 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DIDÁCTICA DE TEMPERATURA

JANNY MICHAEL URIBE RIOS

JAIME ALBERTO ACEVEDO BUILES

TECNOLOGIA ELECTRONICA – TECNOLOGIA ELECTROMECHANICA

Director. GUILLMERMOM.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Octubre de 2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En este proyecto se desarrolló una planta de control de temperatura didáctica que permita la realización de prácticas de regulación de esta variable para los estudiantes de los programas de Tecnología e Ingeniería Electrónica del ITM, especialmente en las asignaturas de control básico, control digital, PLC y control aplicado.

La metodología que se implementó consistió en el diseño e implementación de la estructura física para un proceso de temperatura, el diseño e implementación del algoritmo de automatización y control, la implementación de un sistema de adquisición de datos con “Labview”, la identificación de la planta, la determinación de los parámetros de sintonización PI, la simulación en “Matlab” del control propuesto, el desarrollo de pruebas reales en la planta de control y finalmente se realiza un análisis de los resultados.

Como resultado del desarrollo de este proyecto se obtiene planta didáctica de control de temperatura para el laboratorio de PLC de la sede Fraternidad del ITM donde los estudiantes e investigadores podrán realizar diferentes experimentos de control. El sistema de refrigeración implementado ofrece retos a los estudiantes para implementar controles óptimos y efectivos. La planta comprende un software de control en PLC, el software para adquisición de datos y una estructura segura para lograr hacer las prácticas requeridas por los estudiantes y los profesores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Dios por permitirnos día a día seguir luchando, a nuestras familias por el apoyo que nos brindan para la realización de nuestros proyectos de vida.

Al encargado del laboratorio de PLC de la sede Fraternidad del ITM Rubén Fonnegra el cual facilito la realización de las diferentes pruebas.

Al encargado del laboratorio de refrigeración de la institución Pascual Bravo Sebastián Martínez el cual facilito la realización de las diferentes pruebas.

Agradecemos al docente Juan Guillermo Mejía Arango quien estuvo como asesor de proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

FEM Fuerza Electro-Motriz

ANSI American National Standards Institute.

RTD Resistance Temperature Detector.

NTC Negative Temperature Coefficient.

PTC Positive Temperature Coefficient.

PLC Programmable Logic Controller.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	43
REFERENCIAS	46
APÉNDICE.....	47

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de una planta de temperatura didáctica para el Instituto Tecnológico Metropolitano sede Fraternidad donde no se cuenta con una modelo para realizar prácticas de intercambio de temperatura, la planta cuenta con dos etapas, una etapa de diseño estructural y una etapa diseño de software integrando así tecnologías como PLC y técnicas de refrigeración. Una de las ventajas logradas es que los estudiantes no se tendrán que desplazar a otras sedes o universidades para realizar sus prácticas.

Al realizar el montaje de la planta se quiere resaltar la importancia de la integración de diferentes materias como lo son la termodinámica, el control y PLC, se podrá ver de forma real su aplicación en los procesos industriales.

En el ITM se requiere estructurar una solución definitiva a la falta de herramientas para el control de la temperatura dentro de los laboratorios de la sede Fraternidad, que permita el logro de las competencias de control y automatización que requieren los estudiantes.

Objetivo General

Implementar y diseñar un módulo didáctico de control de temperatura por medio de un PLC para uso en el laboratorio en las asignaturas de automatización del programa de Electrónica.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar la planta de temperatura.
- Diseñar e implementar el algoritmo de control por medio de PLC.
- Obtener la función de transferencia de la planta.
- Verificar el funcionamiento de la planta implementando una técnica de sintonización y control PID propuesta en la literatura.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Organización Tesis

En el capítulo del marco teórico, se describieron cuales son y su definición de algunos elementos que fueron utilizados en el proceso de implementación de la planta de temperatura.

En la metodología se describe a grandes rasgos el proceso de implementación de la planta de temperatura, se describe como fue el orden de desarrollo de la misma y su resultado de forma resumida.

En resultados y discusión se describe detalladamente como fue el proceso de implementación de la planta de temperatura, tanto el desarrollo de la estructura o hardware y del programa de control o software.

En conclusiones, recomendación y trabajo futuro, se describe todo lo que el usuario de la planta debe tener en cuenta en el momento de su uso, e informa a grandes rasgos el comportamiento de la planta, resultados probables y como hacer un usos adecuado y seguro de la misma.

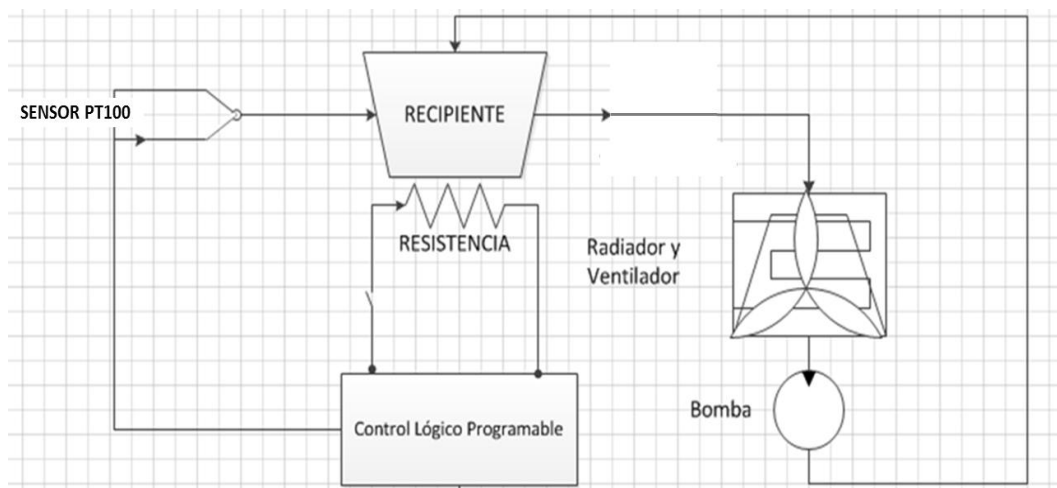
En apéndice se encuentran ilustradas las gráficas del paso a paso de programa desarrollado en TIA portal, para un mejor entendimiento, para que el usuario.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Un sistema de control de temperatura se compone de: sensores, el transmisor, el controlador, el elemento final de control y la planta a controlar.

A continuación se presenta el esquema implementado para la planta de temperatura que ayudará al desarrollo y ejecución de este proyecto.



Gráfica 1 Diseño de la planta (elaboración propia)

El proceso consiste en que un líquido en el interior del recipiente, se somete a un calentamiento por medio de una resistencia eléctrica, la pt100 conectada a un PLC (controlador); sensa la temperatura del líquido en todo momento. De acuerdo a la diferencia entre la temperatura medida y la deseada el controlador da una señal modulada en el tiempo para activar y desactivar la resistencia eléctrica. Para garantizar que la planta cuente con un gasto de energía, se implementó un sistema de enfriamiento y de circulación de líquido que se deposita en el recipiente.

Una motobomba conduce el líquido caliente desde el recipiente a través de un radiador que tiene contacto externo con el aire impulsado por un ventilador y luego lo regresa nuevamente al recipiente, pero con una temperatura más baja.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1 Sensores de temperatura

Son dispositivos que captan temperatura y los cambios de la misma, los transforman en señales eléctricas que son procesadas por un equipo eléctrico o electrónico.

Para definir los sensores de temperatura se debe saber que el movimiento de partículas produce un calentamiento y este tiene un consumo de energía, a esto se le llama temperatura y tiene diferentes sistemas de medidas que puede ser en grados, Fahrenheit o Centígrados, para medir esta temperatura existen para varios sensores como lo son los termistores, los termopares entre otros.

2.2.1.1 Termopares



Gráfica 2 Termopar (National instruments, 2012)

Los termopares están compuestos por dos zonas una zona caliente y una zona fría entre estas dos zonas hay un efecto llamado termoeléctrico donde hay una transformación de calor en electricidad. El uso del termopar por su construcción es muy industrial ya que puede medir temperaturas hasta los 1600 °C. Los termopares de revestimiento de oro-platino, tungsteno-renio entre otros, pueden medir temperaturas más elevadas.

Existen unas tablas y unos tipos de termopares que se clasifican según las letras en mayúsculas que aparecen en la de tabla American National Standards Institute (ANSI), como ejemplo tenemos una de las más usadas la Tipo K y Tipo J.

2.2.1.2 RTD



Gráfica 3 Sensor RTD (National instruments, 2012)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El principio de las RTDs es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura también llamados termo resistencias. La mayor parte de los RTD son construidos en materiales como el platino, cobre, molibdeno y níquel, pero el más usado es el platino ya que manejan mayor linealidad y rapidez a la hora de censar temperaturas, los rangos para la medición en grados varían según el material utilizado igual que la precisión en la medida, existen varios tipos como lo son: tipo bobinado, tipo laminado, tipo enroscado y tipo anillo hueco.

Igual que los termopares las RTD's, su construcción varía según las especificaciones que el cliente requiera, aunque en la industria se pueden encontrar con bases hechas en acero inoxidable ya que esto las protege de las condiciones ambientales desfavorables.

2.2.1.3 Termistor



Gráfica 4 Termistor (National instruments, 2012)

El principio de funcionamiento de los termistores está basado en el comportamiento de la resistencia de los semiconductores en función de la temperatura, hay dos tipos de termistores:

NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo): estos termistores presentan disminución de la resistencia con respecto al aumento de la temperatura.

PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo): estos termistores presentan aumento de la resistencia con respecto al aumento de la temperatura.

La ventaja principal de los termistores son su bajo costo y la respuesta rápida, como desventajas de resalta que no son lineales, presentan auto calentamiento y su rango de medida está limitado entre -70 a 500 °C.

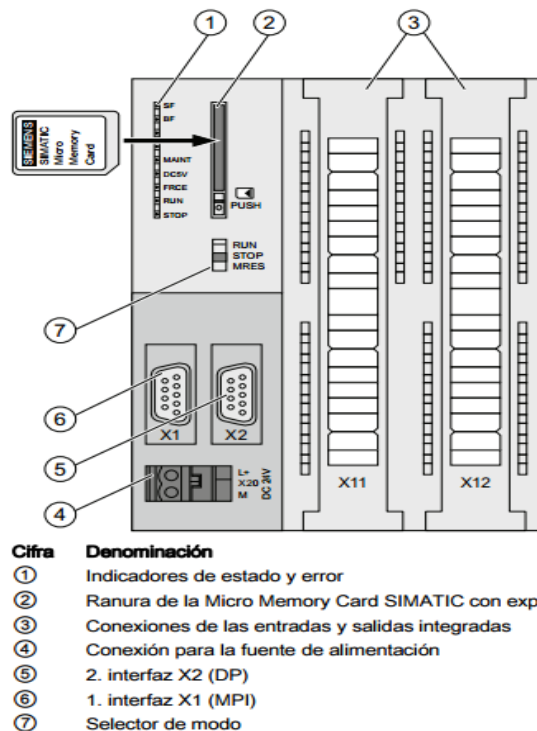
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico que se puede programar por el usuario para controlar procesos lógicos, secuenciales y continuos. Una de las principales funciones del PLC es comandar motores y maquinas, principalmente reemplazando la lógica de relés; reemplazando contadores electromecánicos y temporizadores. Entre algunas de las utilidades de los PLC están; controlar procesos peligrosos o repetitivos, detección de fallas, manejo de alarmas y regulación de dispositivos remotos. Permite desarrollar algoritmos de control para desarrollar procesos de lazos cerrados y lazos abiertos. Para esto el PLC tiene incorporados funciones que permiten realizar procesamientos matemáticos.

Las principales ventajas que se tienen con estos dispositivos es que se disminuye la utilización de cables, es un dispositivo con una fácil programación y así reduce costos en tiempo de mano de obra (Aires, 2014). En la gráfica 5 se muestra la disposición física de un PLC SIEMENS.

Elementos de mando y señalización de la CPU 314C-2 DP



Gráfica 5 Vista frontal de un PLC (Siemens; Manual S7-300)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.3 Elemento final de control

En (Villajulca, 2010) se da la siguiente definición de elemento final de control: “Elemento que modifica alguna característica del proceso según lo ordenado por el controlador. Dependiendo del tipo de proceso y de los objetivos, se tienen una variedad de estos elementos, desde dispositivos que reciben señales de control del tipo discreto hasta otros que actúan regulando la variable de interés dentro de cierto rango.

Para la planta de temperatura se usó como elemento final de control un relé de estado sólido, que por la técnica de PWM (modulación de ancho de pulso) regulará proporcionalmente el flujo de potencia hacia la resistencia eléctrica encargada de generar calor.

2.2.4 Control P.I.D

En (Kuo, 1996), se aconseja que el diseñador del sistema de control debe tener en cuenta todos los componentes a utilizar en la propuesta, las proporciones y la forma de conexión de los subsistemas. Se dice que el control PID es una de las técnicas más utilizadas en la industria para el control de variables y define la forma para describirlo matemáticamente, representarlo en un diagrama de bloques y obtener la respuesta en el tiempo.

Para los controles PID su base de aplicación son los mecanismos de lazo de retroalimentación que permiten la regulación de distintas variables tales como presión, flujo, temperatura entre otras que se encuentran en la industria. (Franklin Electric, 2013).

Por lo general un controlador PID toma la señal y la compara con el punto de ajuste; dando la señal de error. De acuerdo a este error se da una salida que tiene en cuenta: la magnitud del error, el tiempo en que ha estado presente el error y la rapidez de cambio del error (Creus Solé, 2011).

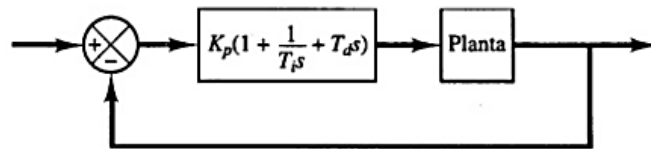
En (Ogata, Ingeniería de control moderna, 1998) se menciona que un control PID reúne las ventajas de cada acción individual; la acción P que involucra la ganancia proporcional, la acción I que tiene en cuenta el tiempo integral y la acción D que tiene en cuenta el tiempo derivativo.

Los controladores de tipo industrial por lo general tienen algún mecanismo para ingresar el punto de ajuste, la ganancia proporcional y el tiempo derivativo. También pueden incluir

un selector para escoger entre control en modo manual o modo automático (Creus Solé, 2011).

