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


MÓDULO DIDÁCTICO DE CONTROL DE TEMPERATURA

Marilyn Castaño Patiño
Cristian Camilo Rios Monsalve

Director de trabajo de grado:
Wimar Alberto Moreno Silva

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO


27 de octubre de 2017

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

RESUMEN

El presente trabajo de grado fue desarrollado en la modalidad de producto obtenido en talleres o laboratorios del ITM con el objetivo de promover el trabajo experimental de los estudiantes respecto a la asignatura “Sistemas automáticos de control” en la carrera Ingeniería mecatrónica. En este se implementó un control PID para un módulo didáctico de control de temperatura, con el cual la configuración de la señal inyectada para la temperatura es fija y se controla el porcentaje de luminiscencia que tiene una resistencia eléctrica a la salida, para obtener la función de transferencia se adquirieron los datos de la planta física y con estos se construyó una base de datos del comportamiento de la planta ante una perturbación tipo escalón, con esta base de datos construimos, por medio del software Excel, la ecuación que representa la respuesta de la planta, es decir su función de transferencia; luego de obtener la función de transferencia se usó el software MatLAB para conseguir las constantes del controlador PID que se implementó en el trabajo; finalmente fueron ajustadas las constantes del controlador considerando la respuesta real de la planta física y las constantes entregadas por el software. El producto de laboratorio entregado cuenta con su respectivo manual de usuario para el correcto uso de la planta, la instalación de software necesario para el uso de las aplicaciones e igualmente cuenta con la guía de uso de éstas. El producto además se entrega con 3 guías propuestas para el trabajo independiente de los estudiantes.


Palabras clave: Control PID, MatLAB, LabView, Control de temperatura.

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

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios y a nuestras familias por habernos acompañado a lo largo de lo que llevamos de nuestras vidas quienes, con su esfuerzo y apoyo, soporte y dedicación nos brindaron no solo consejos, sino que también nos inculcaron amor por nuestra academia.

A nuestros maestros quienes con sus enseñanzas nos mostraron que estudiar es muy importante para triunfar, ampliaron nuestra visión como personas integra con valores y fundamentos éticos. A nuestros amigos y compañeros que con su apoyo y estima hicieron posible culminar este proceso de conocimiento.

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

ACRÓNIMOS

PID: Controlador Proporcional-Integral-Derivativo.

CAD: Diseño asistido por computadora.

3D: Tridimensional

TEMPCOM: Módulo de control de temperatura.



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

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Generalidades	6
1.2	Objetivo General.....	6
1.2.1	Objetivos específicos	6
1.3	Organización del trabajo.....	7
2.	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Sistemas térmicos	8
2.1.1	Resistencia y capacitancia térmica.....	9
2.1.2	Analogía sistemas térmicos-eléctricos.....	9
2.2	Sensor de Temperatura	10
2.3	Dimmer	11
2.4	Arduino.....	11
2.5	Servo Motor	12
3.	METODOLOGÍA	13
3.1	Método de construcción del sistema.....	13
3.1.1	Sensores y actuadores	14
3.2	Adquisición de la función de transferencia.....	16
3.3	Adquisición de las constantes para el controlador.....	16
3.3.1	Constantes controlador método experimental.....	16
3.3.2	Constantes controlador método teórico	17
3.4	Interfaz gráfica.....	18
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	21
5.1	Conclusiones.....	21
5.2	Recomendaciones y trabajos futuros	21
6.	REFERENCIAS	23

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

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Con el fin de profundizar y reforzar los conocimientos adquiridos en la asignatura “Sistemas automáticos de control” sobre cómo funciona y como se construye un control de temperatura, se vio la necesidad de desarrollar un módulo didáctico llamado TEMPCOM, el cual permite sensor en tiempo real la temperatura emitida por una resistencia eléctrica y ejercer un control sobre esta. La función de transferencia de este sistema se obtiene a partir de datos de la planta sometida a una perturbación tipo escalón y con ayuda del software MatLAB, se hallan las constantes de un controlador capaz de mantener el sistema en equilibrio.


