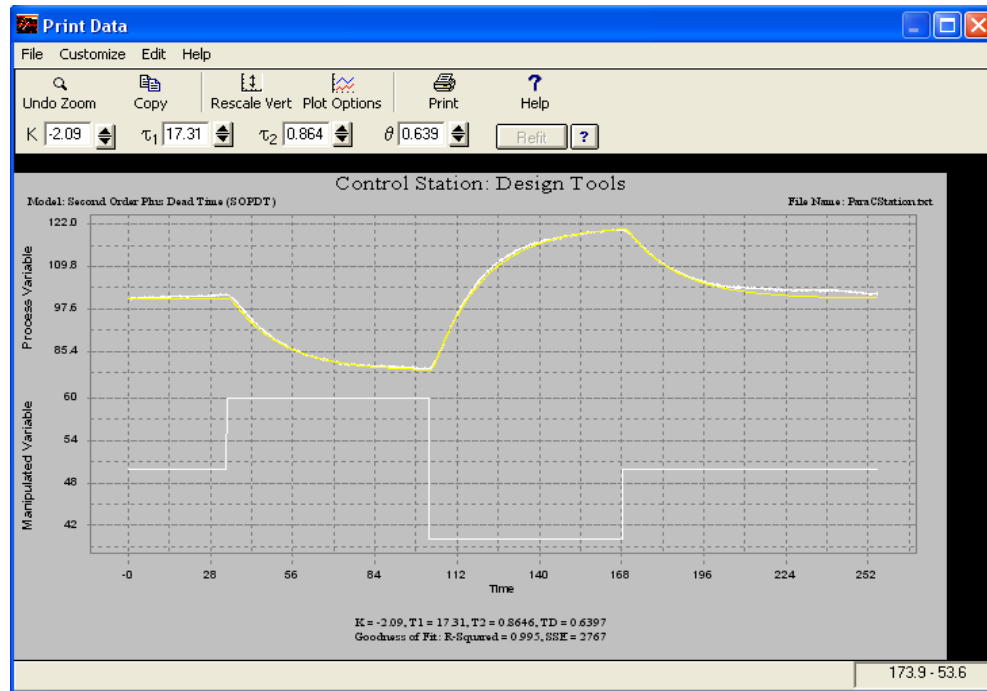


Figura 4-7: Datos de la planta graficados por medio de Cstation.

Fuente: Control Station 3.7

En la figura 4-8 se muestra el diagrama de bloques que se ingresa en un archivo Simulink para probar la ecuación obtenida con Control Station

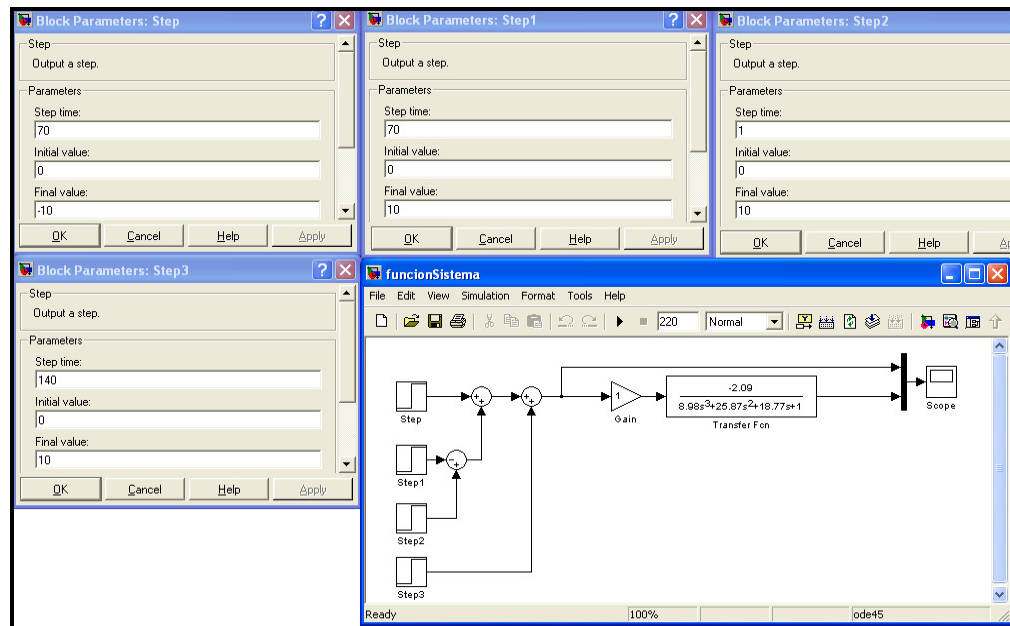


Figura 4-8: Diagrama de bloques con diferentes valores de Step.

Fuente: MATLAB R2008a

En la figura 4-9 se muestra el comportamiento simulado de la planta, lo cual indica que es muy similar al obtenido mediante Control Station.

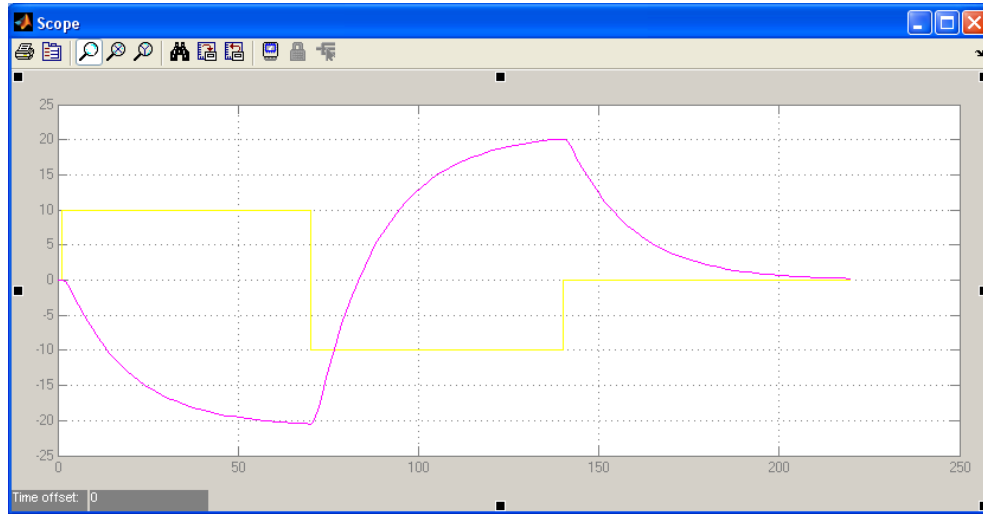


Figura 4-9: Resultado del Scope a diferentes valores de Step.

Fuente: MATLAB R2008a

Matlab tiene como punto inicial cero al realizar la respuesta al impulso por lo que se ve como punto inicial cero mientras que los datos tomados de nuestra planta se pueden apreciar como punto inicial 102° figura 4-7, pero el comportamiento de la planta es el mismo que el mostrado por medio de simulink, Este resultado coincide con los valores tomados de la planta y mostrados por medio del programa Cstation

4.3.5 Diseño y Simulación del Control P

Para simular una acción **Solo Proporcional** agregamos Ubias con un valor de 50 como se indica en el diagrama de bloques de la figura 4-10 y figura 4-11.

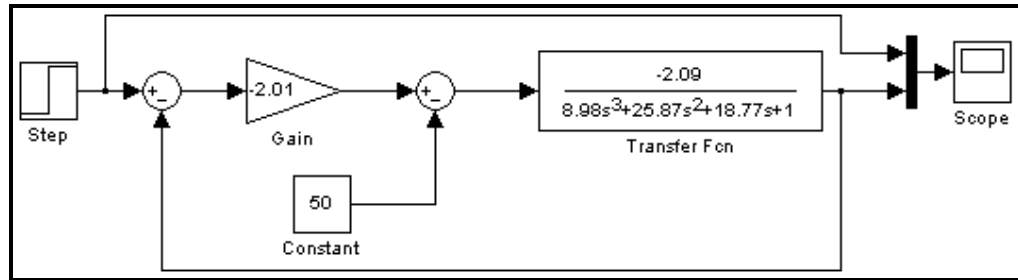


Figura 4-10: Diagrama de bloques con Ubias de 50.

Fuente: MATLAB R2008a

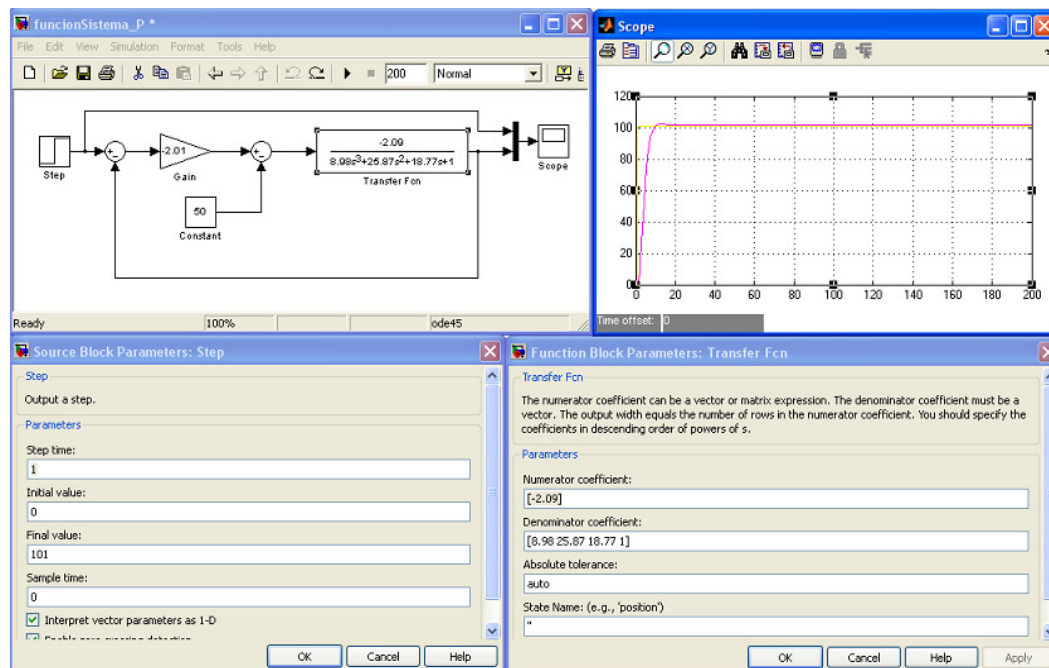


Figura 4-11: Parámetros y valores remplazados de la ecuación de la planta.