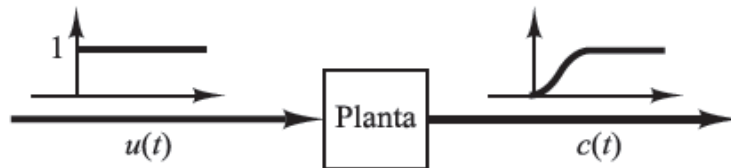
Control PID

Para definir los controles PID se refiere a la gráfica N° 7, cuando no se pueden definir modelos matemáticos y/o modelos analíticos se recurre a modelos experimentales de los controladores PID. Hay varios modelos para la aplicación de controles PID, como los propuestos por Ziegler y Nichols. (Ogata, Ingeniería de control moderna, 1998)



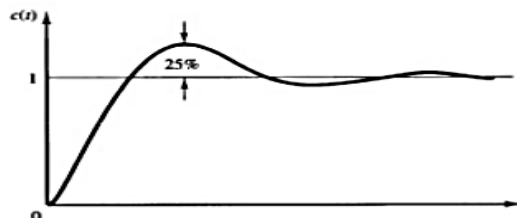
Gráfica 6 Control PID de una planta (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

Primer Método. Para este método se muestra una gráfica de la respuesta de escalón unitario también corresponde a las reglas de sintonía de Ziegler y Nichols, exhibe la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental como se observa en la gráfica N° 7.



Gráfica 7: Respuesta a un escalón unitario de una planta (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

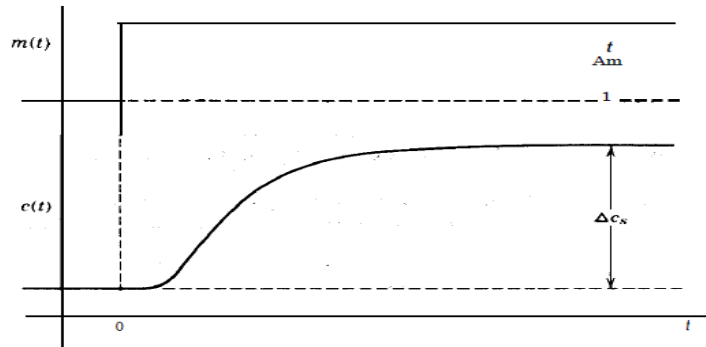
En la gráfica No. 8. Se muestra la respuesta de un sistema determinado a un escalón unitario donde se observa como la salida tiene un sobre impulso del 25% y a partir de este se empieza a amortiguar.



Gráfica 8: Curva de Respuesta Escalón Unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25% (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

La curva de respuesta escalón se generan experimentalmente a partir de una simulación dinámica de la planta.

Cuando se tiene una curva con forma de S, se reconocen dos parámetros: “ el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T ” (Ogata, Ingeniería de control moderna, 1998), estos dos 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 $C(t)=K$, como se aprecia en la gráfica N° 9.



Gráfica 8 Curva de respuesta escalón unitario con forma de S (Carlos A. Smit, 1991)

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:

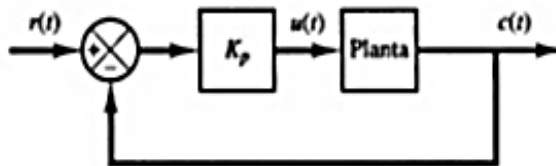
$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Lt}}{Ts+1}$$

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla No. 1.

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 1 Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

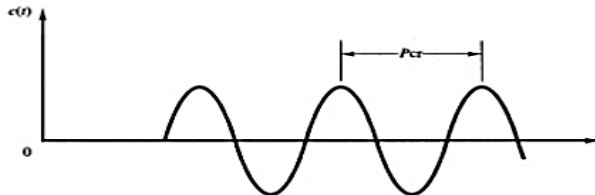
Segundo método. Primero se establece $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional (grafica N° 10).



Gráfica 9 Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional (Franklin Electric, 2013)

Luego se incrementa K_p de 0 a un valor llamado “crítico” K_{ct} que se caracteriza porque la salida presenta oscilaciones sostenidas. (Es requisito indispensable que la salida muestre las oscilaciones sostenidas para que se pueda aplicar este método). (Ogata, Ingeniería de control moderna, 1998)

Por tanto, la ganancia crítica K_{ct} y el periodo P_{ct} correspondiente se determinan experimentalmente. (Gráfica N° 11)



Gráfica 10 Oscilación sostenida con un periodo P (Franklin Electric, 2013)

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la siguiente tabla.

Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, basada en la ganancia crítica de K_{ct} y en el periodo crítico P_{ct} (segundo método).

TIPO DE CONTROLADOR	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{ct}$	∞	0
PI	$0.45K_{ct}$	$\frac{P}{1.2} P_{ct}$	0

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

PID	$0.6K_{ct}$	$0.5P_{ct}$	$0.125P_{ct}$
------------	-------------	-------------	---------------

Tabla 2 Regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{ct} y e el periodo P_{ct} (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

En (Creus Solé, 2011) se refuerzan los conceptos enunciados anteriormente dando pautas para diseñar algoritmos que permitan implementar un control PID y mostrándolos comportamientos de la salida ante la variación de estos parámetros.

En (Kuo, 1996), menciona que un sistema de control se debe verificar la estabilidad utilizando métodos como: Lugar de las raíces, criterio de Routh-Hurwitz, criterio de Nyquist o diagrama de bode.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

En el desarrollo de la planta de temperatura se presentaron varios casos y situaciones que se fueron resolviendo con la ayuda de la literatura estudiada y varios modelos planteados. Unos de los elementos más importantes para esta planta es la resistencia de 1500 W tipo espiral diseñada especialmente para que cubriera mayor superficie del recipiente y que permitiera el calentamiento del agua el menor tiempo posible. La implementación del sistema de enfriamiento que consta de una bomba, un ventilador y un conjunto de tuberías especiales para agua caliente que son utilizadas en la industria de calefactores y aires acondicionados. Fue necesario implementar un sistema para evitar la dispersión de calor en fibra de vidrio en procura de buscar la seguridad de los estudiantes y evitar al máximo las pérdidas de temperatura por las paredes del recipiente. Para el control de temperatura del líquido, se utilizaron tres elementos, el PLC, el sensor de temperatura PT100 y relés para energizar la resistencia eléctrica.

Ya con el hardware implementado se procedió al desarrollo del software donde se empleó el software del S7-300 para el programa del PLC (Tía portal), se debió crear una interface “OPC server” para que pudieran interactuar las variables del TÍA PORTAL con el Labview, esto para la captura de datos con respecto de la temperatura medida.

Con el software implementado y con la posibilidad de adquirir datos del proceso en Labview; se realiza la identificación de la planta. Se aplicó un escalón del 50% utilizando técnica PWM, con la gráfica obtenida se aplican criterios de la literatura (Ziegler_Nichols) para encontrar la función de transferencia y determinar los parámetros PI a utilizar para el control. Se emplea Matlab para someter a simulación el comportamiento del control según los parámetros encontrados y para proponer otros parámetros iniciales de sintonización a partir de la herramienta de auto sintonía. Luego se procede a realizar una serie de pruebas

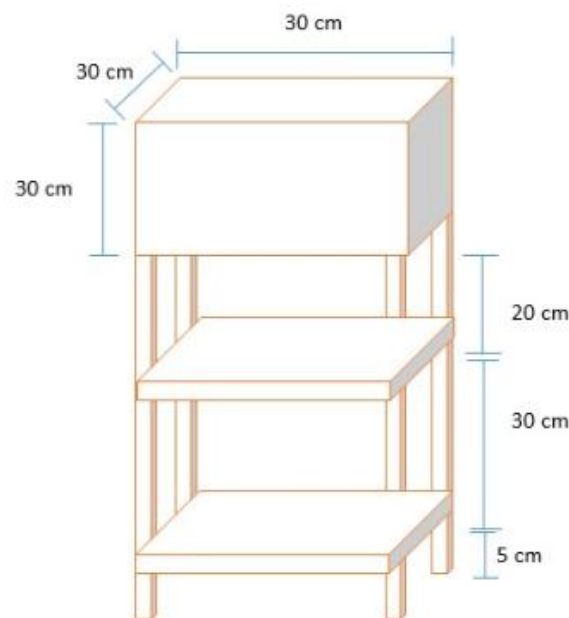
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

reales bajo diferentes condiciones de carga y sintonización. Con esto se analizan los resultados, se exponen las conclusiones y se proponen algunas recomendaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Implementación de la planta.

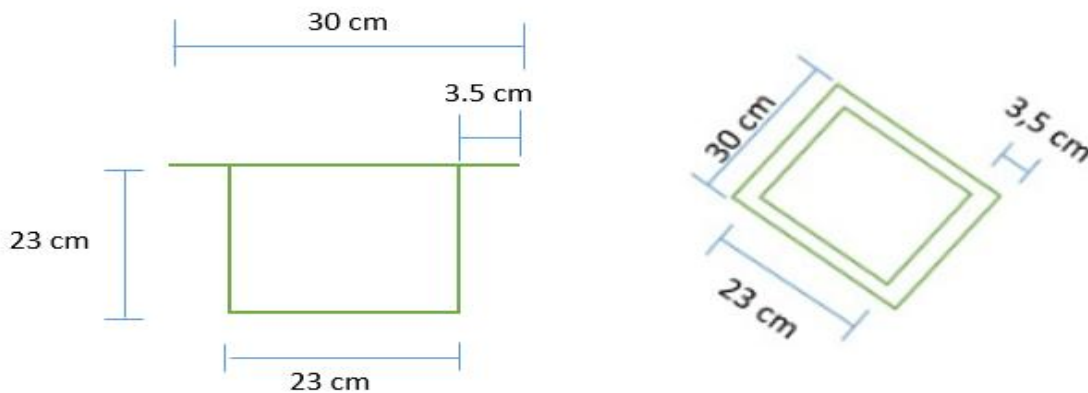
Para facilitar la fácil manipulación de la planta, se construyó su estructura metálica de 85 centímetros de alto, 30 centímetros de ancho y 30 centímetros de profundidad, esta construcción consta de 4 tubos cuadrados de una pulgada de diámetro y 85 centímetros de largo, los cuales van a ser las bases de la estructura; Se incorporaron 12 láminas cuadradas calibre 20. Cinco de ellas tienen 30 centímetros de lado y se colocaron en la parte exterior de la planta, cumplen la función de las paredes, otras dos de lado 30 cm, cumplen la función de entrepaños para allí colocar los diferentes dispositivos que se requieren para el funcionamiento del sistema, las otras 5 láminas restantes, de 23 centímetros lado son las que están en el interior de la estructura, estas también cumplen la función de paredes ya que entre esta lamina y la otra ya mencionada se dejó un espacio de una pulgada para alojar una capa de fibra de vidrio, esto para lograr aislar el calor generado por la planta y evitar así posibles accidentes y pérdidas de calor, como lo muestra en la siguiente gráfica (gráfica 12).



Gráfica 11 Estructura con medidas (elaboración propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El depósito de agua está formado por láminas de 23 cm de lado tal como se muestra en la gráfica 13, quedando en forma de cubo, el cual queda con una capacidad máxima de almacenamiento de agua de 12.1 litros de agua, pero el proceso de control se va a realizar con un volumen de 7 litros de agua. Teniendo en cuenta este volumen de 7 litros, se hicieron todos los cálculos necesarios para el funcionamiento del control y mediciones futuras.



Gráfica 12 Recipiente con medidas. vista de frente y vista superior (elaboración propia)

Se eligió para la planta de temperatura una resistencia de calor de 1500 vatios (W) calculada a partir del volumen de líquido a controlar, la temperatura máxima deseada y el tiempo al cual se desea alcanzar la temperatura máxima, a continuación se muestra cómo y que parámetros se tuvieron en cuenta para hacer el cálculo a la resistencia que se necesita.

Se pretende calentar 7 litros de agua desde 28 °C a 80 °C en un tiempo de 20 minutos. El peso de las paredes del tanque es aproximadamente de 1Kg en acero galvanizado.

La energía requerida para calentar el agua está dada por la siguiente ecuación:

$$E1 = V * \Delta T * Cp \quad (1)$$

Donde E1 es la energía en Kcal

V es el volumen de agua a calentar en litros

T es la temperatura en °C

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cp es el calor específico del agua $\left(\frac{1Kcal}{L * ^\circ C}\right)$

$$E1 = 7L * (80 - 28)^\circ C * \left(\frac{1Kcal}{L * ^\circ C}\right)$$

$$E1 = 364Kcal$$

La energía para calentar el recipiente al iniciar el proceso está dada por la ecuación

$$E2 = m * \Delta T * Cpm \quad (2)$$

Donde E2 es la energía en Kcal requerida para calentar el metal del recipiente
m es la masa del recipiente.

Cpm es el calor específico del acero inoxidable $\left(\frac{0.12Kcal}{Kg * ^\circ C}\right)$.

$$E2 = 1Kg(80 - 28)^\circ C * Cpm * \frac{0.12Kcal}{Kg * ^\circ C} \quad (2)$$

$$E2 = 6Kcal \quad (2)$$

La energía total requerida es de 370 Kcal

La energía en Kwh está dada por:

$$ET = 370Kcal * \frac{1Kwh}{862Kcal} = 0.43Kwh \quad (3)$$

La potencia está dada por:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{0.43Kwh}{20min} * \frac{60min}{1h} = 1.3Kw$$

La resistencia se mandó a fabricar de 1.5Kw.

Esta planta cuenta con un sistema de enfriamiento que puede ser usado por el estudiante para generarle un gasto a la planta, quitándole calor por medio de este proceso o para lograr que el líquido llegue de nuevo a temperatura ambiente en el menor tiempo posible,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

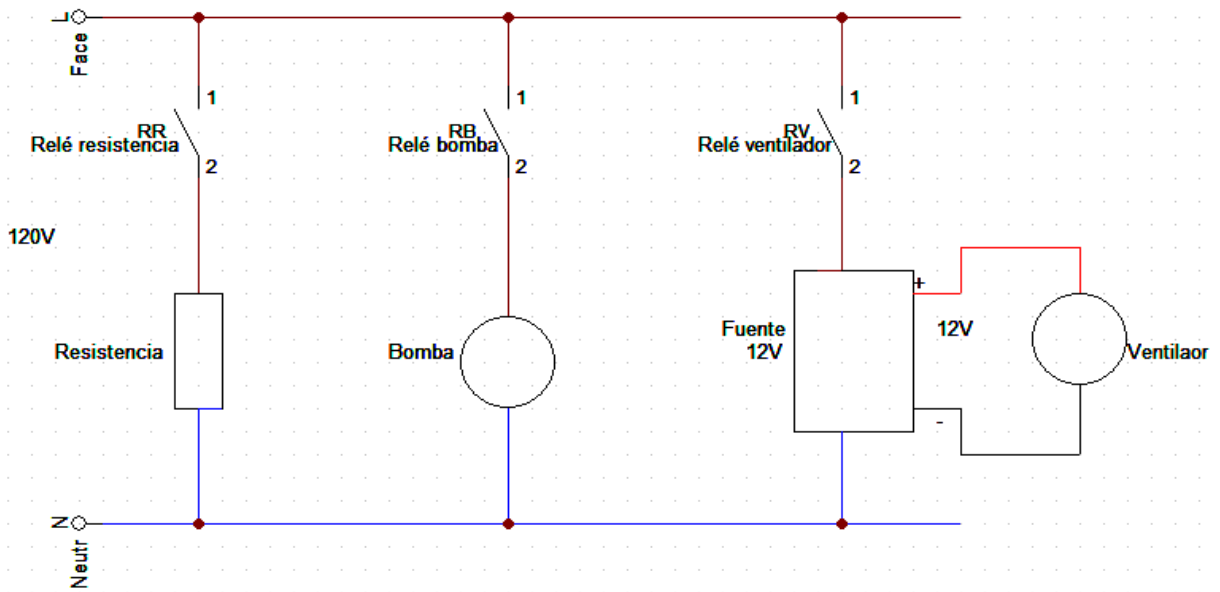
para así optimizar el tiempo de pruebas, de esta forma se puede agilizar el desarrollo de las pruebas.