El módulo didáctico TEMPCOM cuenta con dos interfaces gráficas implementadas en el software LabVIEW que permiten el desarrollo de tres guías de laboratorio propuestas, con las cuales se identificará el tipo de sistema y los elementos que lo componen, además, permitirá hallar la función de transferencia necesaria para poder encontrar las constantes de un controlador adecuado para el mismo sistema.

1.2 Objetivo General

Construir un módulo didáctico de control de temperatura que contribuya a fortalecer los conocimientos adquiridos en la asignatura “Sistemas automáticos de control” además de desarrollar el software adecuado para el manejo de este.


1.2.1 Objetivos específicos

- Desarrollar una interfaz gráfica que permita determinar el comportamiento de la planta en el tiempo.
- Permitir la modificación de patrones relevantes en la planta, con el objeto de poder analizarla y de esta manera formar criterios que refuercen los conocimientos teóricos.
- Proponer tres guías de trabajo independiente e implementar el manual de usuario para el adecuado manejo del módulo y desarrollo de las prácticas de laboratorio.
- Facilitar la enseñanza del docente en la asignatura “Sistemas Automáticos de Control.”

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1.3 Organización del trabajo

Este trabajo relata todo el proceso de desarrollo del módulo didáctico TEMPCOM dividido en 5 secciones de la siguiente manera: en la sección uno encontramos la introducción al trabajo, su justificación y objetivos, en la segunda sección se presentan los conceptos básicos para comprensión del desarrollo del módulo didáctico. En la sección tres se puede observar la metodología empleada no solo para la construcción del módulo sino también la obtención de los datos necesarios para la puesta a punto. En la cuarta sección se muestran los resultados obtenidos del funcionamiento de la planta con las constantes previamente halladas. Finalmente, en la última sección se discuten las conclusiones obtenidas, además de recomendaciones y trabajos futuros relacionados con TEMPCOM.

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

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas térmicos

Los sistemas térmicos son aquellos que involucran la transferencia de calor de una sustancia a otra. Estos sistemas se analizan en términos de resistencia y capacitancia, aunque la capacitancia térmica y la resistencia térmica tal vez no se presenten con precisión como elementos de parámetros concentrados, como, por lo general, están distribuidos en todas las sustancias. Para lograr análisis precisos, deben de utilizarse modelos de parámetros distribuidos (Ogata 2010).

El calor fluye de una sustancia a otra de tres formas diferentes: por conducción, por convección y por radiación, Aquí solo se considera la convección. (Ogata 2010). Esta última se puede describir como “la transferencia de energía entre una superficie y un fluido (Gas) que se mueve sobre esta” (Incropera y DeWitt, 1999).

Con base en el trabajo de Saldívar. R, Miguel. A, y Vázquez. A: Diseño y construcción de un control de temperatura para el Experimento de Franck-Hertz, la transferencia de calor ya sea por conducción o convección se encuentra definida por la siguiente ecuación:

$$q = K\Delta T \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

$q [Kcal/s]$ es el flujo de calor.

$\Delta T [^{\circ}C]$ es la diferencia de temperatura.

$K [Kcal/s * ^{\circ}C]$ es un coeficiente que se obtiene de dos maneras dependiendo del tipo de transferencia de calor.


Para la transferencia de calor por convección, la conductividad térmica se halla usando la ecuación 2.

$$K = HA \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

$H [Kcal/m^2 * s * ^{\circ}C]$ es el coeficiente de convección.

$A [m^2]$ es el área normal para el flujo de calor.

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

2.1.1 Resistencia y capacitancia térmica

La resistencia térmica para la transferencia de calor entre dos sustancias se encuentra definida por la ecuación 3.

$$R = \frac{\partial(\Delta T)}{\partial \Delta q} = \frac{1}{K} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dado que los coeficientes de conductividad y convección térmica son casi constantes, la resistencia térmica para la conducción o convección es constante.