Fuente: MATLAB R2008a

4.3.6 Diseño y Simulación del Control PI

Para simular una **acción PI** obtenemos la función del controlador al tener los valores de C station figura 4-12 para un modelo de primer orden.

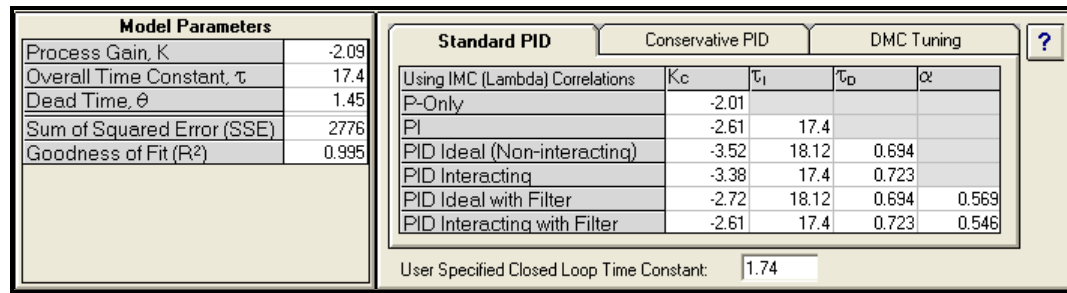


Figura 4-12: Standar PID.

Fuente: Control Station 3.7

Se remplace los valores de τ_i (integral) en la siguiente ecuación

Ecuación del controlador:

$$\frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \quad \text{Ecuación 4 - 9}$$

Los valores de K_c , T_i de la figura 4-12 se ingresa en el diagrama de bloques figura 4-13 el cual representa al sistema con control PI.

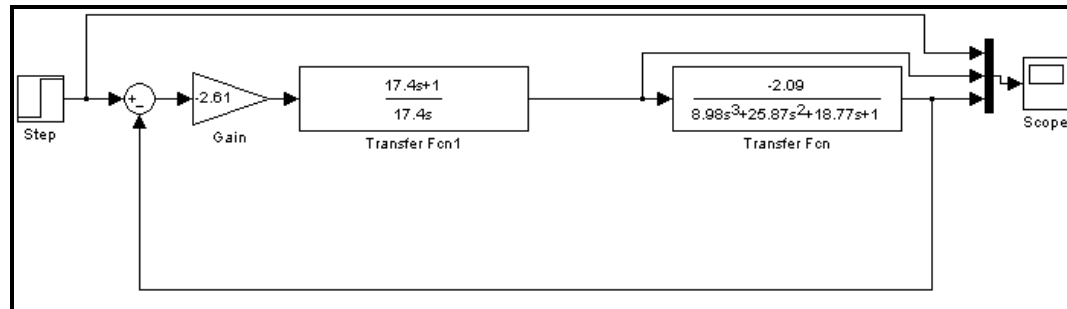


Figura 4-13: Diagrama de bloques de la planta y el controlador.

Fuente: MATLAB R2008a

Por último se muestra el resultado del Scope a un valor Dirac de 102 figura 4-14 , el cual muestra parte inferior la respuesta del controlador y en la parte superior el valor de salida del sistema el cual se estabiliza en 102.

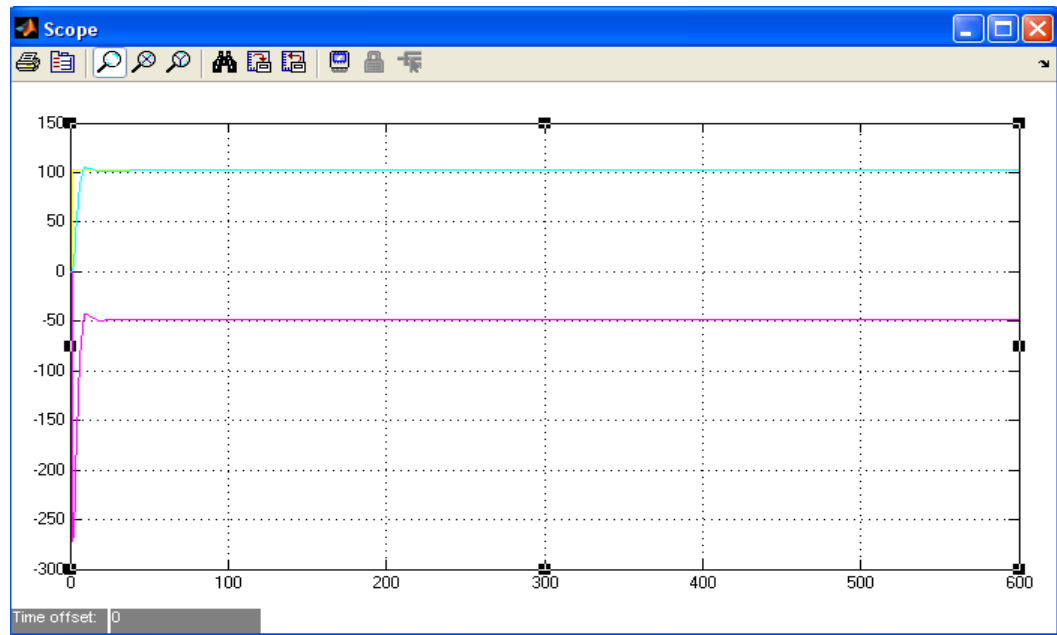


Figura 4-14: Controlador y salida del sistema.

Fuente: MATLAB R2008a

Para cualquier valor de Set Point la salida del sistema se comporta de forma semejante figuras 4-15 a 4-16, la respuesta del sistema llega a tomar el valor del set point, la salida del controlador mostrado en la parte inferior de la figuras 4-17, siempre va a ser de 50 ya que solo depende del valor de la ecuación 4-9.

$$\frac{\tau_I s + 1}{\tau_I s} \text{ Ecuación 4 - 9}$$

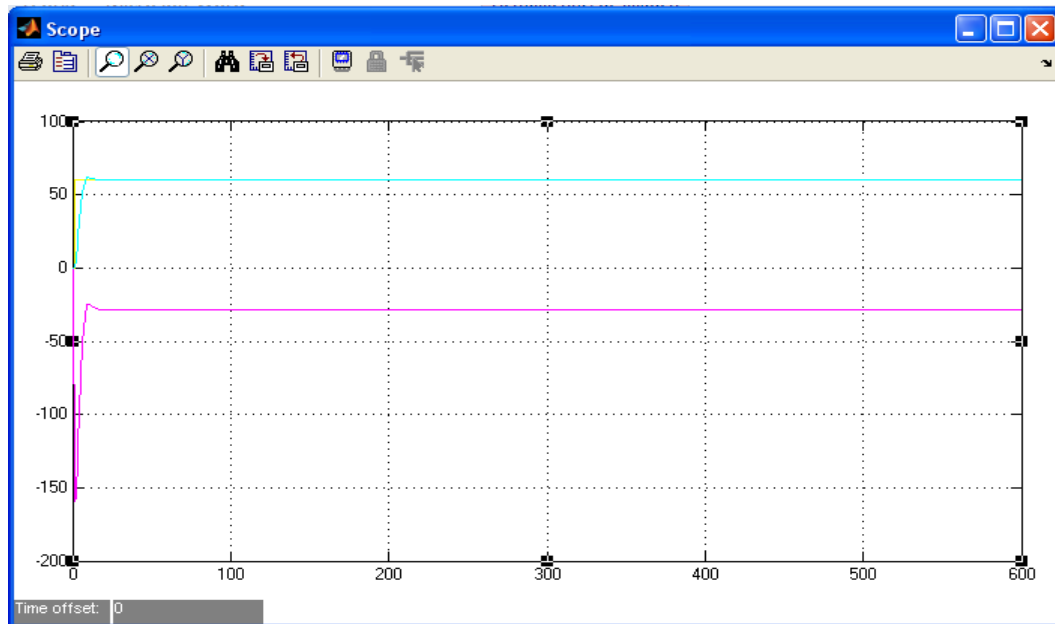


Figura 4-15: Simulación a un valor de Set Point de 60.

Fuente: MATLAB R2008a

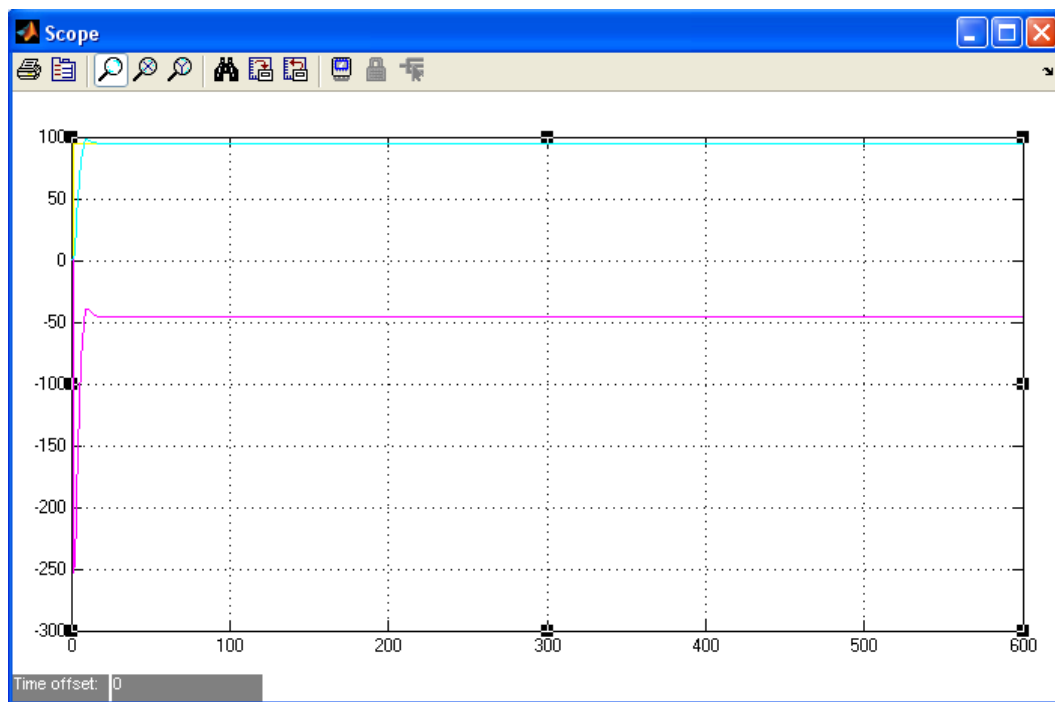


Figura 4-16: Simulación a un valor de Set Point de 95.