El sistema de enfriamiento consta de una bomba, un ventilador y un radiador, tanto la bomba como el ventilador tienen la función de retirar calor al sistema, ambos funcionando simultáneamente logran el enfriamiento del líquido en forma óptima, aunque no siempre es necesario poner en funcionamiento los dos dispositivos, ya que cada uno puede funcionar de manera separada según la programación realizada o la necesidad que tenga el estudiante en el momento.

La bomba es la encargada de hacer recircular el agua por un sistema de tuberías hasta un intercambiador de calor (radiador) donde se realiza el proceso de transferencia de calor, luego el líquido retorna al mismo recipiente de donde fue sustraído inicialmente; con una temperatura menor a la inicialmente obtenida. La bomba cuenta con un flujo de 11.73 litros por minuto.

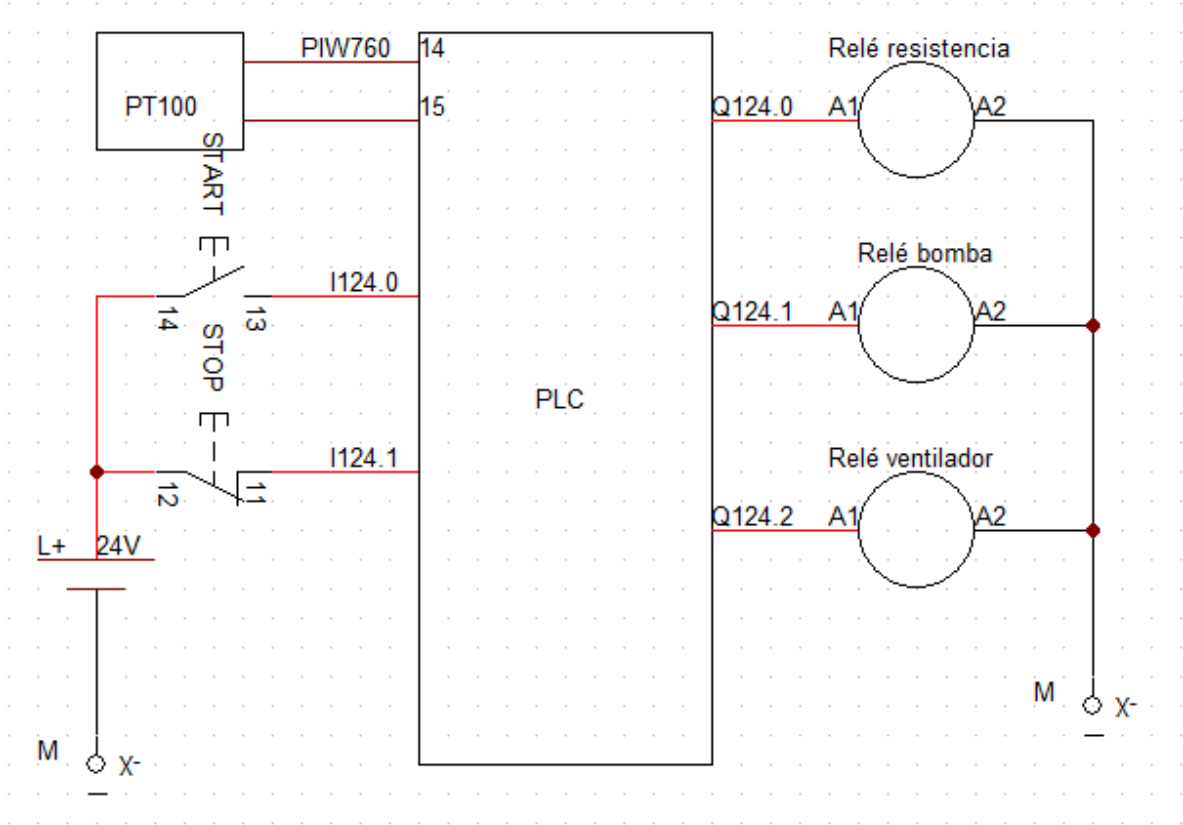
El ventilador es el encargado de suministrar aire frío a la parte exterior del intercambiador de calor, expulsando las moléculas calientes adquiridas por la circulación del líquido caliente al interior de la tubería, permitiéndole al intercambiador de calor realizar su tarea de una manera más óptima. El ventilador necesita de una fuente de voltaje independiente de 12 voltios para su funcionamiento, demandando una corriente de arranque de 7 amperios y se estabiliza en 4 amperios. La fuente instalada entrega un voltaje de 12 voltios a una corriente máxima de 12.5 amperios.

El sistema eléctrico a 120 Voltios de la planta de temperatura permite energizar los dispositivos por medio de relés de acuerdo a la programación elaborada. Se cuenta con tres relés para controlar la resistencia de calor, la bomba y el ventilador como se muestra en la siguiente figura. El relé que controla la resistencia es de estado sólido para permitir una mayor frecuencia de conmutación.



Gráfica 13 Plano eléctrico del sistema de temperatura (elaboración propia)

Por medio de un programa almacenado en el PLC se controla la puesta en funcionamiento de la planta, el accionamiento de la resistencia, la bomba de circulación de agua y el ventilador. En la siguiente gráfica se muestra la conexión de los diferentes dispositivos que entran o salen del PLC.



Gráfica 14 conexiones del PLC (elaboración propia)

Se puede apreciar que la PT100 debe ir conectada a un puerto análogo PIW760, que corresponde a los bornes 14 y 15 de la bornera de entradas y salidas análogas; la botonera debe ir conectada a la bornera de entradas digitales, el botón de paro o stop que es normalmente cerrado debe ir en el borne que corresponde a la entrada I124.1 y el botón de inicio o “start” de la botonera debe ir en el borne que corresponde a la entrada I124.0. En la bornera de salidas deben conectarse el relé que corresponde a la resistencia el borne de salida Q124.0, el relé que corresponde a la bomba debe ir en el borne de salida Q124.1 y el relé que corresponde al ventilador debe ir en el borne de salida Q124.2 como lo muestra en la imagen anterior.

Explicado todo esto se puede dar una descripción del funcionamiento de esta planta. El recipiente o tanque debe ser llenado con 7 litros de agua, aunque la capacidad máxima de esta planta es de 12 litros, después de tener el líquido en el recipiente se puede empezar a

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

hacer las pruebas, esta planta tiene básicamente tres procesos que son el proceso de calentamiento, el proceso de enfriamiento y el proceso de adquisición de datos en Labview. El proceso de calentamiento consta de una resistencia que se encuentra ubicada en la parte externa e inferior del recipiente, haciendo contacto directo con este, así cuando se energice la resistencia transmite el calor desde la parte inferior del tanque al líquido.

El proceso de enfriamiento consta de dos sistemas que son el sistema de bombeo y el sistema de ventilación, el sistema de bombeo cuenta está ubicado en la parte inferior de la estructura, que es la responsable de hacer circular el agua por una tubería que hace llegar el líquido a un intercambiador donde se entrega calor al aire disminuyendo la temperatura del líquido, en forma continua el líquido regresa al recipiente donde fue tomado inicialmente. Este proceso también cuenta con el ventilador que es el encargado de eliminar de las moléculas de calor capturadas por el intercambiador para optimizar el enfriamiento. Una PT100 es utilizada para medir la temperatura del líquido dentro del recipiente, está ubicada en un costado del tanque dentro de un termo poso que hace contacto directo con el líquido, los terminales de la PT100 se llevan a una entrada análoga del PLC.

2. Implementación del programa del PLC

Para programar el control de la planta de temperatura se usó el software de SIEMENS TIA-PORTAL V13. Ver apéndice.

El bloque FC1 es el encargado de realizar el acondicionamiento de la señal para medir temperatura. Un convertidor análogo a digital toma el valor de resistencia de la PT100 y lo deposita en la memoria IW760 como entero. El valor allí depositado corresponde al valor de la temperatura en grados Celsius multiplicado por 10. Para obtener la medida como número real; el dato adquirido es convertido a real y luego se divide por 10. Por facilidad de programación del bloque de control PID, la medición de temperatura se convirtió a porcentaje, donde el 100% corresponde a 74 °C.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El bloque FC2 es utilizado para controlar el encendido de la planta y para fijar una rutina de enfriamiento que puede ser modificada por el usuario. El enfriamiento sirve a su vez como perturbación de la planta. Para dar inicio al encendido se dispone de un sistema de marcha paro controlado por contactos digitales ubicados a la entrada del PLC.

Para activar la bomba (Q124.1) y el ventilador (Q124.2) deben estar habilitadas las marcas de encendido y control de enfriamiento (M10.1 y M10.2).

La resistencia (Q124.0) es energizada si están activas las marcas de encendido y resistencia automático M10.2.

En el segmento 5 de FC2 se implementó un control para simular cargas variables por medio del sistema de enfriamiento. Se utilizará un contador para controlar un tiempo de encendido del sistema de enfriamiento en forma intermitente pero no muy seguida. Para esto, pulsos cada 2 segundos (Marca de ciclo M0.7) se llevan a un contador que va guardando su resultado en la marca cuenta BCD (MW200).

Si el usuario quiere activar los ciclos de enfriamiento debe activar la entrada I124.3. En MW206 debe ingresar la duración de ciclo de enfriamiento (para este caso un valor entre 0 y 300 correspondiente a un tiempo entre 0 y 600 segundos). Dos comparadores controlan el tiempo de encendido del sistema de enfriamiento y el RESET del contador cada que la cuenta llega a 300 para repetir un nuevo ciclo. Obviamente el programa queda abierto para que el usuario pueda realizar rutinas de enfriamiento más flexibles. Por ejemplo, se podría realizar este ciclo sin el uso del ventilador ¿Cómo respondería el sistema? El valor de 300 también puede ser modificado.

En un bloque de interrupciones OB35 que se ejecuta cada 100 ms se tiene el algoritmo PID combinado con un algoritmo para salida PWM. La salida del bloque PID cubre un rango de 0 a 100%, pensando que es un elemento final de control proporcional, sin embargo, la resistencia es accionada por medio de un relé de estado sólido por lo que se debe convertir

esta señal en una salida ON-OFF de ancho de pulso variable. Se agregó una rutina para que la acción PID se ejecute 1 vez por cada 200 de la acción PWM.

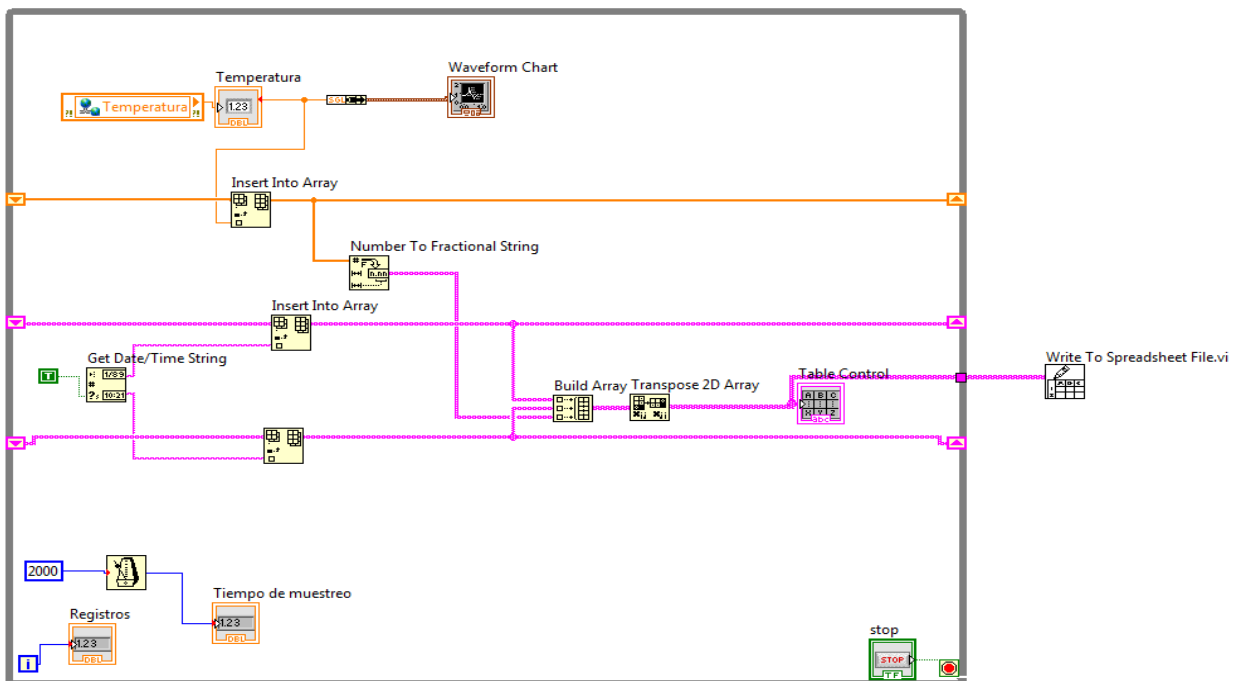
En apéndice se muestran las imágenes de la programación elaborada en el TIA PORTAL.

3. Sistema de adquisición de datos

Para este sistema de adquisición de datos se usó el software de Labview, encargado de capturar los valores de temperatura cada dos segundos. El usuario de la planta decide hasta que tiempo quiere tomar datos y procede a dar STOP en la interface creada, el programa entonces saca una ventana emergente solicitándole la dirección donde requiere guardar los datos, el nombre y tipo de archivo, en este caso xls para archivarlo en Excel.

Labview por sí solo no está en capacidad de capturar los valores de temperatura. Para poder realizar el proceso mencionado se requiere de una interface entre el PLC y Labview, este programa se llama OPC SERVER también desarrollado por la National Instruments (NA).