La capacitancia térmica se puede definir de dos formas, mediante la ecuación 4 mostrada a continuación o la ecuación 5.

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

ΔQ [Kcal] es el cambio en el calor almacenado.

$$C = mc \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

m [Kg] es la masa de la sustancia considerada.

c [Kcal/Kg * °C] es el calor específico de la sustancia.

2.1.2 Analogía sistemas térmicos-eléctricos

Frecuentemente se necesita controlar la temperatura en procesos térmicos complejos, para lo cual el flujo de calor a través de una sustancia se modela con una analogía a sistemas eléctricos como podemos observar en la tabla 1.

Tabla 1 – Analogía sistemas térmicos-eléctricos

Magnitud Térmica	Símbolo Térmico	Magnitud Eléctrica	Símbolo Eléctrico
Temperatura	T	Voltaje	V
Flujo de calor	Q	Corriente	I
Capacitancia térmica	C	Capacitancia eléctrica	C
Resistencia térmica	R	Resistencia eléctrica	R

Nota: Adaptación de la tabla 2.10. Analogía térmica-eléctrica de Valdivia, C. (2012). Sistemas de control continuos y discretos, pág. 55.

Para este producto se consideró un ambiente ideal: un recinto térmico cerrado con una resistencia calefactora y con un aislante térmico, pero en última instancia se optó por trabajar en un ambiente semi-cerrado y donde los únicos aislantes térmicos existentes son las paredes del recinto. Se considera el producto como un sistema térmico por convección donde el calor fluye desde la resistencia hacia el aire.

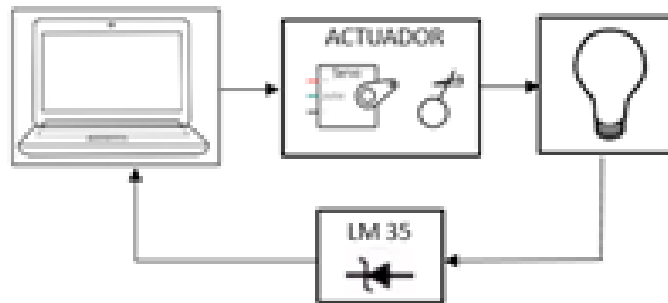



Figura 1. Configuración esquemática de la planta. Tomado de: Elaboración propia.

2.2 Sensor de Temperatura

Todos los sensores de temperatura infieren esta al detectar algún cambio en una característica física. Existen varios tipos de sensores en esta categoría como: termopares, dispositivos de temperatura resistivos, dispositivos de dilatación de líquido, bimetálicos y radiadores infrarrojos (Empresa Omega, 2003-2017).

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión que esta calibrada de 1°C y un rango que puede abarcar desde -55°C hasta los 150°C. Solo requiere de 3 conexiones para poder funcionar, de las cuales 2 de ellas son GND (tierra) y positivo (Vdd), el otro pin es la salida

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

el cual se puede conectar a una entrada digital de un controlador (Texas Instruments, 1999) como podemos observar en la figura 5.

Se seleccionó este tipo de sensor debido al bajo costo que posee, además no requiere de ningún tipo de conversión ni calibración externa

2.3 Dimmer

Se utilizan para regular la energía de una o varias lamparas, también es un dispositivo de reducido tamaño cuya misión es la de regular y manipular la intensidad de la luz que emite una lámpara eléctrica. Se encuentran tanto manuales como automáticos, pero por fácil consecución y precio asequible el presente producto cuenta con un regulador de voltaje AC 2000W SCR manual (Ver figura 7).

2.4 Arduino

Plataforma de prototipos de electrónica en donde se pueden realizar códigos abiertos (Staff USERS,2014). Basada en una planta con un micro controlador específicamente de AMTEL y un entorno de desarrollo que permite al usuario crear programas que interactúan con circuitos electrónicos, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en procesos multidisciplinarios.