Fuente: MATLAB R2008a

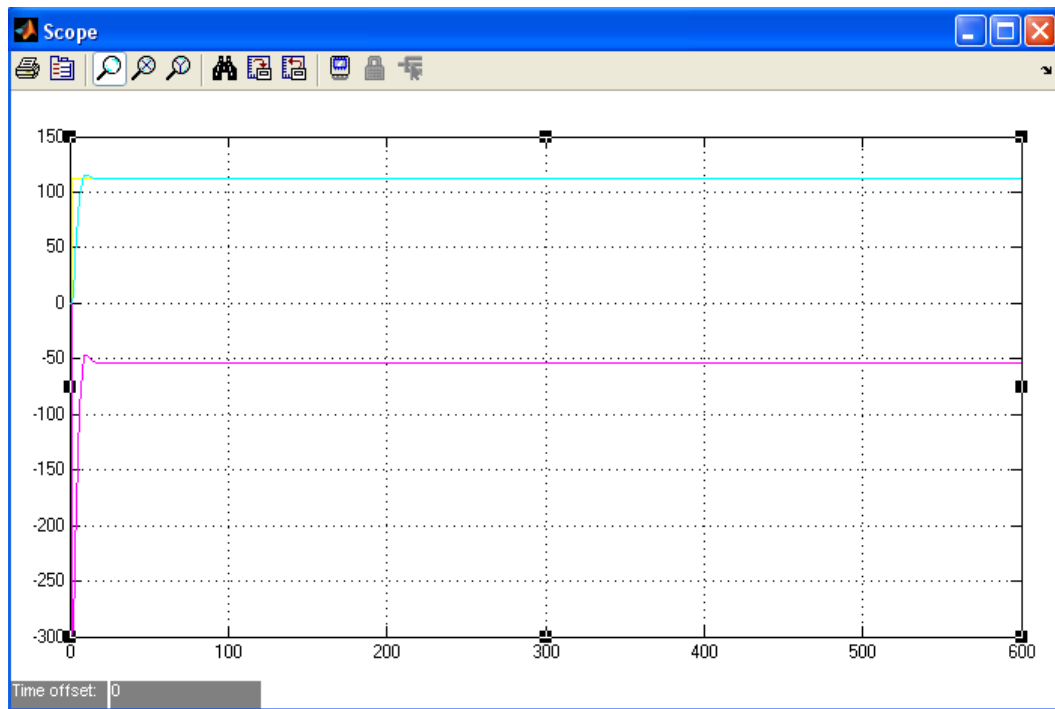


Figura 4-17: Simulación a un valor de Set Point de 112.

Fuente: MATLAB R2008a

4.4 Conclusiones

Aunque las técnicas de Ziegler-Nichols son adecuadas para la mayoría de sistemas o plantas, estas técnicas no fueron adecuadas para la obtención del modelo del horno, por lo que se utilizó Control Station para la obtención del modelo del horno.

La simulación en Matlab (simulink) del modelo del horno obtenido mediante Control Station tiene un comportamiento similar al obtenido mediante experimentación.

CAPITULO V

ADQUISICION DE SEÑALES Y CONTROL DEL HORNO (MAQUETA) POR MEDIO DEL MÓDULO USB6009

Introducción

Una vez obtenido los valores de K_p , K_d , y K_i estos se implementan en la planta, para este efecto es necesario realizar una serie de Vi en Labview 8.5 para controlar la planta por medio del modulo USB6009 los cuales son descritos en el presente capitulo.

5.1 Control por medio de Labview 8.5

Para realizar el control por medio de Labview 8.5 se realizaron los siguientes pasos:

5.1.1 Realizar un VI para el control P (Proporcional)

Se realiza un VI figura 5-1 y figura 5-2 para realizar el control solo P (Proporcional) y se aplicaron los valores de ganancia, tiempo integral, tiempo derivativo, tiempo muerto obtenidos por medio del programa C Station (para observar más claramente el diagrama de bloques de este VI, observar anexo 10).

Parte inferior se ve la salida del controlador (Control output).

Parte superior se ve en línea continua el valor deseado (set point) y la variable de proceso que llega a los valores de set point seleccionados.

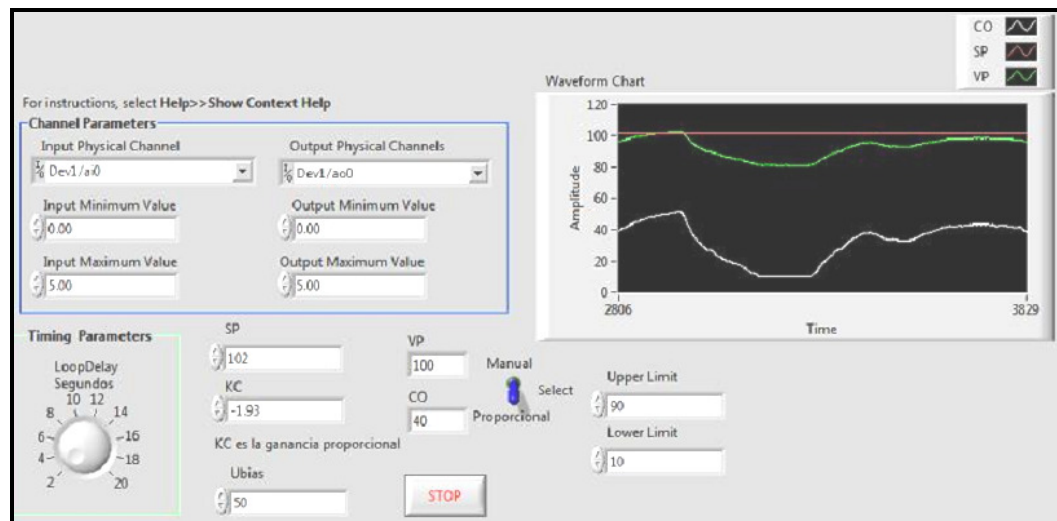


Figura 5-1: Comportamiento de controlador P Only Front Panel.

Fuente: Labview 8.5

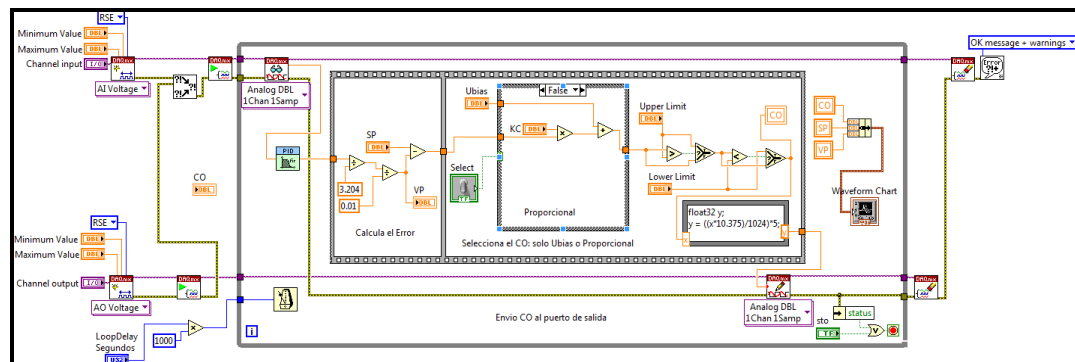


Figura 5-2: Comportamiento Block Diagram P Only.

Fuente: Labview 8.5

Al comprobar el funcionamiento correcto del Vi se realiza cambios para una mejor presentación figura 5-3.

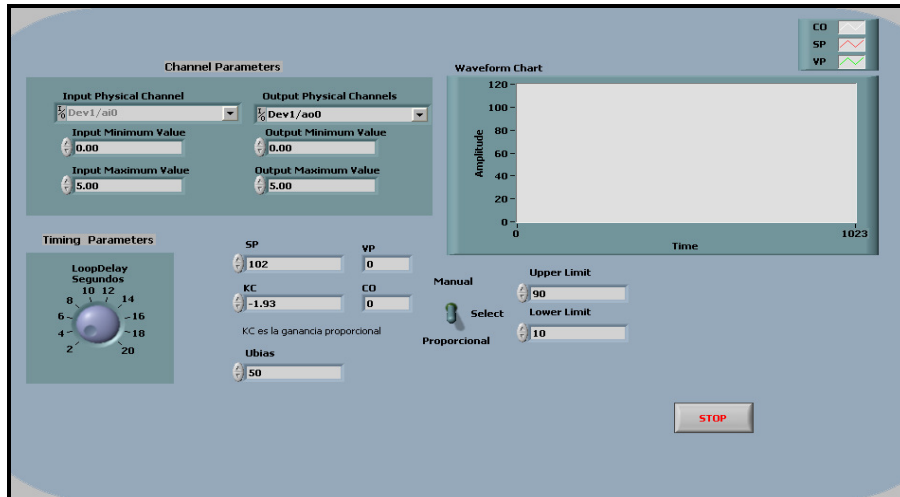


Figura 5-3 Panel frontal final P-Only.

Fuente: Labview 8.5

5.1.2 Realizar un VI para el control PI (Proporcional Integral)

Una vez comprobado el funcionamiento correcto del controlador P Only, se realiza un nuevo VI para el control PI figura 5-4 y figura 5-5 (en el anexo 11 se encuentra el diagrama de bloques ampliado de este VI).