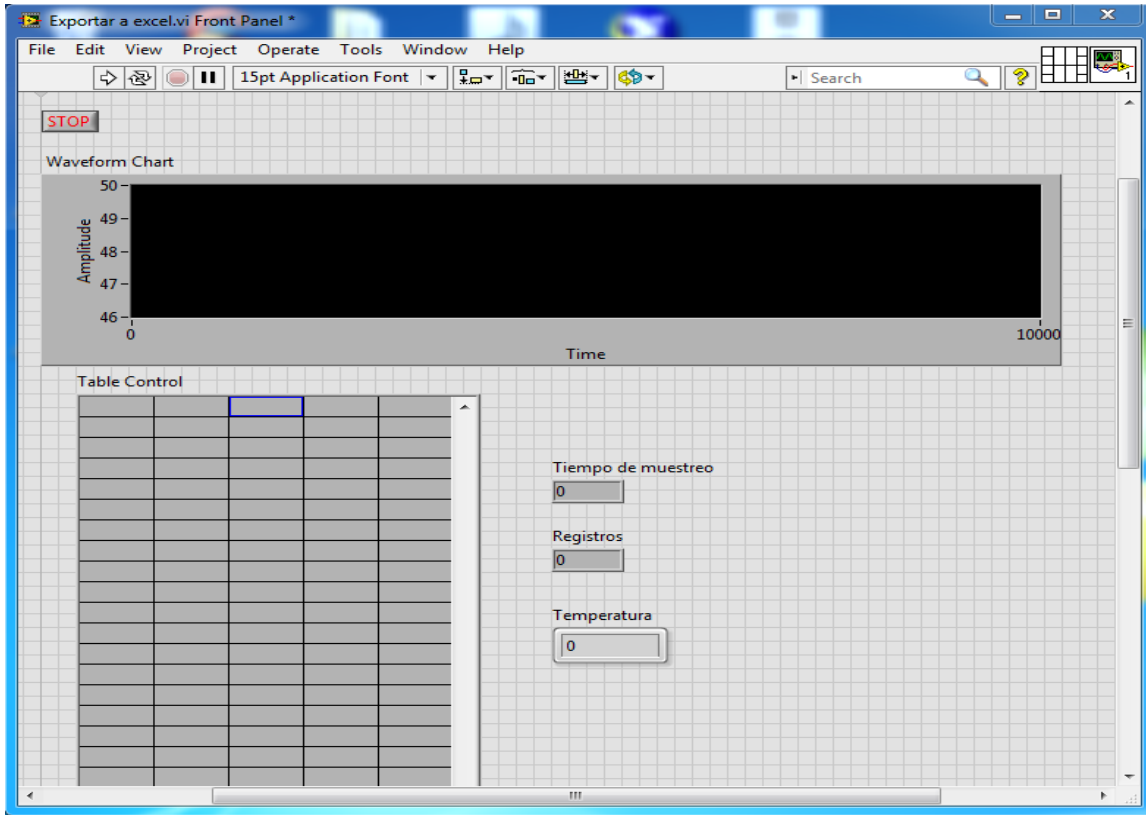
A continuación se muestra la programación que se realizó en Labview que permite obtener los datos de muestra de la planta y luego exportarlos a Excel.



Gráfica 15 Programa adquisición de datos en Labview (elaboración propia)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

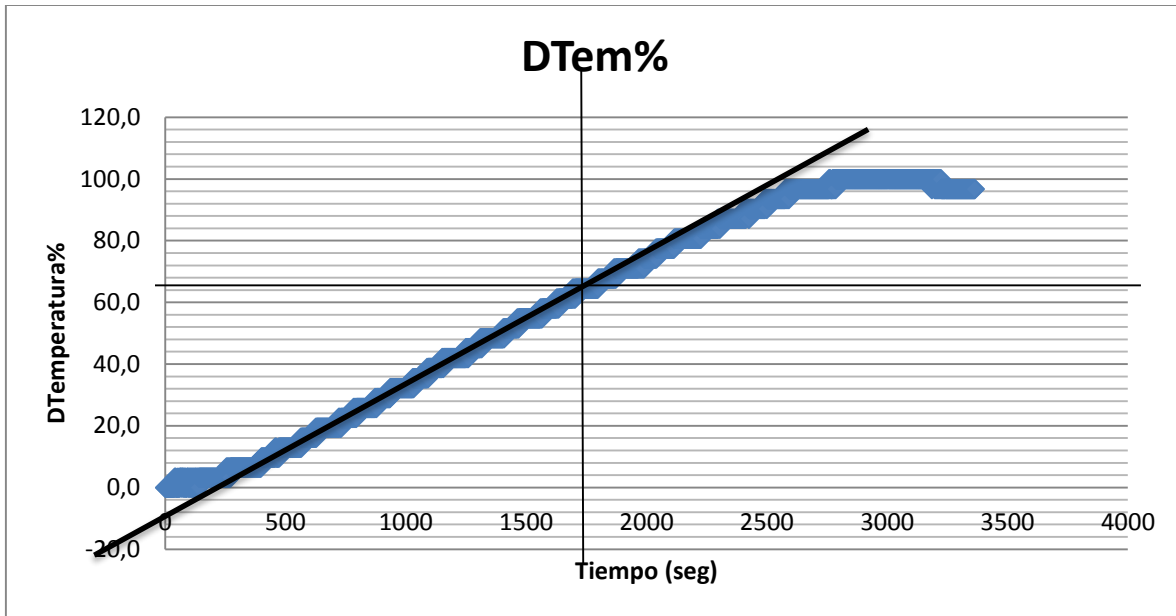
En la gráfica 17, se muestra la vista frontal del programa de adquisición de datos que se desarrolló en Labview.



Gráfica 16 Vista frontal programa de adquisición de datos en labview (elaboración propia)

4. Función de transferencia y sintonización

De los datos obtenidos en Excel se construye la siguiente gráfica que corresponde a la curva de reacción de la planta construida.



Gráfica 17 Resultado obtenido con sistema de calentamiento a un 50% (elaboración propia).

Para determinar la función de transferencia se evaluará la gráfica que fue obtenida al dar un impulso del 50% con técnica PWM que consistió en energizar la resistencia por 2 segundos y apagarla otros dos. La ecuación de la función de transferencia de la figura obtenida es de la siguiente forma:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

Donde:

K: ganancia del sistema

L: Tiempo de retardo

T: Tiempo equivalente

De la gráfica se obtiene

L= 140 s T= 2480 s

Delta de Salida = 100% (74 °C)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Delta del impulso = 50 %, (Por PWM solo se aplicó la mitad de la potencia)

$$K = \frac{\text{Delta Salida}}{\text{Delta Entrada}}$$

Ecuación resultante es:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{2e^{-140s}}{2480s + 1}$$

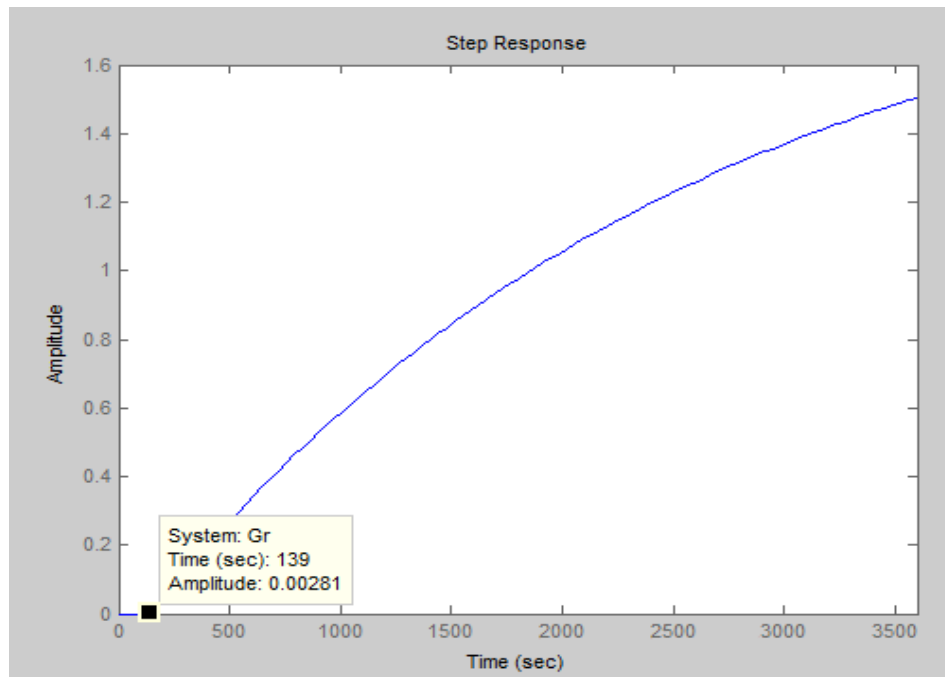
Para probar la función de transferencia y realizar los gráficos se utilizó la herramienta Matlab y por medio de la instrucción (Gr=tf(2,[2480 1],'inputdelay',140)) se genera la siguiente función de transferencia.

```

Transfer function:
                2
exp(-140*s) *  -----
                2480 s + 1

```

Adicionalmente por medio del grafico de Matlab se logra observar la respuesta del impulso unitario.



Gráfica 18 Respuesta al escalón unitario (Elaboración propia)

Se utilizó la regla de sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón obtenida de la planta de temperatura para asignar los valores de P, I y D. En la siguiente tabla se muestran estos

valores de sintonización para los diferentes tipos de control; P, PI y PID. Se decidió trabajar con un controlador PI.

Tabla 1: Regla de sintonización de Ziegler-Nichols (Ogata, Ingeniería de control moderna, 2010)

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	$1.2 \frac{T}{L}$	$2 L$	$0.5 L$

Datos del PI

$$K_p = 0.9(T/L) = 16$$

$$T_i = L/0.3 = 467 \text{ sg}$$

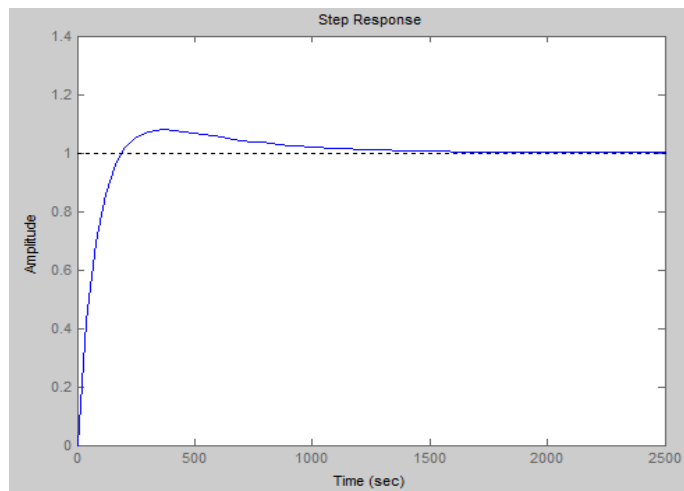
En Matlab se simulan estos valores (eliminando el retardo) utilizando los siguientes comandos

`s=tf('s')`

`Mpi=feedback(Rpi*Gr,1)`

Gr es equivalente a la función de transferencia.

La respuesta obtenida fue:



Gráfica 19 : Repuesta al impulso unitario con los parámetros PI calculados sin retardo. (Elaboración propia)

Se observa que bajo estas condiciones la temperatura se estabiliza en el valor deseado en un tiempo aproximado de 1600 segundos. Sin embargo, esta simulación no tiene en cuenta el retardo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se debe utilizar función “Pade” para hacer una aproximación de transferencia incluyendo el retardo.

En un primer intento se realiza la segunda aproximación de “Pade”

Gr_a2p=pade(Gr,2)

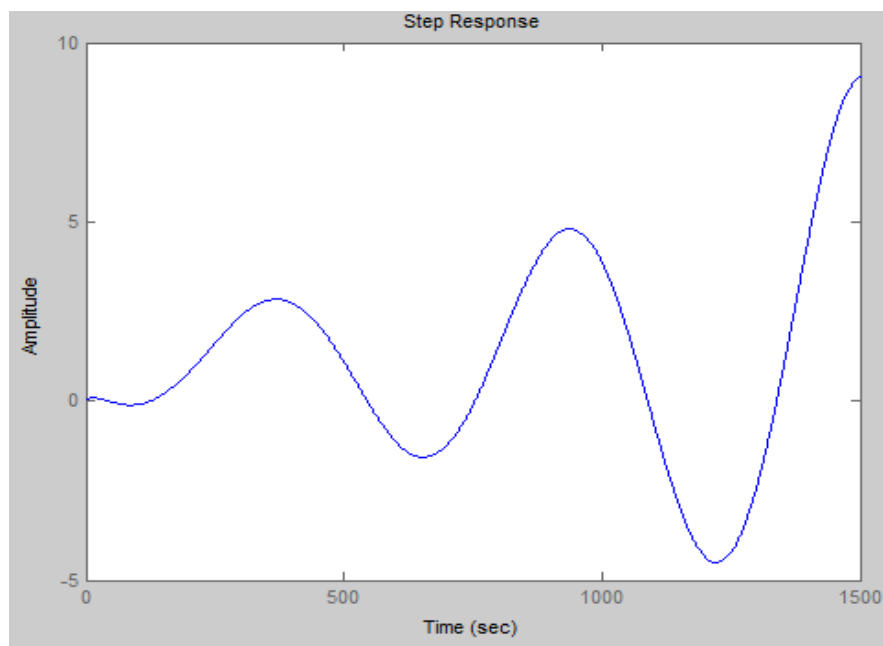
Obteniéndose la siguiente función de transferencia

```

Transfer function:
      2 s^2 - 0.08571 s + 0.001224
-----
2480 s^3 + 107.3 s^2 + 1.561 s + 0.0006122

```

La respuesta al impulso unitario de esta función se muestra en la siguiente gráfica (gráfica 21). Se observa que al incluir el retardo y con los valores P e I calculados previamente; el sistema resulta inestable.



Gráfica 20 Sistema inestable con retardo en P e I (elaboración propia)

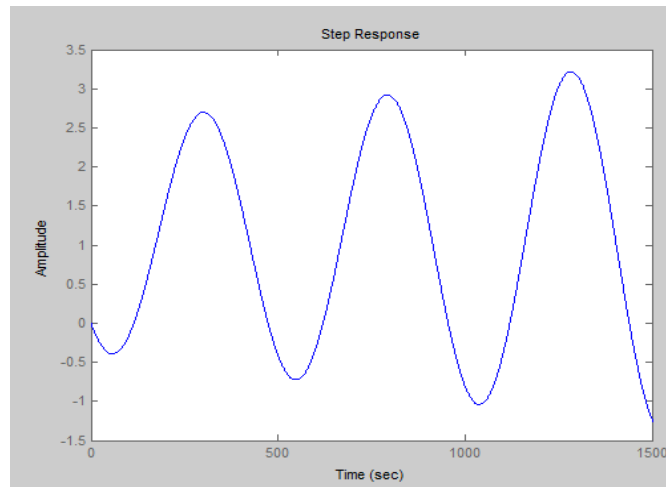
Con la primera aproximación de “Pade” se obtiene la siguiente función de transferencia

```

Transfer function:
      -2 s + 0.02857
-----
2480 s^2 + 36.43 s + 0.01429

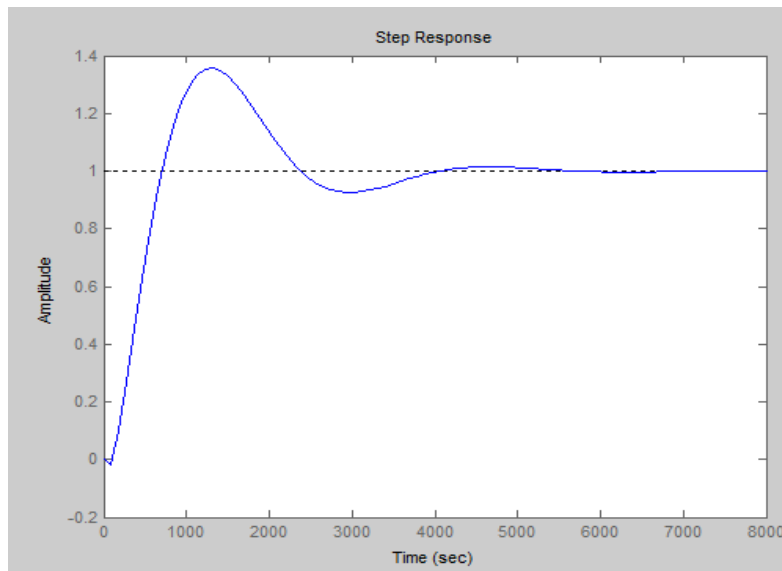
```


La respuesta del impulso unitario de esta función también resultó inestable según se observa en la siguiente gráfica.