Al ser un elemento usado a nivel mundial no solo es fácil adquirirlo, sino también manejarlo por lo cual se emplea específicamente Arduino UNO (Ver Figura 2) como una tarjeta de adquisición de datos.

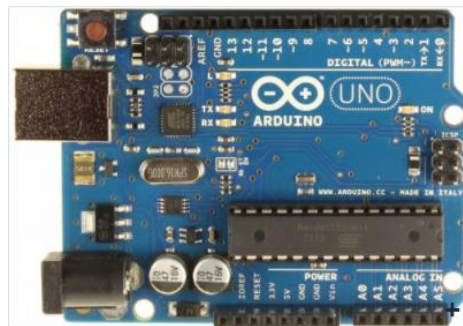




Figura 2. Arduino uno. Tomado de: <https://www.ardobot.com/arduinouno.html>

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2.5 Servo Motor

Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado (García, 2016). Está diseñado para moverse determinada cantidad de grados y luego mantenerse fijo en una posición. Además, consisten en un motor eléctrico, un juego de engranes y una tarjeta de control, todo confinado por una carcasa de plástico. Estos servomotores funcionan por medio de modulación de ancho de pulso(PWM).

Para el producto se empleó un servomotor MG996R como accionador manual del Dimmer (Ver figura 6).

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

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del módulo didáctico es necesario construir una planta con la cual se puedan obtener datos de la temperatura emitida por una resistencia eléctrica en tiempo real.

3.1 Método de construcción del sistema

Se seleccionan los elementos necesarios para la construcción y el funcionamiento del módulo considerando las características de cada uno de ellos y como se adaptan a la aplicación requerida (Sección 3.1.1).

Se realiza un diseño 3D en el software SolidEdge, en donde se consideró la mejor ubicación para los componentes como: sensores y actuadores (Ver imagen 3).

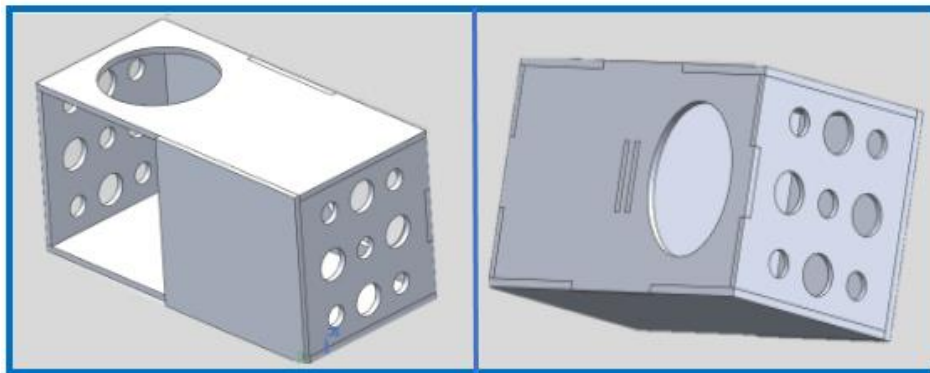


Figura 3. Vista delantera y trasera de la planta CAD. Tomado de: Elaboración propia.

Por último y con base en el software de CAD se desarrolló la planta real (Ver figura 4).



Figura 4. Módulo didáctico TEMPCOM. Tomado de: elaboración propia.