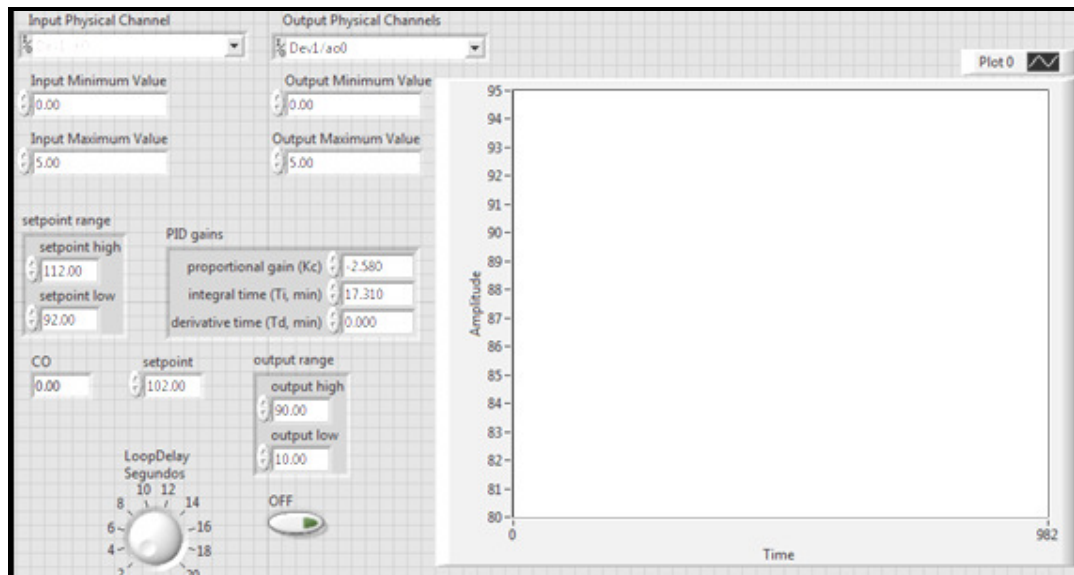
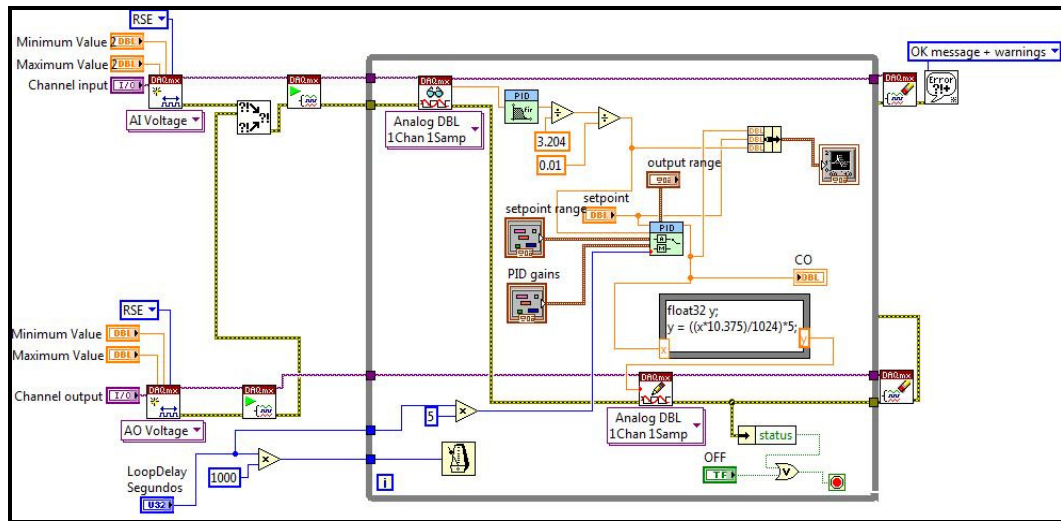


Figura 5-4: Final Front Panel PID.

Fuente: Labview 8.5

**Figura 5-5: Block Diagram PID.**

Fuente: Labview 8.5

5.1.3 Comprobar el funcionamiento

Para ver el funcionamiento del control PID se prueba diferentes valores de set point en el Vi de la figura 5-4.

En las figuras 5-6, 5-7, 5-8, 5-9 se puede observar el comportamiento del controlador PID. En la parte inferior de estas figuras se muestra la salida del controlador (Control output), en la parte superior de las mismas se muestra en línea continua el valor deseado (set point) y la variable de proceso que en un principio sobrepasa el set point y luego se estabiliza en el valor deseado de set point.

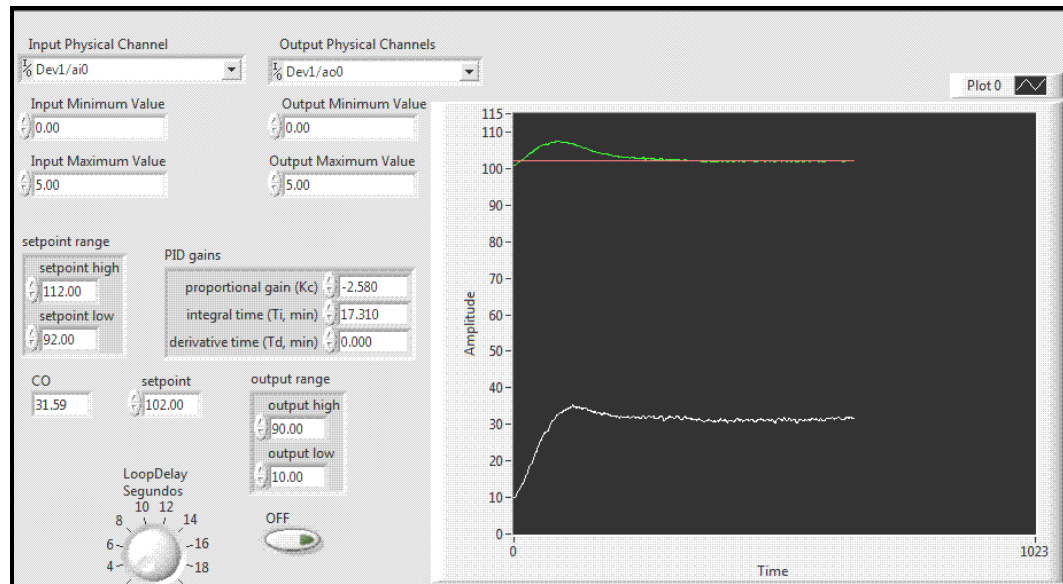


Figura 5-6: PID con set point de 102.

Fuente: Labview 8.5

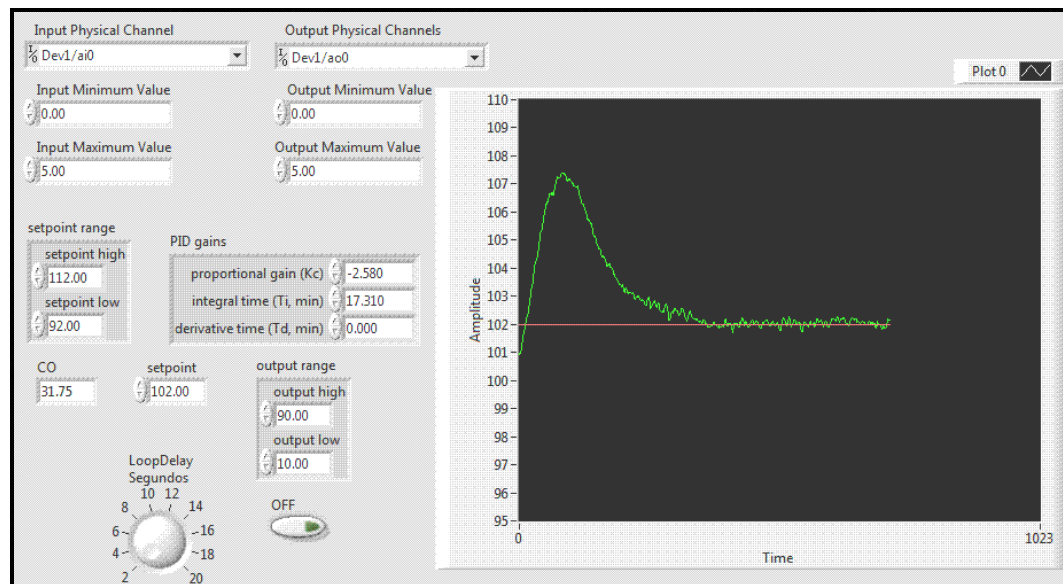


Figura 5-7: Zoom PID con set point de 102.

Fuente: Labview 8.5

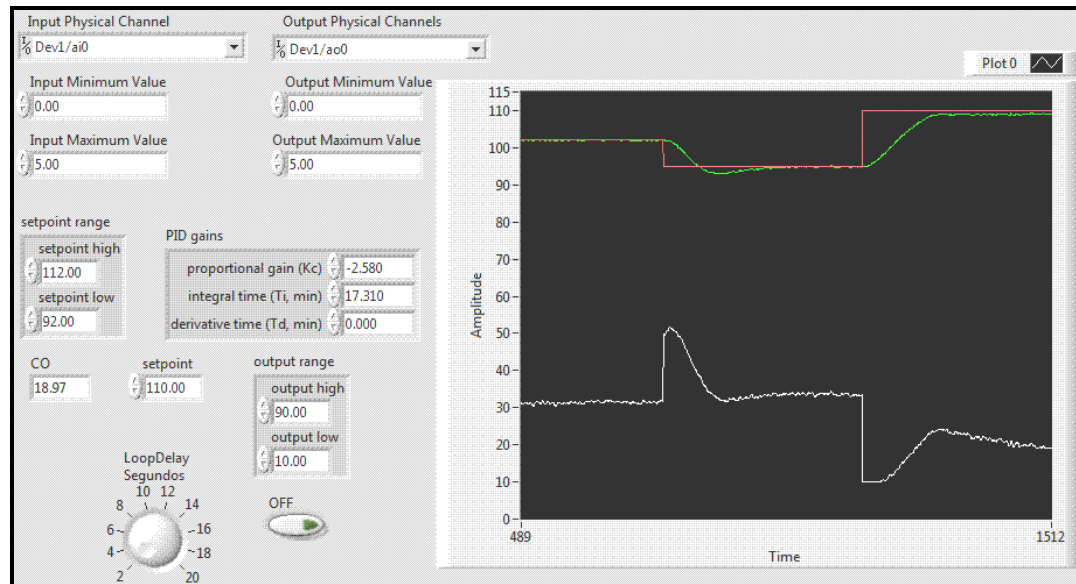


Figura 5-8: PID con set points de 95 y 110.