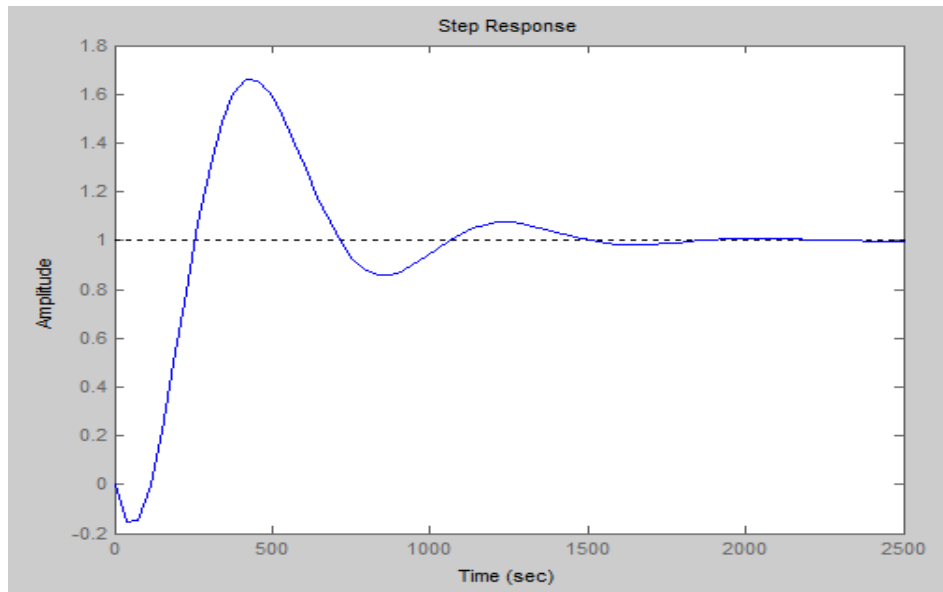
Gráfica 21 respuesta del impulso unitario inestable (elaboración propia)

Se decidió modificar la ganancia a 2 para observar el comportamiento, encontrándose la siguiente respuesta. El sistema se estabiliza en aproximadamente 6000 segundos y tiene un sobreimpulso de 38% aproximadamente.



Gráfica 22 respuesta con estabilización en 6000 segundos y con sobre impulso (elaboración propia)

Con una ganancia de 8 el sistema responde según se muestra en la siguiente gráfica (gráfica 24). El sistema registra un sobreimpulso de más del 60% y estabiliza en 1900 segundos.



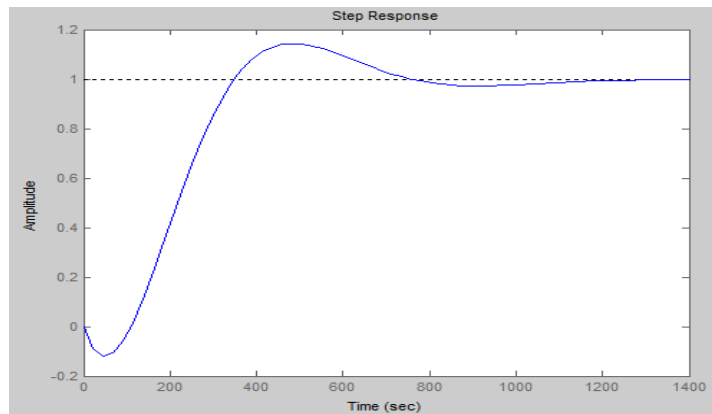
Gráfica 23 respuesta con estabilización en 1900 segundos y con sobre impulso de más de 60% (elaboración propia)

Con una ganancia baja ayuda a disminuir el sobreimpulso pero aumenta el tiempo de establecimiento.

Usando la herramienta de SISOTOOL con el Autotuning de Matlab se llega a la siguiente sintonización

$$K=6,35 \qquad I= 2800 \text{ sg}$$

Con estos datos se obtiene la respuesta de la siguiente gráfica (gráfica 25).



Gráfica 24 respuesta con herramienta SISOTOOL con el autotuning (elaboración propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ahora se procede a realizar pruebas en la planta real cuyos resultados se relacionan a continuación.

Primero se elaboró una función de transferencia donde se involucra un gasto constante, los valores de las acciones P e I también se obtienen aplicando la metodología dada por Ziegler_Nichols encontrándose los siguientes valores:

G: 16 TI: 680 s.

También se utilizaron valores empíricos para observar el comportamiento del control. Más adelante se realizan pruebas a partir de una función de transferencia que toma en cuenta solo el ciclo de calentamiento (no se involucra el gasto), obteniéndose los resultados descritos anteriormente.

Para las pruebas se involucran las siguientes variables:

SP: Set Point.

TI: Tiempo Integrativo.

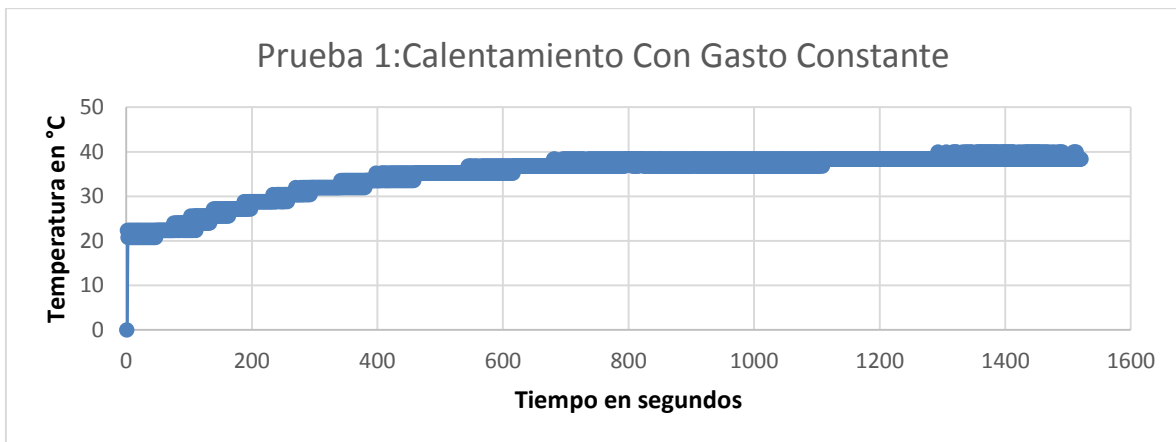
G: Ganancia.

Gasto: se habla de este término cuando actúa el sistema de refrigeración.

Prueba 1: Calentamiento con gasto constante

Datos de la prueba:

G: 16 TI: 680 s sp=55% (40°C)



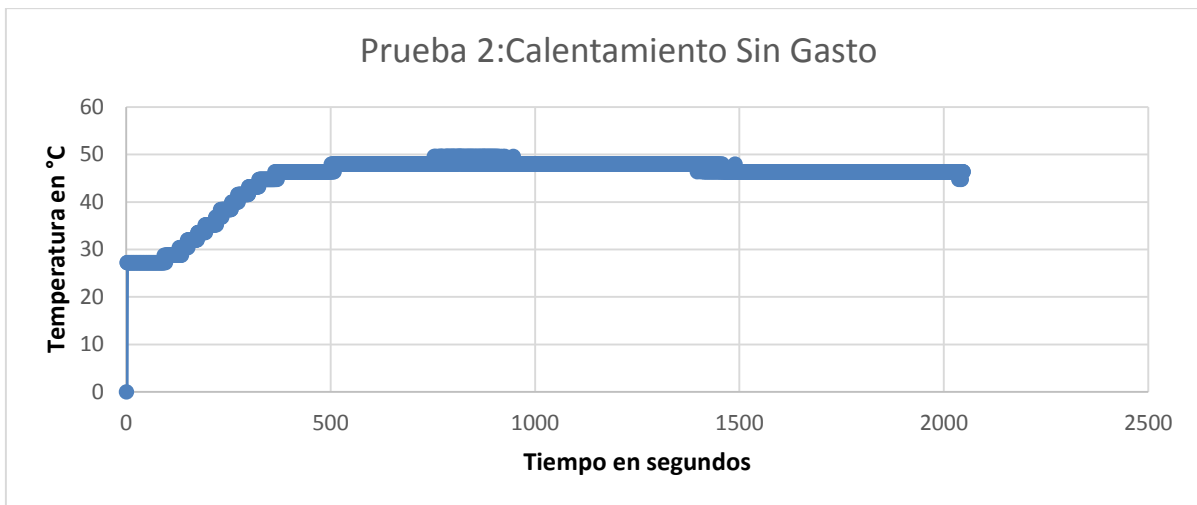
Gráfica 25 Prueba 1: Calentamiento Con Gasto Constante (elaboración propia)

Al cabo de 507 segundos la temperatura se mantiene en un promedio de alrededor de 38.4 °C. La salida de control permanece casi siempre en 100%; la bomba y el ventilador están funcionando continuamente.

Prueba 2: Calentamiento sin gasto (ventilador y bomba apagados)

Datos de la prueba:

G: 16 ti: 680 s SP=55% (40,7°C)



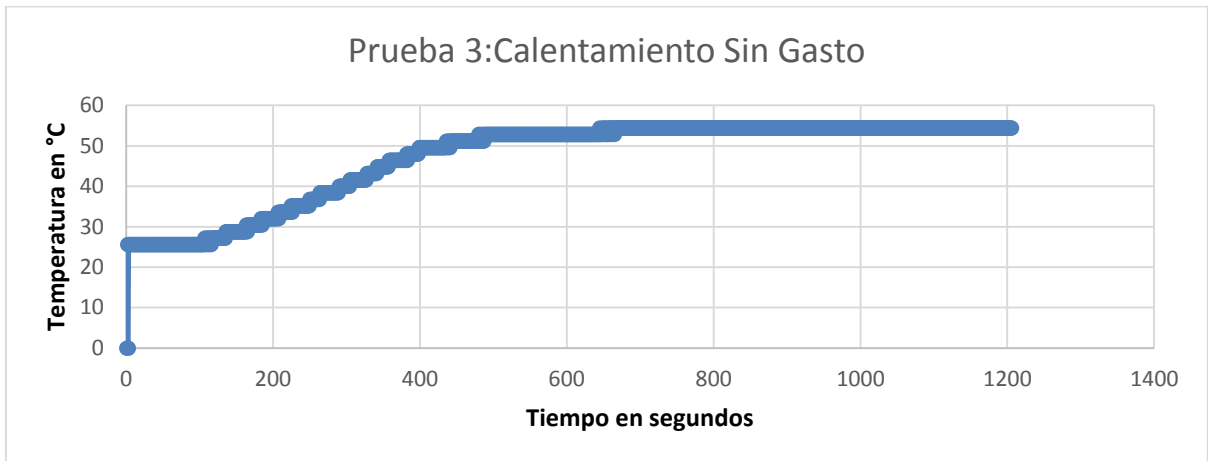
Gráfica 26 Prueba 2: Calentamiento Sin Gasto (elaboración propia)

La temperatura subió hasta 49°C ósea 66,2% cuando el SP es de 55% o sea 40,7°C, y se demoró mucho tiempo en bajar nuevamente. Esto se debe a dos situaciones, la primera es la ganancia muy grande y la segunda no hay gasto del sistema, que demuestra que la planta actúa como un termo cuando no hay enfriamiento forzado; el depósito de agua está bien aislado térmicamente. Con esta grafica se observa que el sistema tomará mucho tiempo para estabilizarse en el punto de ajuste.

Prueba 3: Calentamiento sin gasto

Datos de la prueba:

G: 2 Ti: 20s SP=55% (40,7°C)



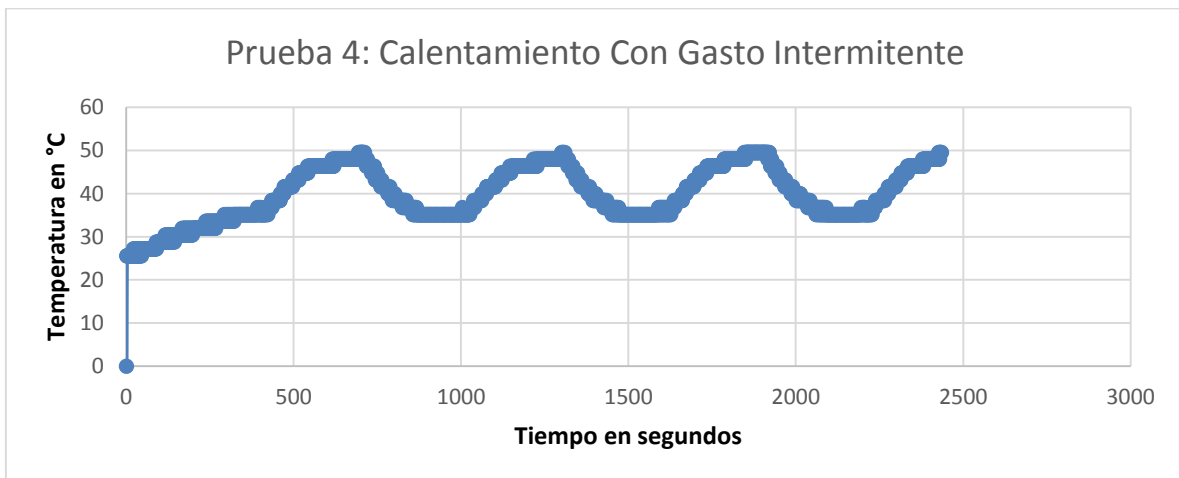
Gráfica 27 Prueba 3: Calentamiento Sin Gasto (elaboracion propia)

Con una variación significativa de la ganancia y el T_i , la temperatura subió a un máximo de 54°C ósea 72,9%, con estos datos se evidencia que el bajar la ganancia no ayuda mucho a mejorar el control, lo que indica que la planta tiene una gran inercia térmica, la salida de control ha estado baja.