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

Tabla 2 - Características de los sensores y actuadores

Elemento	Descripción	Ventajas	Desventajas
Sensor de temperatura LM35	<ul style="list-style-type: none"> - Salida Digital - Rango: -55° a 150°C - Voltaje de alimentación: 4-30 V - Consumo de corriente: 60μA - Auto Calentamiento: menos a 0.08 en espacios sin flujo de aire - Resolución: ±1/4°C 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo costo ✓ Salida señal digital ✓ Alta resolución de trabajo ✓ Consumo de baja corriente 60μA 	
Servo Motor MG996R	<ul style="list-style-type: none"> - Engranajes del Metal - Teniendo dos hileras de bolas - Conector de 300mm, longitud del cable (12") - Dimensiones: 40mm x 19mm x 43mm - Peso: 55g - Velocidad de funcionamiento: 0.17sec / 60grados (4.8V sin carga) - Velocidad de funcionamiento: 0.13sec / 60grados (6.0V sin carga) - Puesto par: 9Kg-cm en 4.8V - Puesto par: 12Kg-cm en 6V - Voltaje: 4.8- 7.2V - Ángulo: 180 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto torque de trabajo ✓ Bajo costo ✓ Ligero 	x Resolución de trabajo media
SCR Dimmer	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia máxima: 2000w - Regulación de voltaje: 50V- 220V - Dimensiones: 6.0x5.0x3.0 cm - Tensión hasta de 1200v 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ahorro del consumo eléctrico ✓ Alto rendimiento ✓ Manejo a distancia 	x Poco accesible

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

3.2 Adquisición de la función de transferencia

Para la obtención de la función de transferencia es necesario contar con un sistema de adquisición de datos en tiempo real, el cual fue desarrollado con ayuda de LabView y con un Arduino UNO (Ver sección 3.4 y Manual de usuario módulo control de temperatura), llamado Interfaz I.

Con ayuda de la interfaz I, se excita el sistema por medio de una función escalón para conocer la respuesta a esta (Flores,2013). La obtención de la gráfica que describe el comportamiento de la planta (Ver figura 8) se hizo con ayuda del software Excel en el cual se importaron los datos obtenidos en LabView (Ver Apéndice 1). La función de transferencia obtenida es la indicada en la ecuación 6.

$$Y(s) = \frac{0,34709307}{1641,62392S + 1} U(s) \quad \text{Ecuación 6.}$$

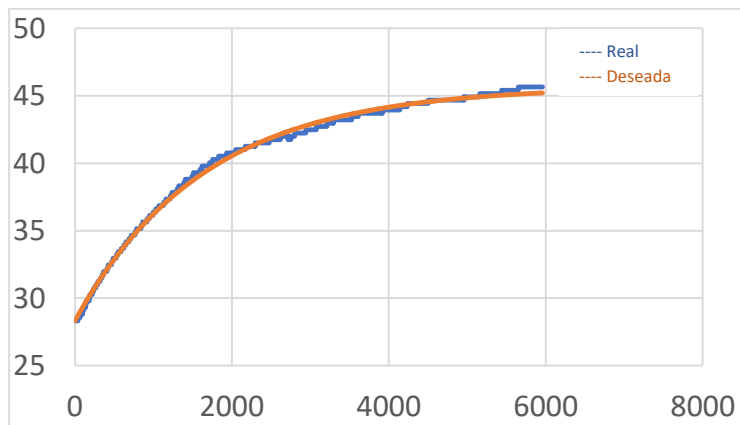


Figura 8. Grafica del comportamiento de la planta. Tomado de: elaboración propia.

3.3 Adquisición de las constantes para el controlador

3.3.1 Constantes controlador método experimental

Una vez obtenida la función de transferencia, se exportan los datos de temperatura vs tiempo del apéndice 1 al software MatLab con el cual se calculó las constantes ideales de un controlador PID (Ver figura 9) para la planta mencionada anteriormente.