Fuente: Labview 8.5

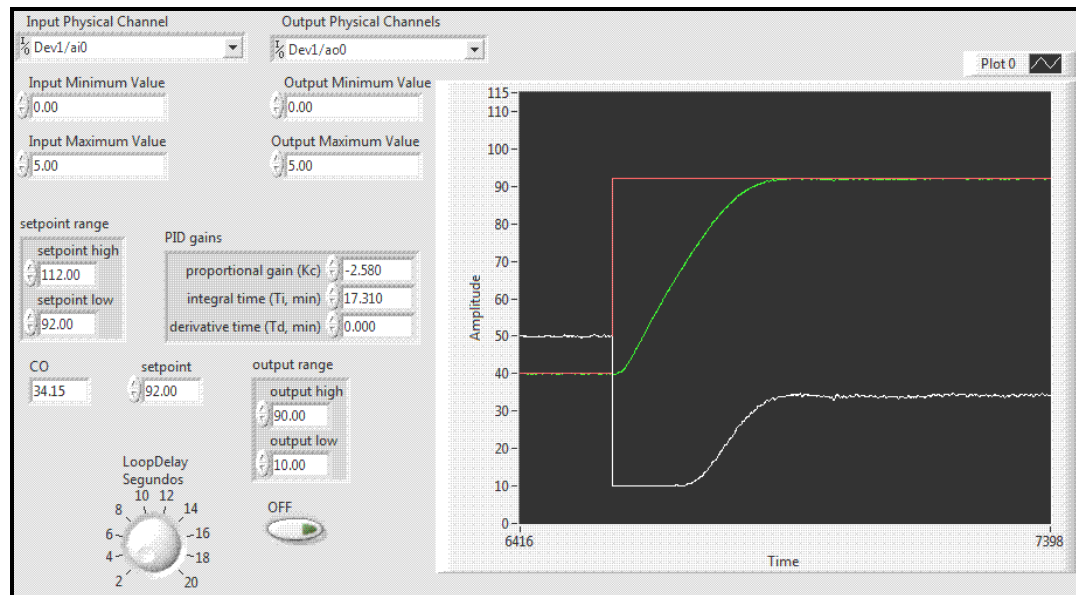


Figura 5-9: PID con set point de 92.

Fuente: Labview 8.5

5.1.4 Prueba de funcionamiento con perturbaciones

Se realizó mediciones del comportamiento del controlador y su respuesta a perturbaciones (puerta del horno abierta en lazos de tiempos relativamente cortos) figura 5-10.

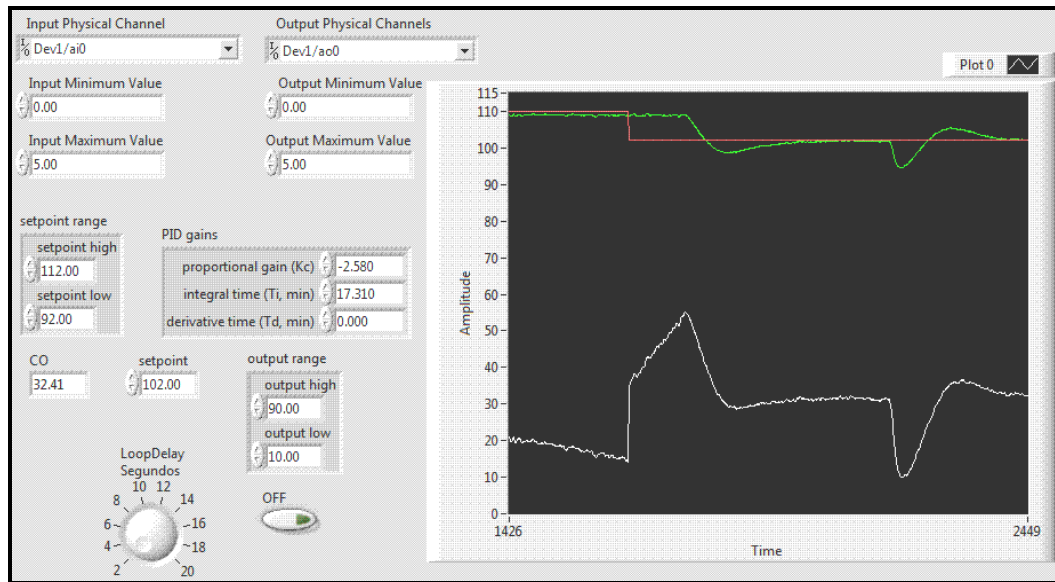


Figura 5-10: Comportamiento del Control de Salida a las Perturbaciones.

Fuente: Labview 8.5

5.2 Conclusiones

- El Toolkit PID facilita el diseño del lazo de control al contener VI's ya probados y con la explicación necesaria de cómo usarlos.
- Se utilizara PID advanced al permitir un mayor control sobre el lazo PI.

CONCLUSIONES

- La elección del control del ángulo de disparo por fase se debe a que su costo es mucho menor que un control por DC, ya que esto implica rectificar la señal utilizando transistores de potencia los cuales son mucho más costosos que el control por triac.
- El circuito de control de la niquelina es un Dimmer (básicamente), aunque la mayoría de las aplicaciones de este circuito es para el control de luminiscencia de focos, en este trabajo se demuestra que es útil para el control de la niquelina, además puede servir para el control de velocidad de un motor universal.
- Proteus es un excelente software para simular circuitos electrónicos, hay que tener en cuenta que mientras se unan más componentes analógicos con digitales se vuelve menos probable la simulación del circuito.
- El modulo USB6009 no es adecuado para procesos rápidos como el control de un motor, pero si es adecuado para procesos lentos como en el caso del horno.
- El software C Station permite familiarizarse con el mundo del control automático sin costo alguno, sin grandes conocimientos de cálculo.
- El uso de herramientas que nos permitan un rápido desarrollo de un control PID para una planta significa un ahorro económico y de tiempo.
- Control Station permite obtener el modelo de una planta de una manera sencilla mediante experimentación con la misma.
- Labview con sus toolkits y VI's nos permiten un rápido desarrollo del control PI

BIBLIOGRAFIA

BALL, Stuart. Analog Interfacing to Embedded Microprocessors Real World Design. 1ra Ed. USA. Newness. 2001. p.8, 41,47-59

BOYLESTAD, R. Electrónica: Teoría de circuitos. 6ta Ed. México. Prentice Hall. 1997. p. 864 – 897.

COOPER, Douglas. Practical Process Control Using Control Station 3.7. 1ra Ed. USA-Connecticut. Control Station LLC, 2004. p. 17-27.

COUGHLIN, Robert y DRISCOLL, Frederick. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. 5ta Ed. México. Prentice Hall, 1998. p. 86-119.

IBRAHIM, Dogan. Advanced PIC Microcontroller Projects in C. 1ra Ed. USA. Newness. 2008. p.119-167

LABVIEW, TM. PID Control Toolkit User Manual, 1ra Ed. USA-Texas. National Instruments. 2007. p. 1.1 – 1.2. p. 3.1 - 3.23.

MATLAB®. The Language of Technical Computing. 7ma Ed. USA- Massachusetts The Math Works, 2004. p. 1.2 – 1.44

NATIONAL Instruments. NI USB-6008/6009 User Guide and Specifications. 1ra Ed. USA-Texas. National Instruments. 2007. p. 1-25

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. 3ra Ed. México. Prentice Hall, 1998. p. 1-11, p. 13-55.

SMITH, Carl y CORRIPIO, Armando. Principles and Practice of Automatic Process Control. 2da Ed. USA-New York. John Wiley & Sons, 2002. p. 38-60.

SMITH, Carl. Automated Continuous Process Control. 1ra Ed. USA-New York. John Wiley & Sons, 2002. p. 1-60.

Referencias Electrónicas

ATMEL Corporation. Datasheet ATmega16, ATmega16L. 2007
http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf

ATMEL Corporation. Zero Cross Detector. 2003
http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2508.pdf

BURROUGHS, Jon. X-10® Home Automation Using the PIC16F877A. 2002
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00236a.pdf>

CURTIS, Keith. Dimming AC Incandescent Lamps Using A PIC10F200. 2005
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/91094A.pdf>

HAUGEN, Finn. Control System Toolbox for MATLAB. 2003
http://techteach.no/publications/control_system_toolbox/

HAUGEN, Finn. Master Simulink
<http://techteach.no/publications/simulink/home.htm>

HERRERA, Leandro. Dinámica y Control de Procesos Control de Sistemas Complejos http://www.ing.uchile.cl/~iq57a/3_1retardos/3_1_Retardos.pdf

HP Info Tech. CodeVisionAVR V2.04.4 User Manual
http://www.hpinfotech.ro/html/cvavr_doc.htm

KILPATRICK, Andrew. Interfacing: AC Line.
http://www.andrewkilpatrick.org/blog/?page_id=445

NATIONAL Instruments. Improving PID Controller Performance
ftp://ftp.ni.com/pub/devzone/pdf/tut_7438.pdf

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: CÓDIGO DEL MICROPROCESADOR ATMEGA16

/******

This program was produced with

CodeVisionAVR V2.03.8a Evaluation

© Copyright 1998-2008 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.