Prueba 4: Calentamiento con gasto intermitente (50%) periodo 20 minutos

Datos de la prueba:

G: 16 TI: 680 s SP=55% ($40,7^{\circ}\text{c}$)



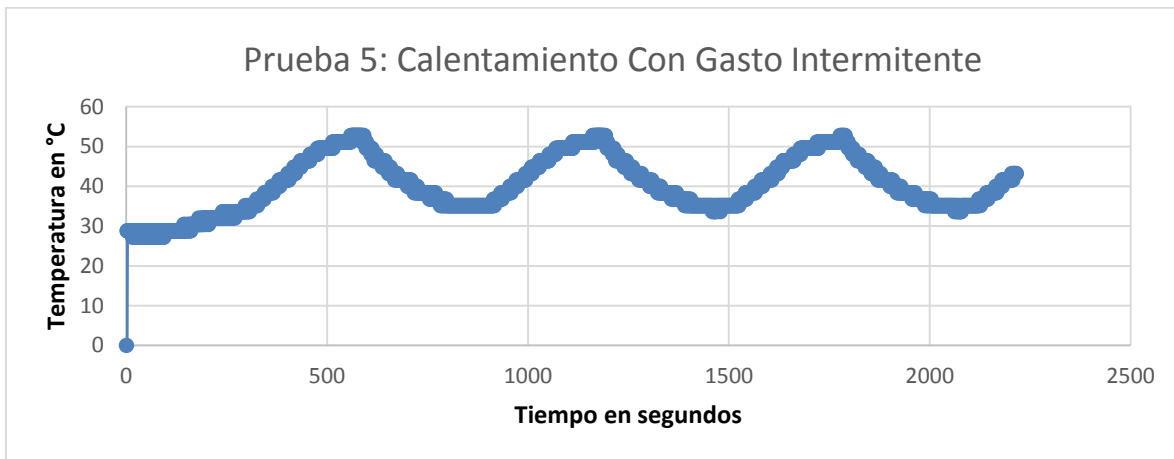
Gráfica 28 Prueba 4: Calentamiento Con Gasto Intermitente (elaboración propia)

Para esta prueba se requirió una modificación en el software que consta de un bloque de comparación que permite darle un control de tiempo al gasto para que este sea intermitente, el sistema de enfriamiento prende durante 10 minutos y se apaga durante otros 10 minutos. La temperatura oscilo alrededor de los 42 °C, con mínimos de 35°C y máximo de 52 °C

Prueba 5: Calentamiento con gasto intermitente (50%) periodo 20 minutos

Datos de la prueba:

G: 2 TI: 20 s SP=55% (40,7°C)



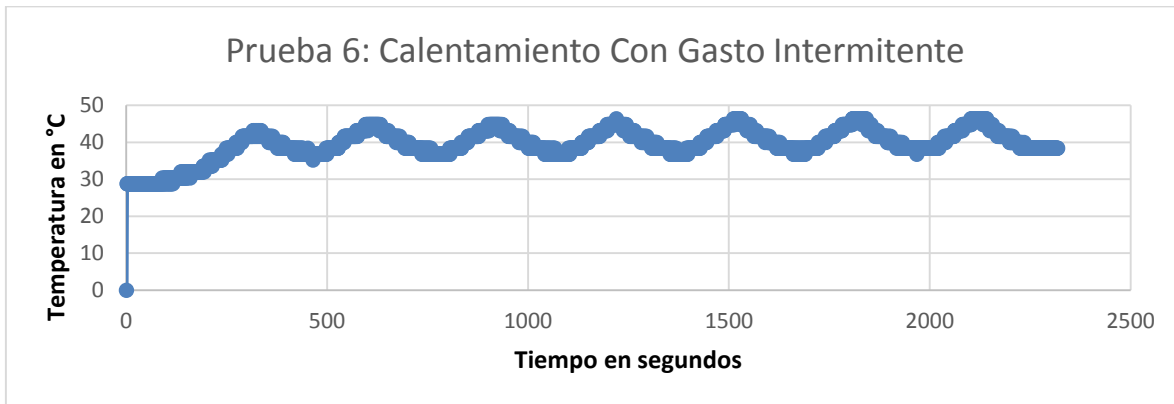
Gráfica 29 Prueba 5: Calentamiento Con Gasto Intermitente (elaboración propia)

Se utiliza el mismo bloque de comparación de la prueba anterior, se baja la ganancia a 2 y el TI se ajusta a 20 s. El control mejora, pero se observa una oscilación que no lo deja estabilizar, el sistema de enfriamiento baja mucho la temperatura y cuando se apaga, se crea un sobreimpulso por el encendido de la resistencia.

Prueba 6: Calentamiento con gasto intermitente (50%) periodo 10 minutos

Datos de la prueba:

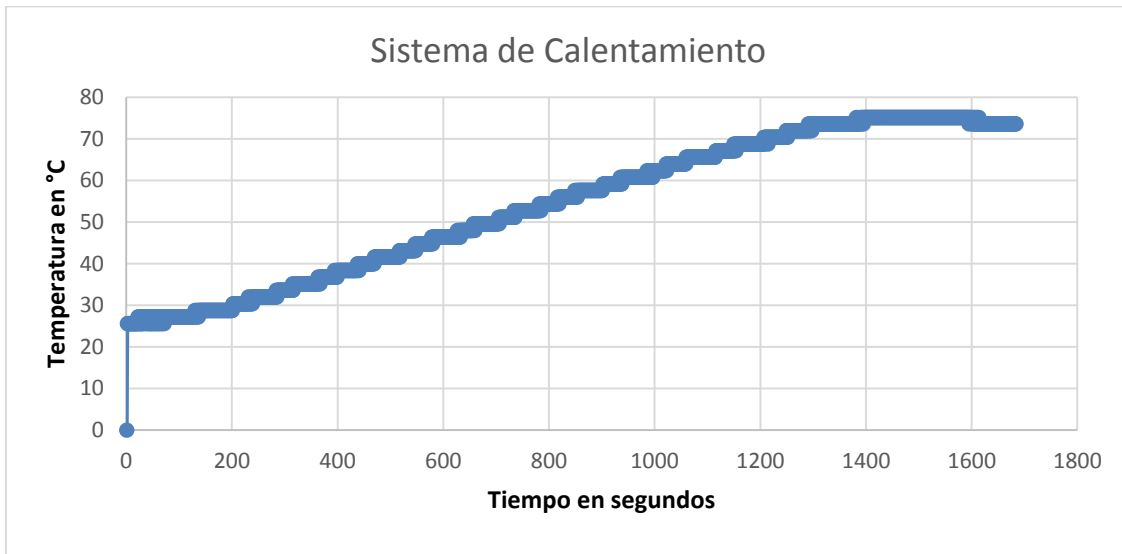
G: 16 TI: 680s SP=55% (40,7°C)



Gráfica 30 Prueba 6: Calentamiento Con Gasto Intermitente (elaboración propia)

Ahora el sistema de enfriamiento tiene un periodo de 10 minutos, 5 minutos encendido y 5 apagado, en la gráfica de respuesta se observa que la oscilación es más pequeña, la temperatura varia de 48.64% a 62.16% y su promedio de porcentaje de temperatura es de 55.4%, así se puede deducir que al disminuir periodo en el sistema de gasto se puede obtener un mejor control.

Como se mencionó, las pruebas realizadas hasta el momento toman los parámetros P e I obtenidos a partir de una curva de reacción donde se el gasto estuvo presente, es decir se dejó activada la circulación de agua a través de la bomba y también se puso en funcionamiento el ventilador. A partir de la siguiente grafica se realizaron las pruebas con una función de transferencia tomada solo con el proceso de calentamiento presentada en la gráfica 32.

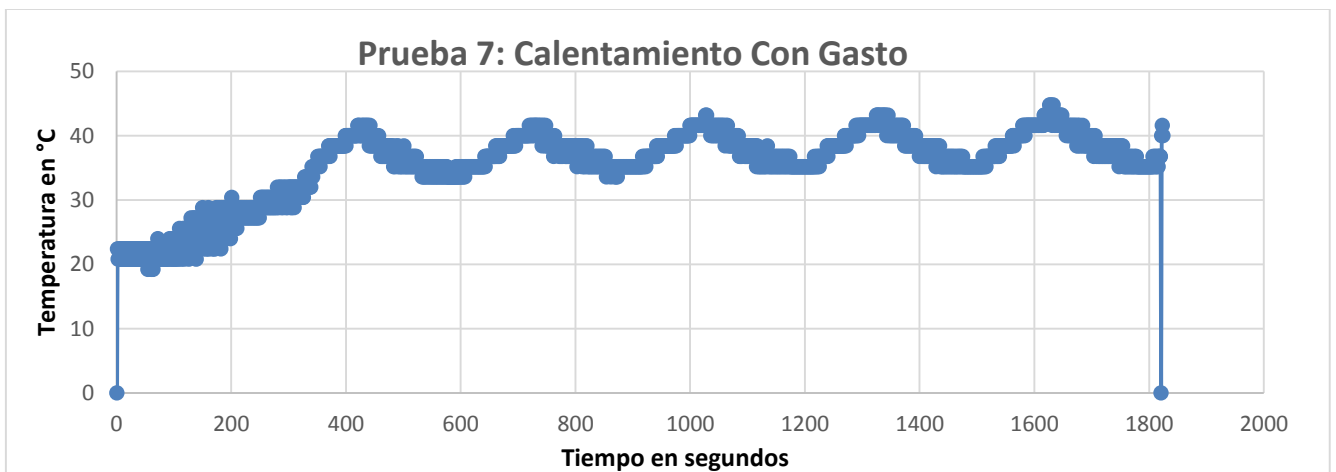


Gráfica 31 Sistema de Calentamiento (elaboración propia)

Prueba 7: Calentamiento Con Gasto intermitente (50%) periodo 10 minutos

Datos de la prueba:

G: 6,35 Ti: 2800 s Sp: 55% (40,7 °C)



Gráfica 32 Prueba 7: Calentamiento Con Gasto (elaboración propia)

Esta prueba se realizó con un gasto del sistema donde se activaba el sistema de enfriamiento por 5 minutos y se apagaba por 5 minutos. Se observa de la gráfica 33 que la

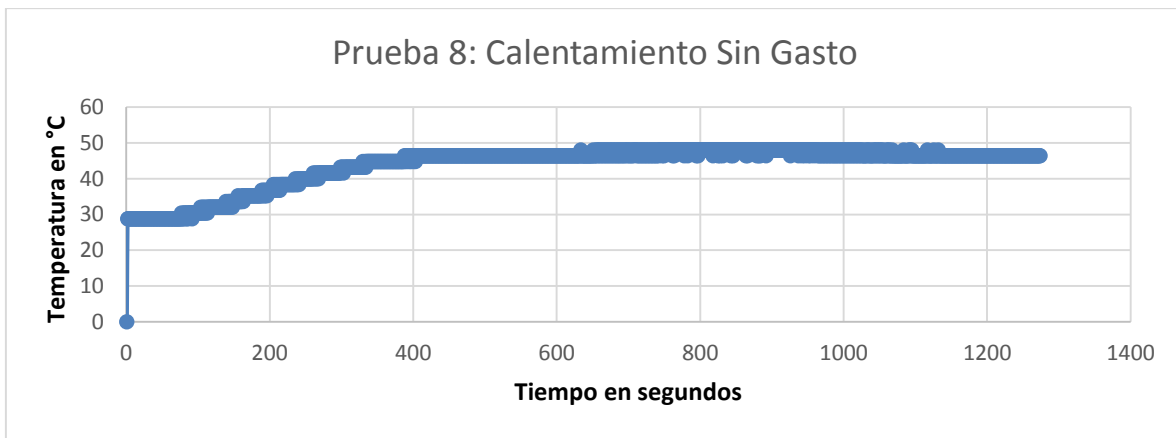
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

temperatura queda oscilando alrededor de los 40 °C debido a los periodos de enfriamiento, Sin embargo, este enfriamiento también facilita que la temperatura no se estabilice en un valor superior al SP como ocurrió en la prueba 3.

Prueba 8: Calentamiento sin gasto

Datos de la prueba:

G: 6,35 Ti: 2800 s Sp: 55% (40,7)



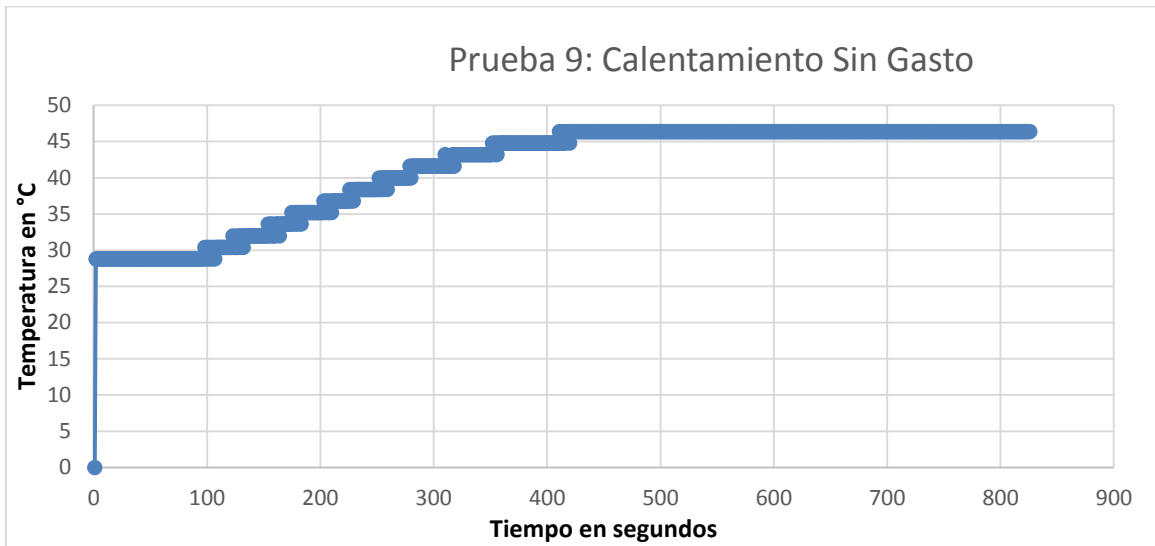
Gráfica 33 Prueba 8: Calentamiento Sin Gasto (elaboración propia)

Con esta gráfica observa se subió la temperatura hasta casi un 64.8% o 48°C cuando el SP es de 55% (40.7°C) y se estabiliza en este valor máximo, nuevamente se evidencia el efecto de la inercia térmica.

Prueba 9: Calentamiento sin gasto (sin tapar el recipiente)

Datos de la prueba:

G: 6,35 Ti: 2800 s SP: 55% (40,7)



Gráfica 34 Prueba 9: Calentamiento Sin Gasto (elaboración propia)

Esta prueba se hizo sin el gasto de enfriamiento y sin tapa, buscando observar el comportamiento de la planta cuando se pierde calor en la parte superior del recipiente. En este caso la temperatura logra estabilizar a los 46 °C.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

CONCLUSIONES

Después de haber realizado la estructura y de realizar las pruebas con gasto y calentamiento, se pudo observar que la planta con valores ajustables puede ejercer un control, y así cumplir el objetivo de ser una planta didáctica para las actividades de automatización y control del programa de electrónica.

Como resultado al diseñar el algoritmo de control, se puede concluir que la planta solo con calentamiento toma mucho tiempo en estabilizarse, la temperatura se estabiliza en un punto superior al SP debido a la inercia térmica. El gasto se hace necesario para lograr la estabilidad de la planta, de lo contrario se debe rediseñar el control para evitar que la temperatura sobrepase el punto deseado.