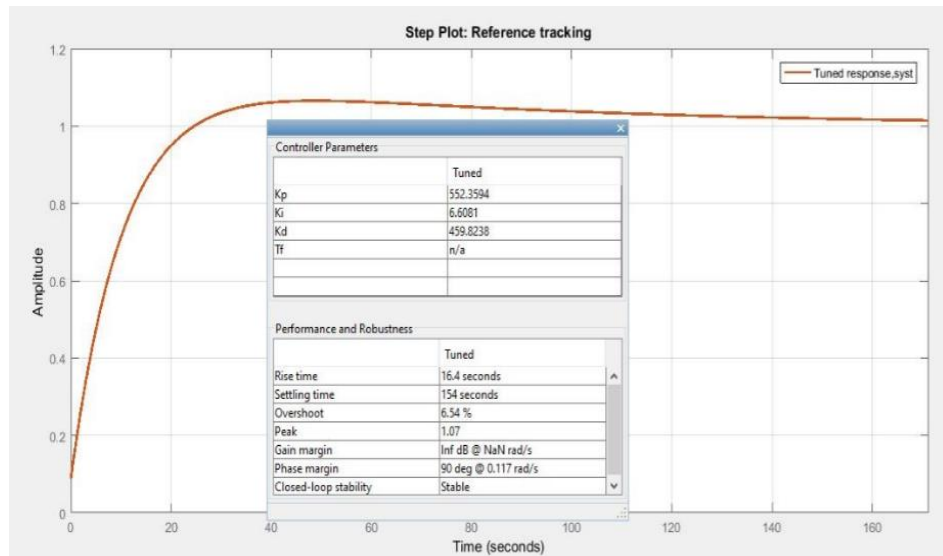


Figura 9. Constantes del controlador PID obtenidas en MatLAB. Tomado de: Elaboración propia.

3.3.1.1 Ajuste de ganancias del controlador

Los valores entregados por el software MatLab son ideales, lo que implica realizar un ajuste a estos con la planta en funcionamiento para alcanzar una estabilidad, los nuevos valores los podemos observar cuales en la tabla 3 ya con el respectivo ajuste experimental.

Tabla 3 - Constantes ajustadas del controlador PID


Constante del controlador PID	Kp	Ki	Kd
	10	7,5	458

3.3.2 Constantes controlador método teórico

Con la función de transferencia mostrada en la ecuación 6 se propuso un controlador tipo PI hallado usando el método de Truxal-Ragazzini, en el cual “se parte de un modelo deseado de funcionamiento en lazo cerrado que cumpla con las especificaciones deseadas” (Ortiz, Ramírez y Cardona, 2011). Los valores para las constantes del controlador se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 - Constantes del controlador PI

Constante del controlador PID	Kp	Ki
	154,1642	0,09391

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

3.4 Interfaz gráfica

Para el diseño de las interfaces gráficas (Ver Figuras 10 y 11) requeridas, se usó el entorno de programación visual del software LabView.



Figura 10. Interfaz Gráfica I TEMPCOM. Tomado de: Elaboración propia.