<http://www.hpinfotech.com>

Project: DISEÑO Y SIMULACION DE UN CONTROL DE TEMPERATURA

DE UN HORNO A TRVÉS DEL MÓDULO USB6009

Versión: 0.1

Date : 02/03/2009

Comments: Diseñado por Juan Ayabaca

José Morocho

Chip type : ATmega16

Program type : Application

Clock frequency : 8,000000 MHz

Memory model : Small

External RAM size : 0

Data Stack size : 256

*****/

#include <mega16.h>

#include <delay.h>

```

// Alphanumeric LCD Module functions

#asm
    .equ __lcd_port=0x15 ;PORTC
#endasm
#include <lcd.h>

// *****

// Definición de variables globales

#define triac_out PORTD.4
unsigned int max_value=1024;
unsigned int on_time;
unsigned int off_time;

// *****

// Función encargada de mostrar los tiempos 'on' y
// 'off' en ms del angulo de disparo en el LCD
// a: columna, c:fila

// *****

void show_number(char a,char c,unsigned int temp) //
{
    //
    unsigned char number[5];
    //
    char b;
    //
    for(b=0;b<5;b++)
        //
        {
            //
            number[b]=temp%10;
            //
            temp/=10;
            //
            _lcd_ready();
            //
            lcd_gotoxy(a+1-b,c);
            //
            lcd_putchar(number[b]|0x30);
            //
        }
    //
}

```

```
// *****

// Función que atiende la interrupción externa 0

// *****

interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
    triac_out = 0;      // Desactivo Triac
    TCNT1H=0x00;        // Limpio el timer1
    TCNT1L=0x00;
    TCNT0=0x00;

    // Prendo e inicializo el timer CLOCK = 8Mhz/8=1MHz
    TCCR1B= TCCR1B|0x02;
} // Fin de 'ext_int0_isr'

// *****

// Timer 1 output compare A interrupt service routine
// Se produce una secuencia de pulsos para asegurar
// la activación del triac, realizado esto se
// desactiva el timmer, hasta la proxima
// interrupción externa.

// *****

interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr (void)
{
    // Place your code here
    unsigned char i;
    // Secuencia de pulsos
    for(i=1; i<=11; i++){
        triac_out = 1;
        delay_us(20);
        triac_out = 0;
        delay_us(20);
    }
}
```

```

    }

// Apago timer1
    TCCR1B= TCCR1B&0xfd;
} // Fin de 'timer1_compa_isr'

// *****

// Regresa el resultado de la conversión AD, la
// conversión se configuro para 10 bits que es la
// máxima resolución del conversor del micro

// *****

#define ADC_VREF_TYPE 0x40
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
    ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
    delay_us(10);
// Start the AD conversion
    ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSRA & 0x10)==0);
    ADCSRA|=0x10;
    return ADCW;
} // Fin de 'read_adc'

// *****

// Función principal donde se configura
// los periféricos del microcontrolador

// *****

```

```
void main(void)
{
// O=In; 1:Out
// Input/Output Ports initialization
// Port A initialization
    PORTA=0x00;
    DDRA=0x00;

// Port B initialization
    PORTB=0x00;
    DDRB=0x00;

// Port C initialization
    PORTC=0x00;
    DDRC=0x00;

// Port D initialization
    PORTD=0x00;
    DDRD=0x10;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: 1000,000 kHz
// Mode: CTC top=OCR1A, hay una interrupción cuando
// el valor del timmer alcanza el valor de OCR1A
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceled: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer 1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
```

```

TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00; //Selecciono el timer en modo normal top=0xFFFF, el timmer
está apagado
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

```

```
// External Interrupt(s) initialization
```

```
// INT0: On
```

```
// INT0 Edge mode: Rising Edge
```

```
// INT1: Off
```

```
// INT2: Off
```

```
GICR|=0x40;
```

```
MCUCR=0x03; // Rising Edge
```

```
// MCUCR=0x02; // Falling Edge
```

```
MCUCSR=0x00;
```

```
GIFR=0x40;
```

```
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
```

```
TIMSK=0x10; // habilito la interrupción por comparación de A, timer 1
```

```
// ADC initialization
```

```
// ADC Clock frequency: 62,500 kHz
```

```
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
```

```
// ADC Auto Trigger Source: Free Running
```

```
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
```

```
ADCSRA=0xA4;
```

```
SFIOR&=0x1F;
```

```

// Inicialización de OCR1B y OCR1A
OCR1A = 1100;

// LCD module initialization
lcd_init(16); //16 representa el numero de columnas
lcd_gotoxy(0,0); // Se posiciona en la primera fila y columna
lcd_putsf("off:  on:");

// Global enable interrupts
#asm("sei")
while (1)
{
// Lee el valor que se encuentra en el pin0 del "puerto A"
// que será el valor que se envíe al registro OCR1A
on_time=read_adc(0); // Valor enviado del Modulo USB6009
// on_time=read_adc(1); // Valor del Potenciómetro de prueba
// max_value (1024)
if(on_time>=max_value){
on_time=max_value*8;
}
else
{
on_time=on_time*8;
}
off_time=(max_value*8)-on_time;
// El valor 1100 se debe al hecho de que la detección del cruce
// por cero se lo conoce antes de que el mismo se produzca
// este valor produce una demora de 1.1ms, Ver las imágenes
// capturadas con el osciloscopio, y el modo de funcionamiento
// del integrado H11AA1
OCR1A=1100+on_time;

// Envío los valores de on_time y off_time al LCD
show_number(3,1,on_time);

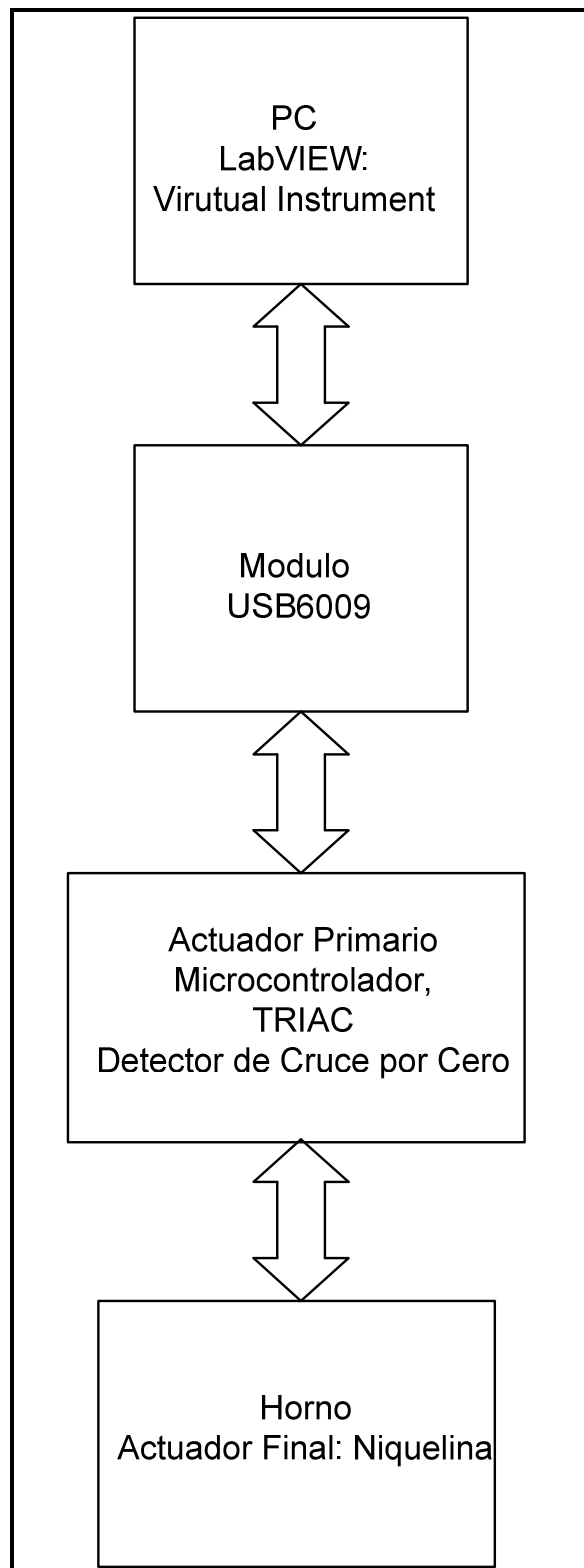
```

```
show_number(10,1,off_time);  
delay_ms(10);  
};  
}
```

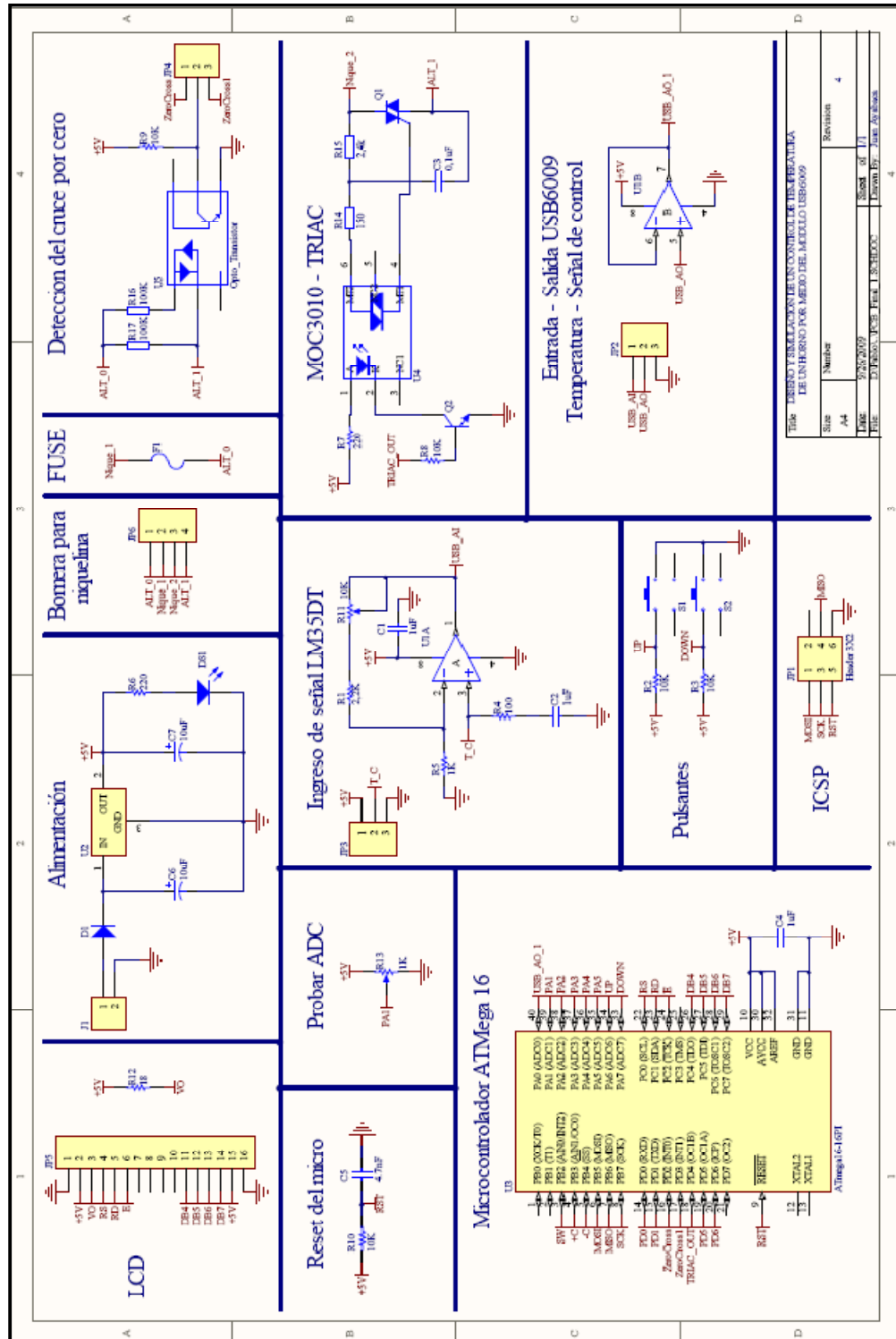
/* Nota1: El hecho de usar un compilador en este caso 'C' facilita enormemente la programación de cualquier micro controlador, esto no implica que no se tenga que revisar el datasheet puesto que hay que ver que facilidades nos presta cada micro controlador, por ejemplo ATmega16 es un micro diseñado para ser usado con un compilador C*/