Los parámetros P e I encontrados por el método sugerido por Ziegler_Nichols resultaron en un comportamiento inestable de la temperatura en la simulación. Sin embargo, al utilizar la herramienta de sintonización de Matlab; la respuesta del sistema mejoró bastante.

Luego de pruebas realizadas se puede concluir que la planta es de gran utilidad para el desarrollo de las prácticas de instrumentación y automatización debido al nivel de complejidad que ofrece el proceso de control, sin embargo, el proceso de conexiones es simple. El estudiante se debe preocupar principalmente en desarrollar un buen algoritmo más que en dedicar demasiado tiempo a la implementación de un montaje.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los resultados obtenidos muestran que no es fácil obtener unos parámetros de control óptimos que posibiliten la estabilización del sistema en un punto deseado, convirtiéndose en un reto para que los estudiantes de control implementen algoritmos más efectivos, tal vez utilizando otras técnicas diferentes o complementarias al control PID.

Se evidencia que el sistema de enfriamiento incorporado en la planta ofrece muchas variantes a las respuestas de las estrategias de control implementadas, esto es, se puede variar las frecuencias de enfriamiento en un amplio margen. Además, se puede combinar el enfriamiento manipulando sus dos salidas; la bomba de circulación y el uso del ventilador.

RECOMENDACIONES

La planta implementada no debe operar a más de 80 °C para evitar la evaporación excesiva del agua con la consecuente pérdida de nivel, esto también evita superar los límites de temperatura de operación de la bomba que es de 80 °C. Por seguridad para los estudiantes la temperatura del agua no debe ser muy alta.

Por limitaciones técnicas de la bomba de circulación, el líquido a utilizar en este proceso debe ser solo agua, se debe evitar el uso de otros fluidos como el aceite.

TRABAJO FUTURO

Se puede realizar una interface con una pantalla HMI para facilitar la visualización en tiempo real del comportamiento de la temperatura y poder manipular fácilmente las salidas básicas correspondientes a la resistencia, la bomba y el ventilador.

Se puede someter la planta a otras técnicas de control diferentes al control PID tales como control por lógica difusa.

Se puede someter la planta a otras acciones de control que complementen la acción PI agregando la acción derivativa.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

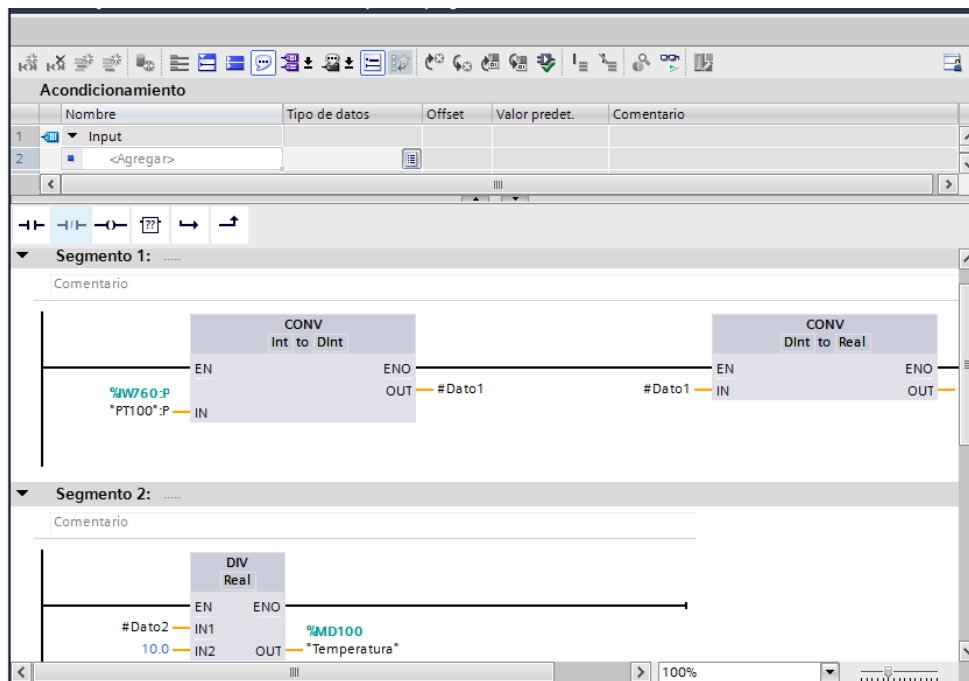
REFERENCIAS

- Aires, U. N. (28 de 07 de 2014). *www.unicen.edu.ar*. Recuperado el 28 de 07 de 2014, de [http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/TranspaSSCC/06capitulo\(PLC\).pdf](http://www.fio.unicen.edu.ar/usuario/ggacosta/TranspaSSCC/06capitulo(PLC).pdf)
- Carlos A. Smit, A. B. (1991). *Control automatico de procesos teoria y practica*. Mexico: EDITORIAL LIMUSA.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial* (8 ed.). México: Alfaomega.
- Creus, A. (2010). *instrumentacion industrial* (octava ed.). Mexico D.F, Mexico: Alfaomega.
- Franklin Electric. (05 de 09 de 2013). <http://www.franklin-electric.com/>. Recuperado el 28 de 07 de 2014, de <http://franklinlinkmx.wordpress.com/2013/09/05/que-es-el-control-pid/>
- Kuo, B. (1996). *Sistemas de control automático* (7 ed.). México: Pretince Hall.
- National instruments. (27 de 06 de 2012). *www.ni.com*. Recuperado el 25 de 07 de 2014, de <http://www.ni.com/white-paper/10635/es/>
- Ogata, K. (1998). *Ingenieria de control moderna*. pearson.
- Ogata, K. (2010). *Ingenieria de control moderna* (Vol. 5). Madrid, España: PRENTICE-HALL.
- Siemens; Manual S7-300. (s.f.). <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S7300ManualProducto.pdf>. Obtenido de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S7300ManualProducto.pdf>
- Villajulca, J. C. (20 de 05 de 2010). <http://www.instrumentacionycontrol.net/>. Recuperado el 28 de 07 de 2014, de <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/222-empezemos-con-los-elementos-finales-de-control--v%C3%A1lvulas-de-control.html>

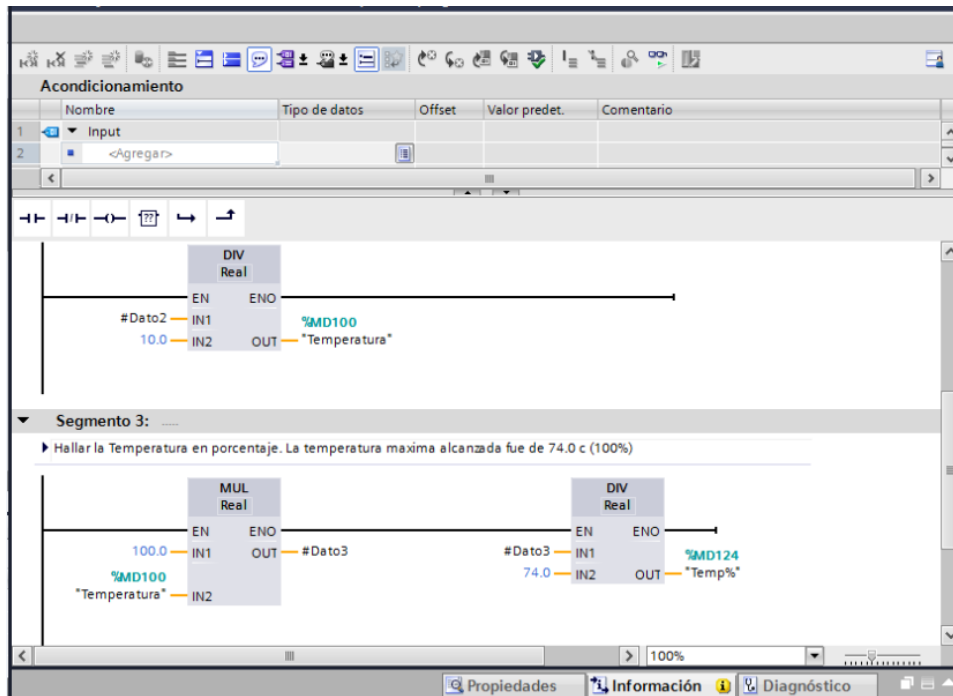
APÉNDICE

A continuación se relacionan imágenes de la programación que se desarrolló en TIA PORTAL, con el fin de ilustrar de forma más precisa y clara lo expuesto anteriormente en resultados y discusión - 2.implementacion del programa del PLC.

Las dos siguientes graficas (grafica 36 y grafica 37) corresponden a la programación en FC1 llamado acondicionamiento en el programa, elaborado en lenguaje KOP.

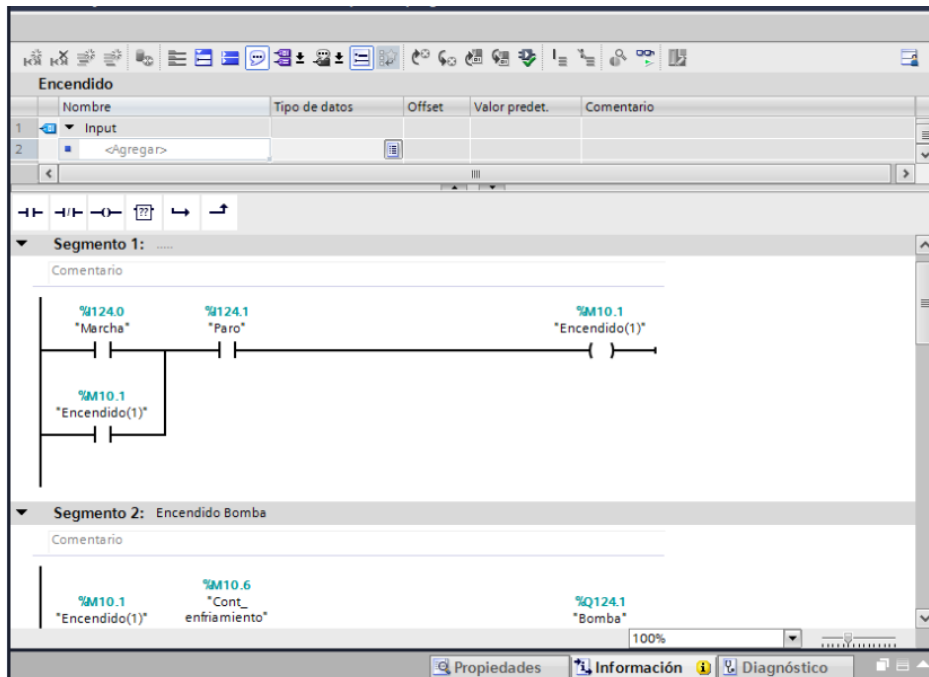


Gráfica 35 Acondicionamiento FC1 pantallazo 1 (elaboración propia)

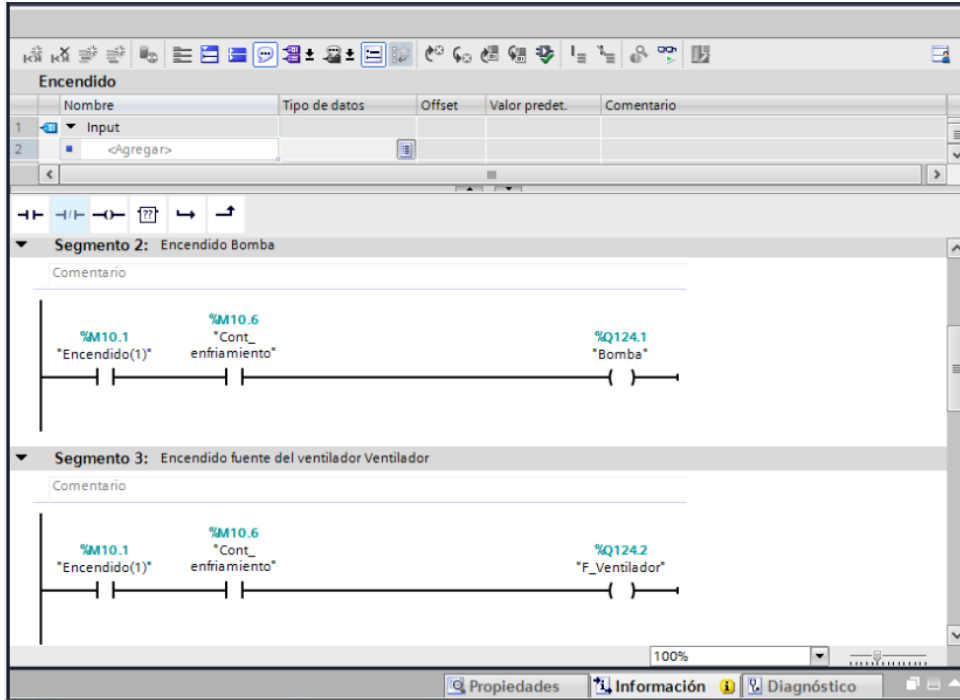


Gráfica 36 Acondicionamiento FC1 pantallazo 2 (elaboración propia)

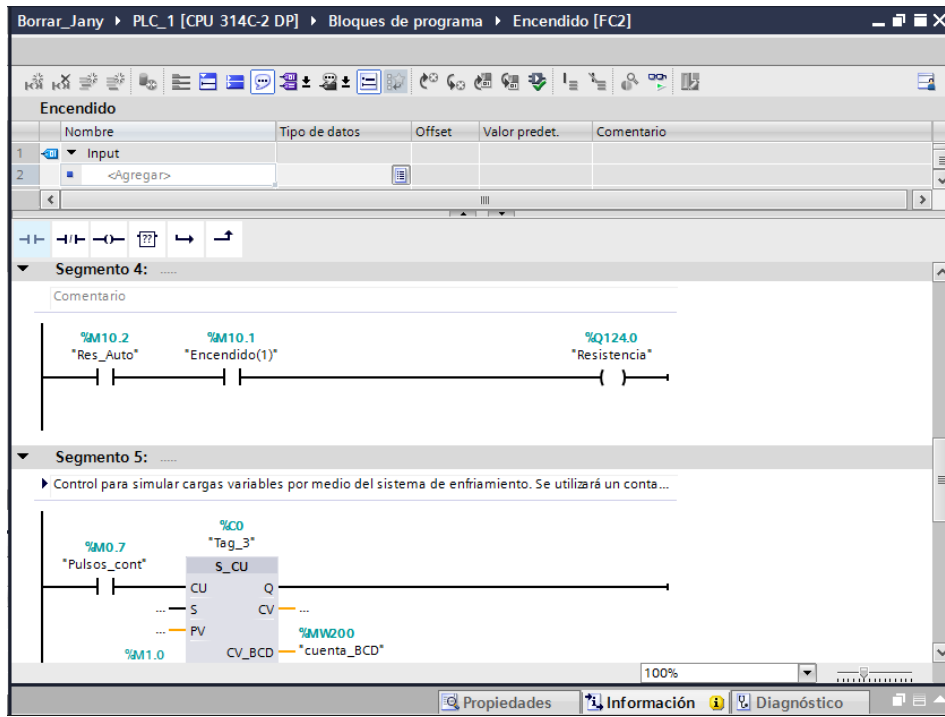
Las cinco siguientes graficas (grafica 38, grafica 39, grafica 40, grafica 41, grafica 42,) corresponden a la programación realizada en FC2 llamado encendido en el programa, elaborado en lenguaje KOP.