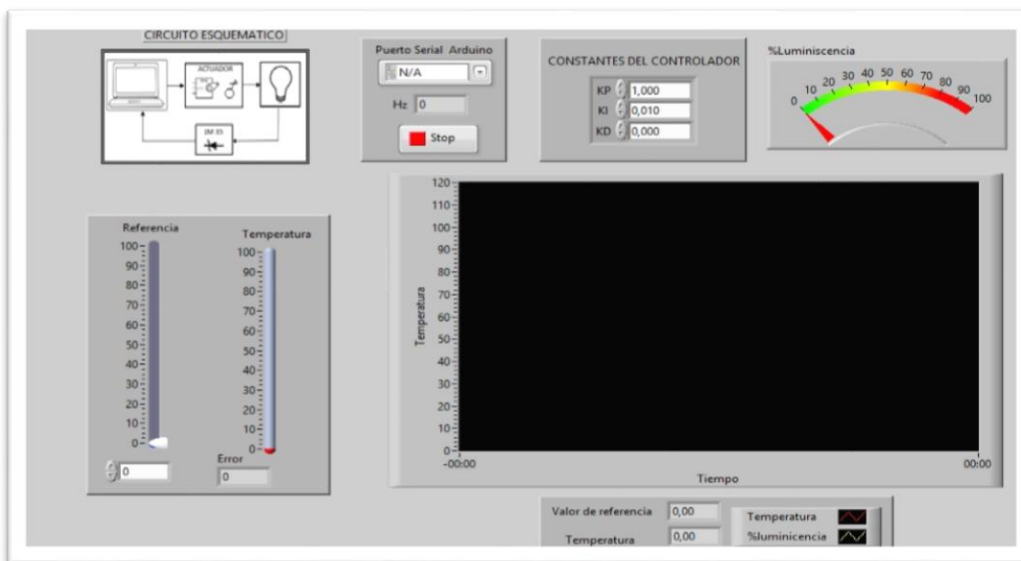



Figura 11. Interfaz Gráfica II TEMPCOM. Tomado de: Elaboración propia.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados obtenidos una vez construido el módulo de control de temperatura TEMPCOM, el cual podemos observar en la figura 12 junto con el accesorio requerido para la realización de las prácticas de laboratorio. Ambos fueron entregados al Laboratorio Mecatrónica del ITM (G-3017).




Figura 12. Módulo TEMPCOM y accesorio. Tomado de: Elaboración propia

En la figura 13 se puede observar el comportamiento final de la planta una vez implementadas las constantes del controlador, las cuales se encuentran en la tabla 3 (Ver Figura 13). En la figura se puede apreciar que con los valores de las constantes corregidos experimentalmente la planta es capaz de mantener la temperatura en la referencia deseada, a pesar de esto es notorio que posee ciertas perturbaciones causadas por la precisión de los sensores y probablemente por las constantes encontradas experimentalmente, puesto que pueden existir valores que brinden mayor precisión al control.



Figura 13. Comportamiento de la planta TEMPCOM Control Experimental. Tomado de: Elaboración propia.

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

En la figura 14 podemos observar el comportamiento de la planta frente al controlador PI calculado teóricamente (Ver tabla 4). Es apreciable que este control es aceptable ya que es capaz de mantener la temperatura con un margen de error de 1°C . cabe aclarar que el control presenta mínimas perturbaciones las cuales se pueden mejorar usando otros valores para las constantes.