/* Nota2: De igual manera aunque el compilador facilita la programación el mismo no le ayuda a razonar o analizar qué función o grupo de funciones son las más adecuadas para un problema determinado/

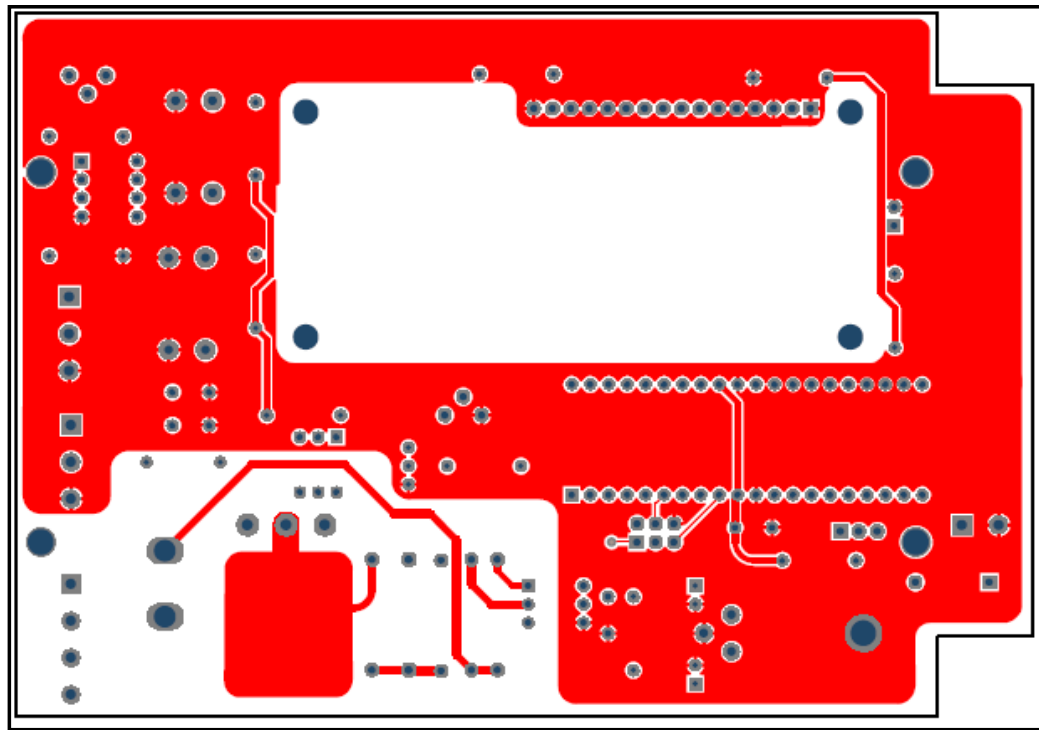
ANEXO 2: DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TESIS



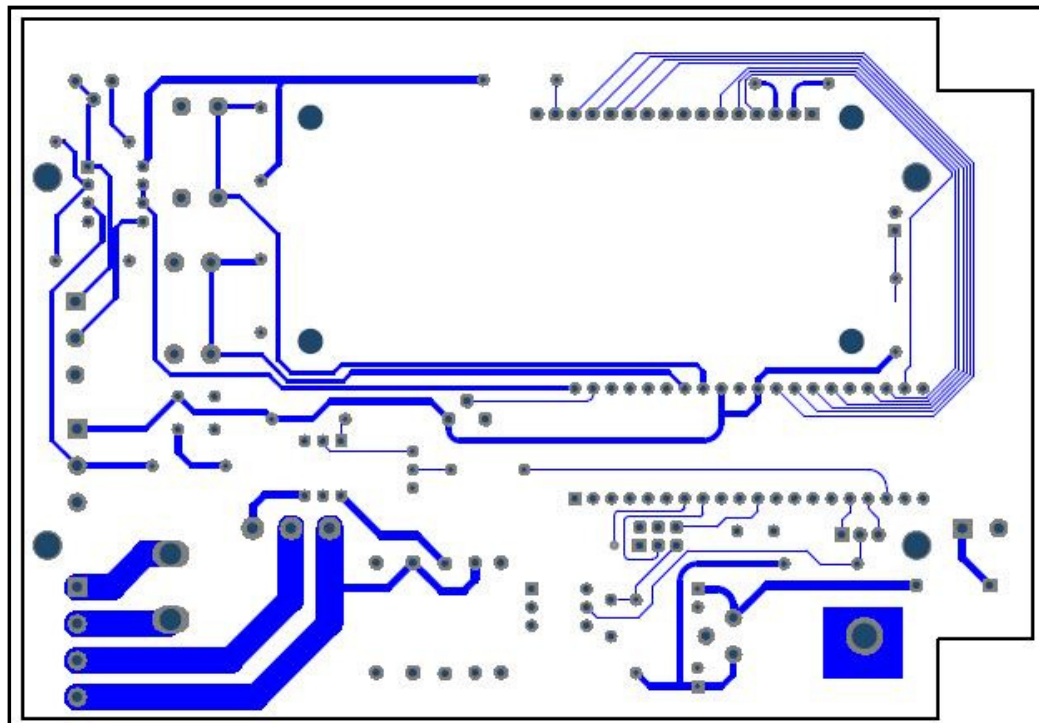
ANEXO 3: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL CONTROLADOR