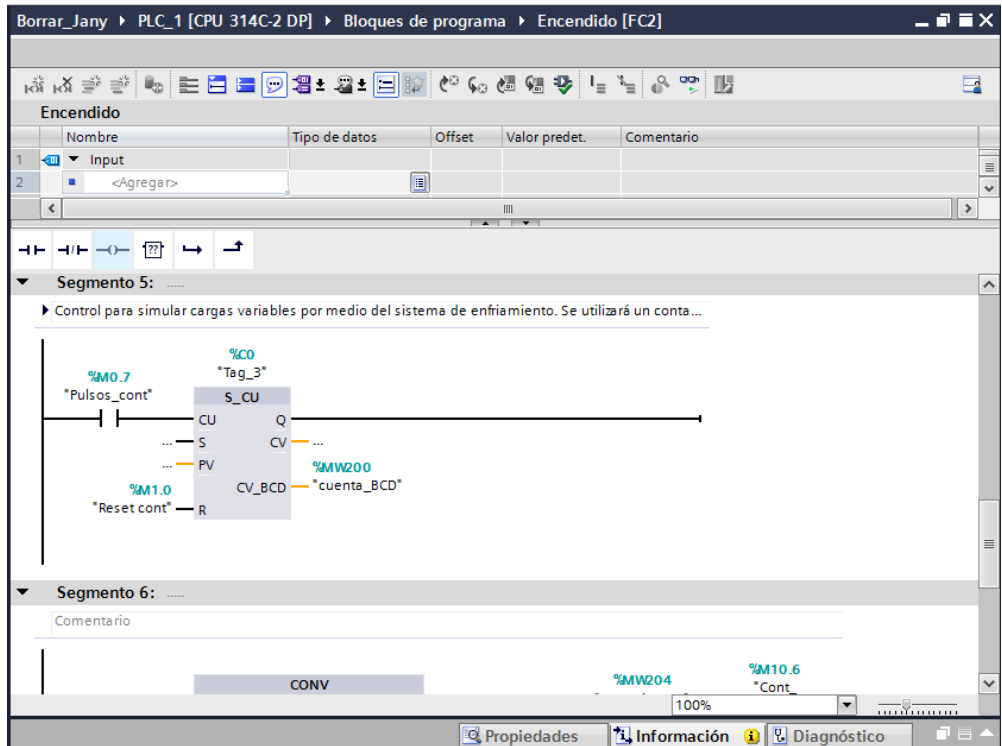
Gráfica 37 Encendido FC2 pantallazo 1 (elaboración propia)



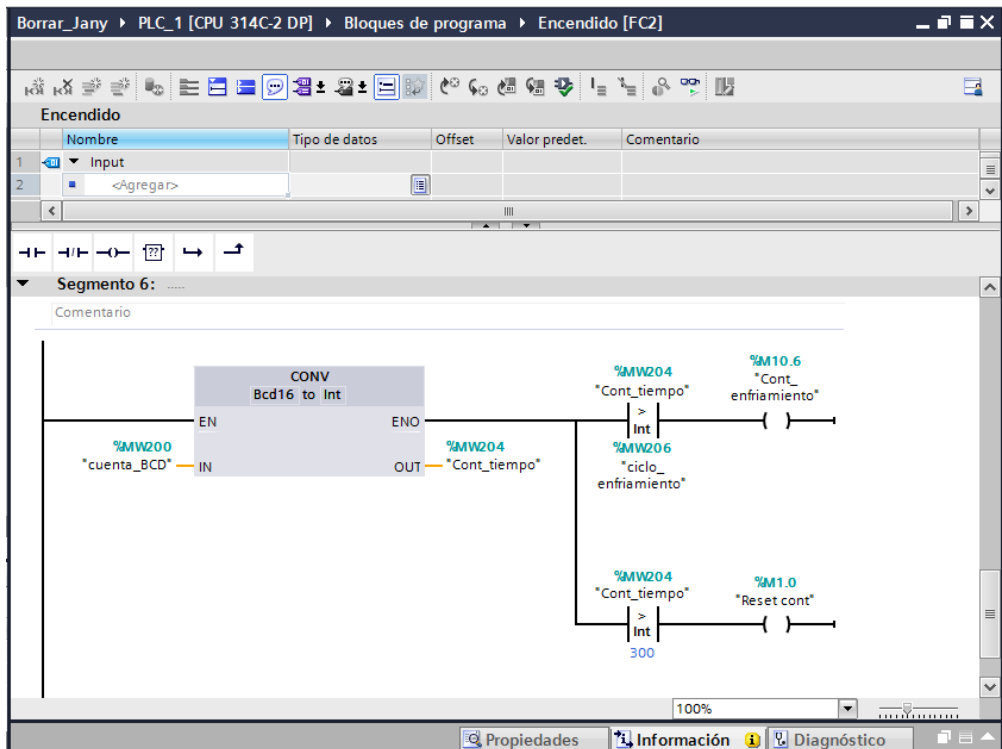
Gráfica 38 Encendido FC2 pantallazo 2 (elaboración propia)



Gráfica 39 Encendido FC2 pantallazo 3 (elaboración propia)

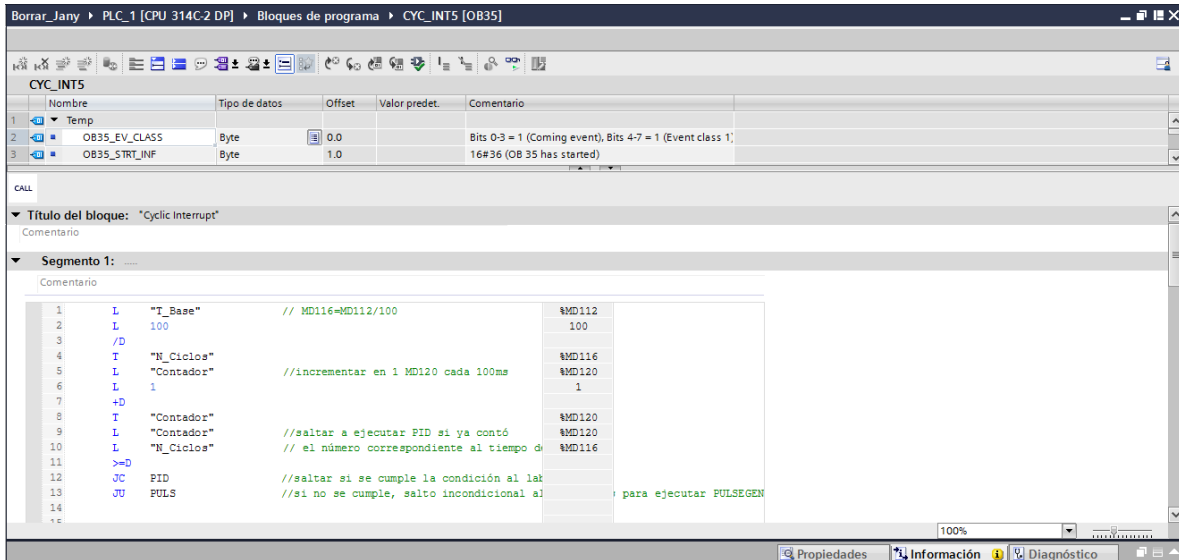


Gráfica 40 Encendido FC2 pantallazo 4 (elaboración propia)

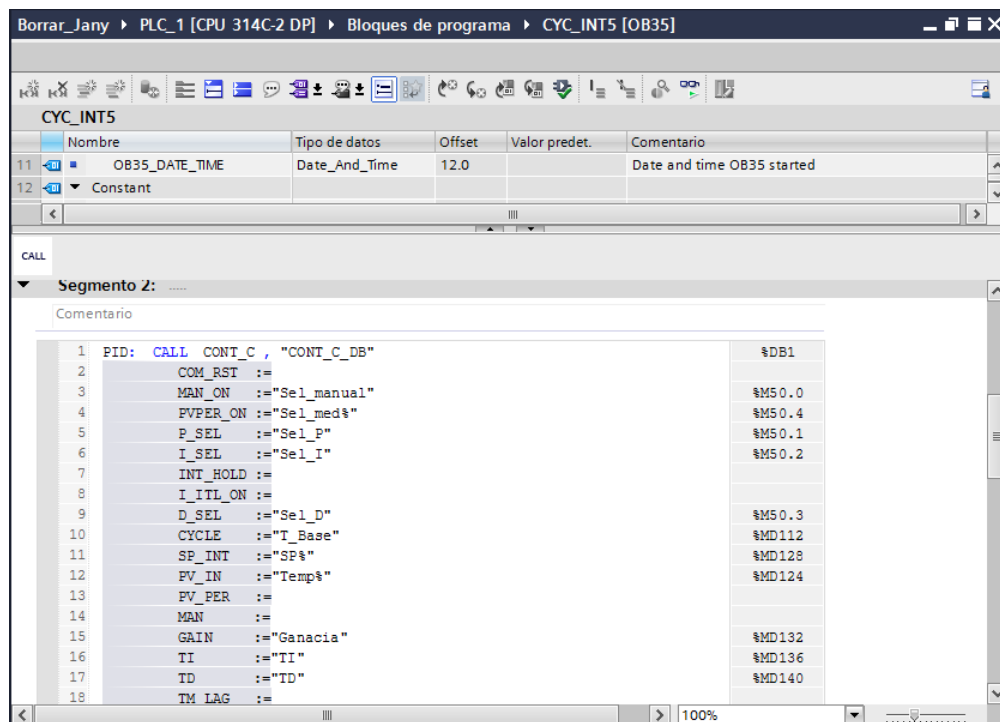


Gráfica 41 Encendido FC2 pantallazo 5 (elaboración propia)

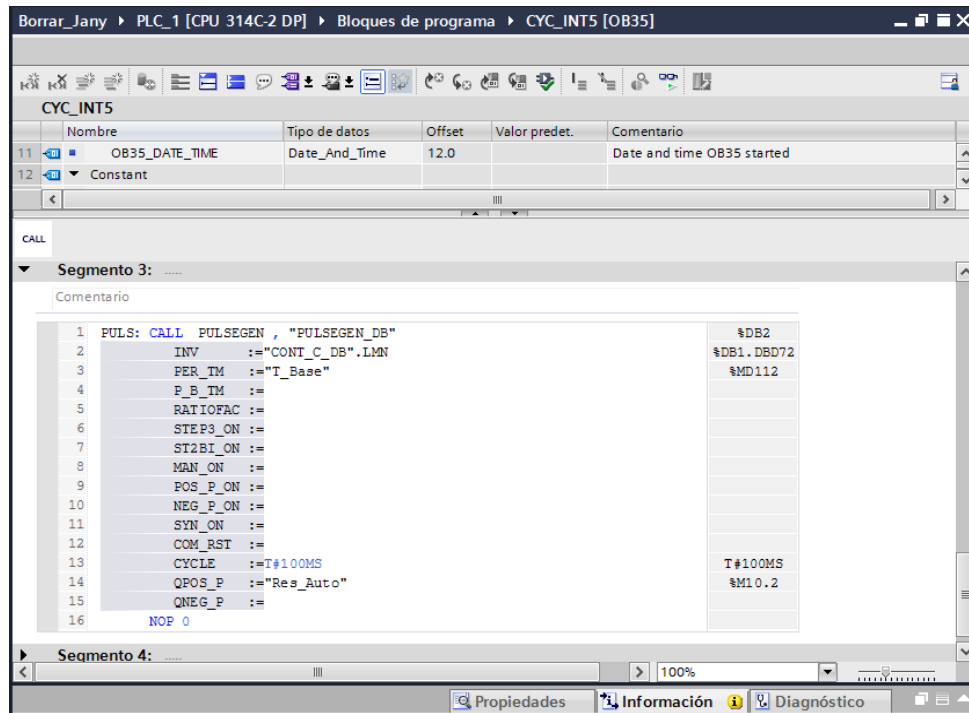
Las siguientes tres graficas (grafica 43, grafica 44, grafica 45,) corresponden a el bloque de programación OB35, que a diferencia del resto del programa, esta parte fue desarrollada en lenguaje AWL.



Gráfica 42 Bloque OB35 Pantallazo 1 (elaboración propia)

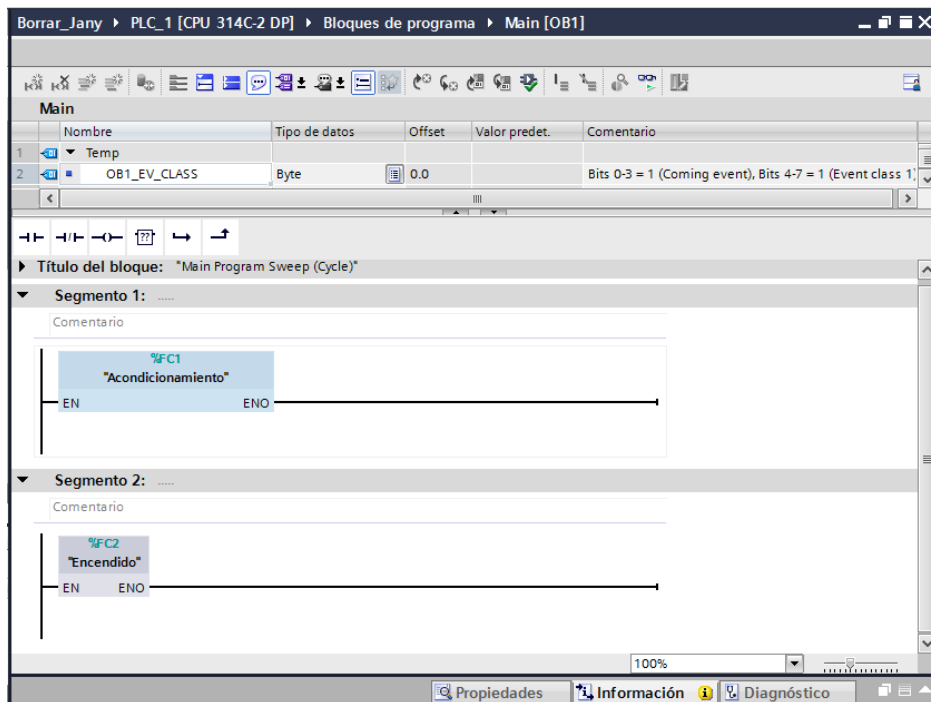


Gráfica 43 Bloque OB35 Pantallazo 2 (elaboración propia)




Gráfica 44 Bloque OB35 Pantallazo 3 (elaboración propia)

La siguiente grafica (grafica 46) corresponde a la programación elaborada en el bloque OB1, en lenguaje KOP.



Gráfica 45 Main OB1 pantallazo 1 (elaboracion propia)

FIRMA ESTUDIANTES Janny Michael Orne R.
Jaimé A. Acevedo Builes.

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____