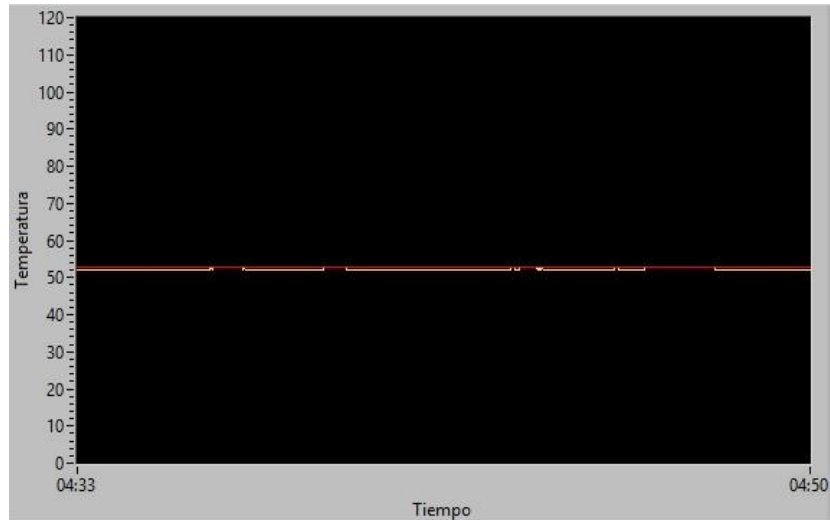



Figura 14. Comportamiento de la planta TEMPCOM Control Teórico. Tomado de: Elaboración propia.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- Se consiguió la construcción de una planta de control de temperatura didáctica conformada por un módulo de trabajo físico y un software adecuado para el manejo de este, la cual permite afianzar los conocimientos adquiridos sobre teoría de control de manera experimental.
- Se implementaron dos interfaces gráficas que permiten analizar el comportamiento de la planta a partir de cualquier valor ingresado por el usuario sin importar que estos proporcionen un control o no de la misma.
- se presentaron 3 guías para el trabajo independiente de los estudiantes y un manual de usuario con las recomendaciones de seguridad y correcto manejo del módulo, lo que logra facilitar la labor del docente al momento de educar.
- Se encontró que los valores de las constantes halladas tanto experimentales como teóricas para el control del módulo cumplen satisfactoriamente con su objetivo, pero no se descarta la existencia de valores que puedan mejorar estos resultados.
- Es posible concluir que el módulo cumple con todos los requerimientos solicitados, aunque los resultados obtenidos del comportamiento de la planta frente a una excitación pueden ser mejorados si fuera posible controlar todas las perturbaciones externas a esta.

5.2 Recomendaciones y trabajos futuros

Se recomienda adquirir otro tipo de sensores de temperatura como el **DS18B20** (Ver Figura 14) que cuenten con mayor precisión para poder reducir el margen de error en la medición, la cual representa la parte más importante para obtener los valores adecuados de los controladores.

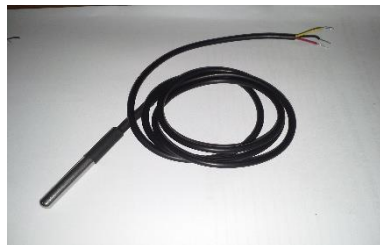




Figura 15. Sensor de Temperatura DS18B20. Tomado de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensor_DS18B20.jpg.

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

Es recomendable también recubrir las paredes del módulo con materiales adiabáticos, como lo serían la porcelana, fieltro o amianto para tratar de simular un entorno más ideal.


Como trabajos a futuro, se propone:

- Cambio de sensores para obtener medidas precisas y que abarquen un amplio rango de temperaturas.
- Cambiar la lámpara eléctrica por una resistencia calefactora que permita simular las condiciones de un horno industrial.
- Reemplazar los elementos de alimentación por unos de tamaño considerablemente pequeños para ampliar el espacio dentro del módulo.
- Cambiar el actual Dimmer por uno automático, ya que esto aumenta la velocidad de respuesta ante una perturbación.
- Implementación de otro tipo de interfaz que permita el acercamiento a otra clase de control como el digital.

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

6. REFERENCIAS

- [1] Katsuhiko, O. (1998). Ingeniería de control moderna. Editorial Prentice Hall.
- [2] Incropera, F.P., y DeWitt, D.P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Educación.
- [3] Saldívar, R; Miguel, A; Vázquez, A. (2012). Diseño y construcción de un control de temperatura para el experimento de Franck-Hertz. Universidad Nacional Autónoma de México UNAM.
- [4] Valdivia, C. (2012). Sistemas de control continuos y discretos. Editorial Paraninfo.
- [5] Omega. (2003-2018). Sensor de temperatura, introducción y tipos. Recuperado de: <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>
- [6] Texas Instruments. (Agosto 1999-Revisado Julio 2013). LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Recuperado de: http://www.sophphx.caltech.edu/Physics_5/Data_sheets/lm35.pdf
- [7] Staff USERS. (2014). Electrónica – Plataformas Arduino y Raspberry Pi. Editorial USERS.
- [8] García, A. (2016). ¿Qué es y cómo funciona un servomotor? Publicado por: PANAMAHITEK. Recuperado de: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>
- [9] Agustín, F. (2013). Obtención de la función de transferencia del sistema mediante la identificación paramétrica a partir de los datos experimentales. Instituto Tecnológico de Mérida.
- [10] Ortiz, P.A., Ramírez, J.L., y Cardona, L. (2011). Modelo matemático y control de un sistema de fluidos. Medellín, Colombia: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- [11] Gibbons, R. (2007). Electrónica de potencia. Control de temperatura. Universidad Nacional de Rosario.

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

FIRMA ESTUDIANTES _____


 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: _____