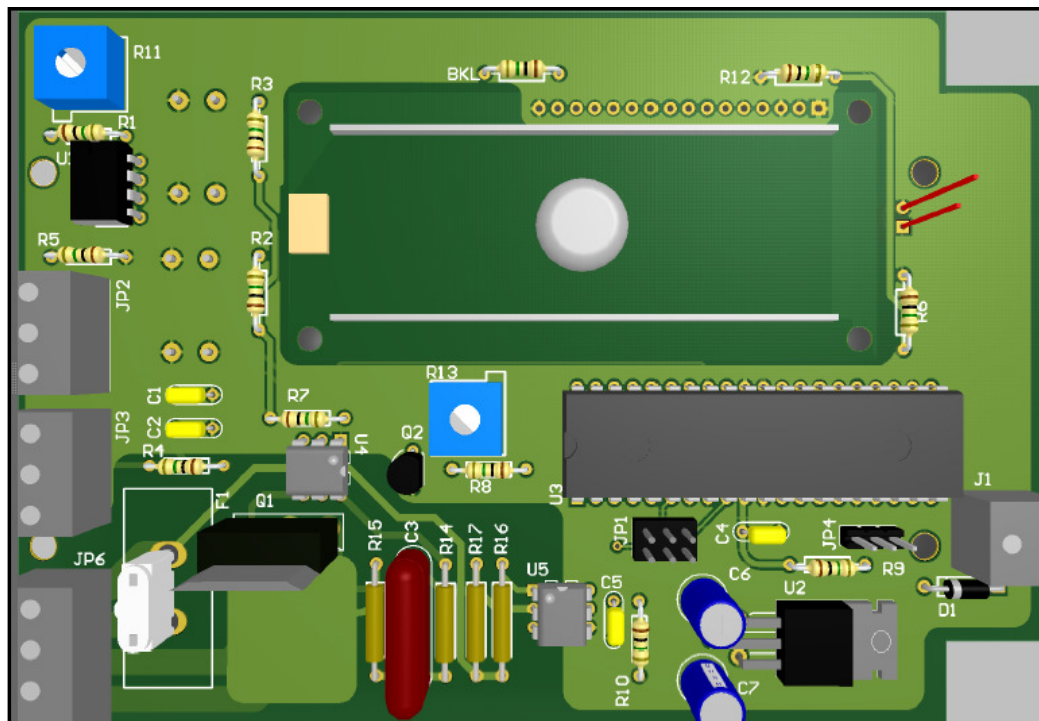
ANEXO 4: PCB TOP LAYER



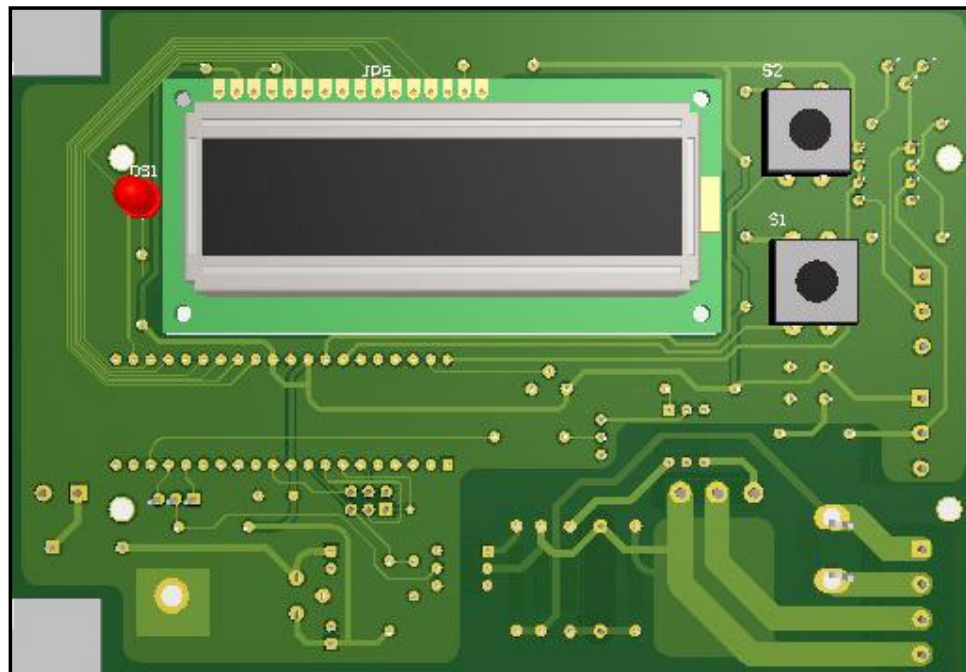
ANEXO 5: PCB BOTTOM LAYER



ANEXO 6: 3D PCB TOP LAYER



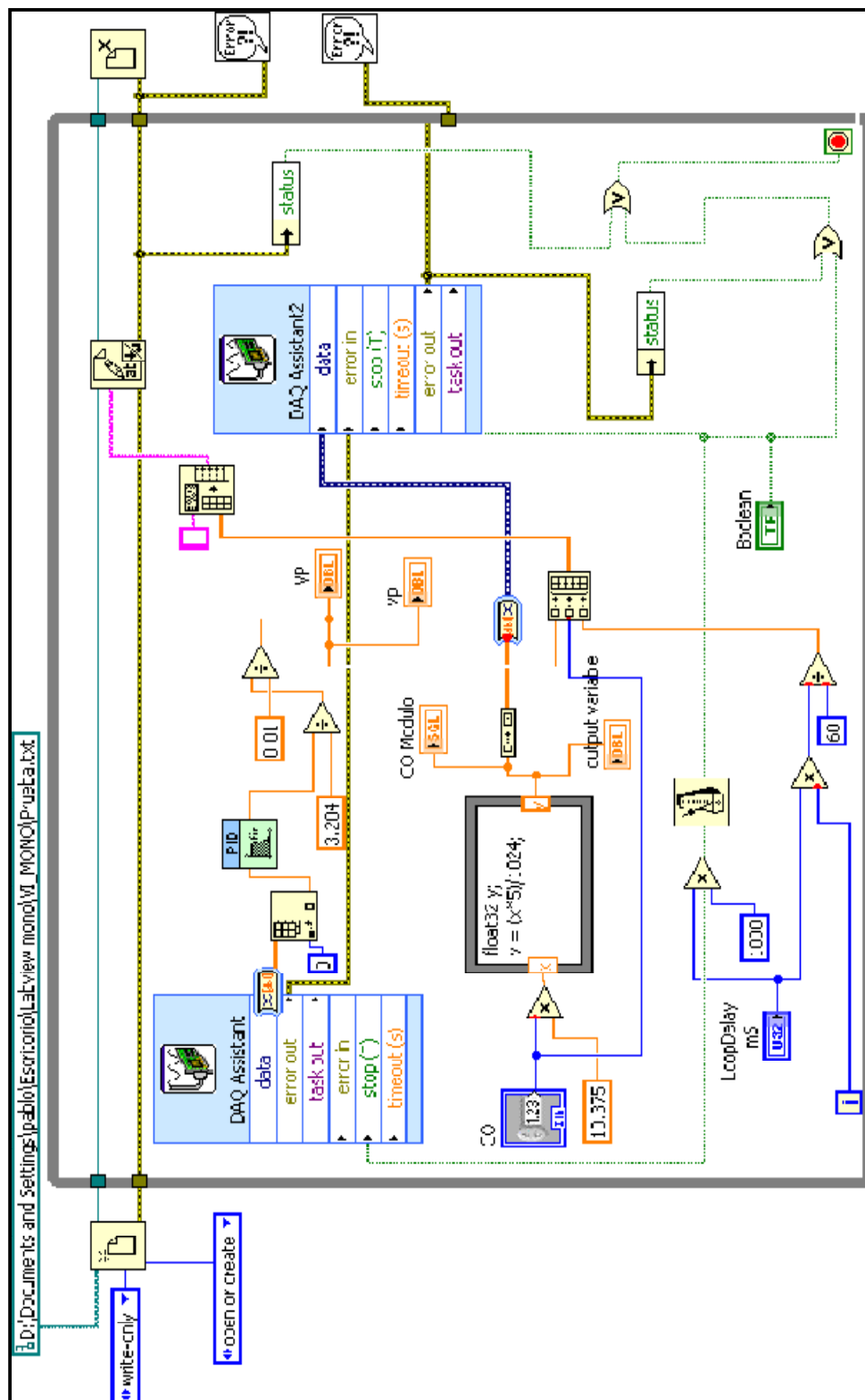
ANEXO 7: 3D PCB BOTTOM LAYER



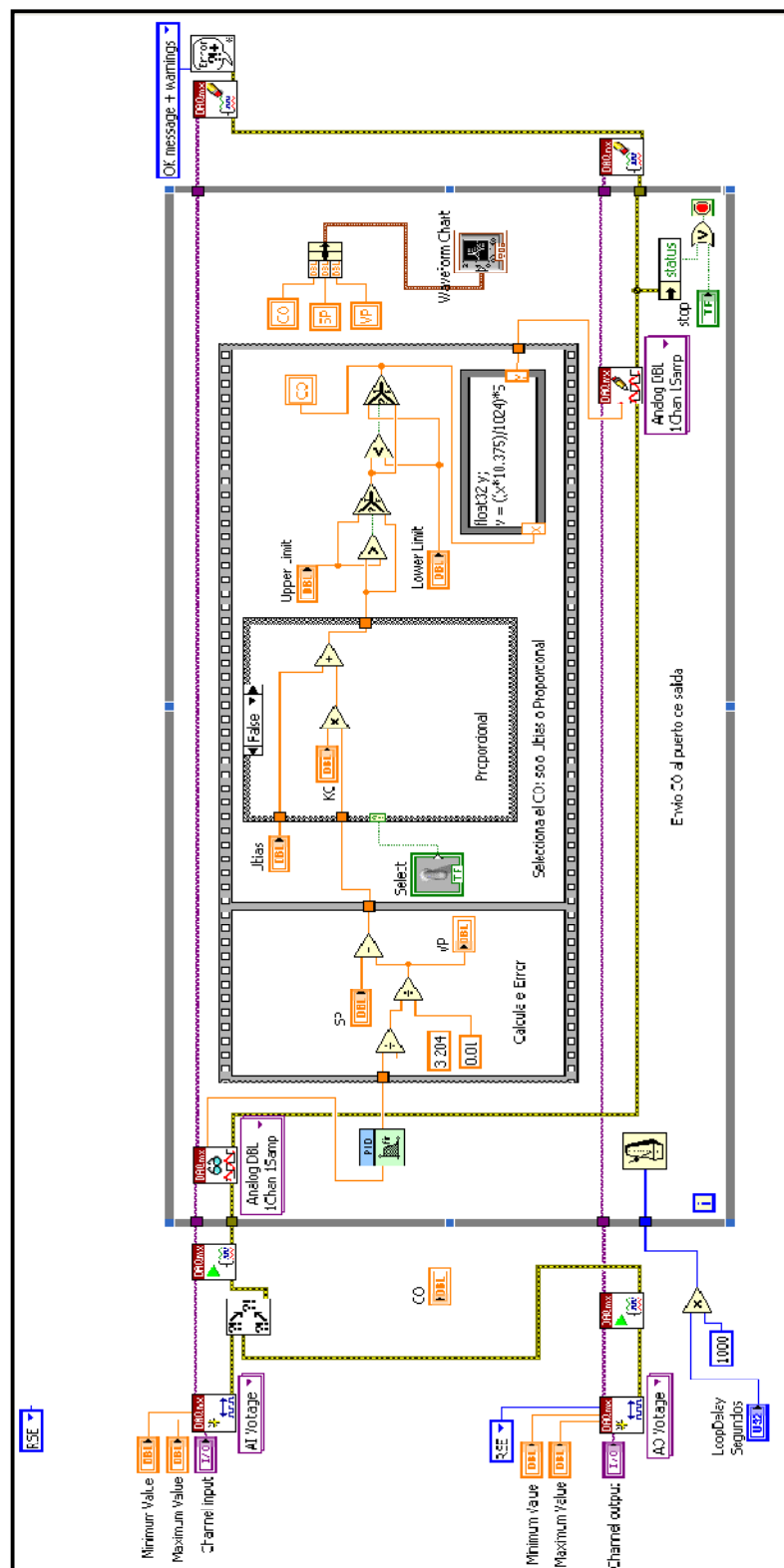
ANEXO 8: LISTA DE COMPONENTES DEL CONTROLADOR PRIMARIO

Lista de Componentes				
Project: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO POR MEDIO DEL MÓDULO USB 6009				
#	LibRef	Description	Footprint	Quantity
1	Res1	Resistor	AXIAL-0.4	12
2	Cap	Capacitor	RAD-0.2	4
3	Cap	Capacitor	RAD-0.6	1
4	Cap Pol2	Polarized Capacitor (Axial)	C100UF	2
5	Diode 1N4007	1 Amp General Purpose Rectifier	DIODE-0.4A	1
6	LED0	Typical GaAs LED	LED2	1
7	Fuse 2	Fuse	FUSE9	1
8	Header 2 - Bornera	Header, 2-Pin	BOR_2	1
9	Header 3X2	Header, 3-Pin, Dual row	IDC-6	1
10	Header 3 - Bornera	Header, 3-Pin	BOR_3	2
11	Header 3	Header, 3-Pin	SIP-3	1
12	MHDR1X16	Header, 16-Pin	LCD16X2SC	1
13	Header 4 - Bornera	Header, 4-Pin	BOR_4	1
14	Triac - BTA41	Silicon Bidirectional Triode Thyristor	TRIAC_1	1
15	2N3904	NPN General Purpose Amplifier	TO-92C	1
16	RPot	Potentiometer	VR-4	2
17	Res2	Resistor	AXIAL-0.6	4
18	SW_PB		PULSA1	2
19	MCP6022-I/P	Rail-to-Rail Input/Output, 10 MHz Operational Amplifier, 8-Pin PDIP, Industrial Temperature	DIP-8	1
20	L7805AB-V	Precision 1A Regulator	7805-2	1
21	ATmega16-16PI	8-Bit AVR Microcontroller with 16K Bytes of In-System Programmable Flash Memory	DIP-40	1
22	Optoiso_Triac	MOC3010	DIP-6	1
23	Opto_Transistor	H11AA1	DIP-6	1
				44

ANEXO 9: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT PARA LA ADQUISICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL HORNO



**ANEXO 10: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT
CONTROL P**



ANEXO 11: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VIRTUAL INSTRUMENT
CONTROL PI

