

Análisis de sistemas de control en procesos didácticos multivariables

Analysis of control systems in multivariable didactic processes

Darío I. Zapata¹, Víctor F. Núñez², Byron P. Corrales³, Luigi O. Freire⁴

Recibido 10 de mayo de 2022; revisión aceptada 20 de junio de 2022

RESUMEN:

El presente trabajo muestra el diseño y construcción de un módulo multivariable para el análisis de sistemas de control enfocado en el desarrollo de prácticas de laboratorio para procesos de temperatura y luminosidad empleando para su sintonización el método de Lambda. Por medio de la investigación bibliográfica y experimental, se determina el diseño esquemático de los circuitos acondicionadores del sistemas de control para el ventilador y el foco incandescente, así como también de la adquisición de datos de los sensores de temperatura y luminosidad empleados. Se realizó los diseños en softwares de elementos finitos para a continuación materializarlos en una placa teniendo como producto final el módulo para posteriores pruebas. La comunicación de datos entre el software y el módulo se la realizó mediante una tarjeta de adquisición de datos dependiendo la lógica de programación y los requerimientos del sistema. Finalmente, se puede determinar el control de los procesos teniendo al final del tipo ON-OFF y PID, de acuerdo a estos resultados se identifica que el sistema es adecuado para que sea empleado en prácticas a fin de experimentar diferentes aspectos relacionados al control automático y su relación en procesos multivariables.

Palabras claves: Procesos multivariables, Sistema de Control, Control ON-OFF, Control PID, PWM.

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, dario.zapata1741@utc.edu.ec

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, victor.nunez0683@utc.edu.ec

³ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, byron.corrales@utc.edu.ec

⁴ Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador, luigi.freire@utc.edu.ec

ABSTRACT:

The technological proposal shown is the design and construction of a multivariate module for the analysis of Control Systems at the Laboratory of Electromechanical Engineering of the Technical University of Cotopaxi, For the development of control practices of temperature and luminosity according to the Lambda method for its tuning and with this an adequate analysis taking data in real time, by means of bibliographic and experimental research, the schematic design is determined of the control system conditioning circuits for the fan, the incandescent bulb and with this the design of the data acquisition as both temperature LM35 and LDR luminosity sensors, developing the software designs of finite elements and then materializing them on a plate, to be placed their components, having as final product the module already completed for later tests, the data communication between software and module is by means of a data reception and emission card depending on the programming logic of the interested party and the requirements that it wishes to acquire , using developed programs, the temperature control can be determined by tuning with at the end a PID and ON-OFF control and LDR ON-OFF control of a brightness control system, determining with these tests the proper functioning of the module that will be used for practices directed toward the practical theoretical learning of the student, strengthening his/her skills and knowledge.

Keywords: Multivariable processes, Control System, ON-OFF Control, PID Control, PWM.

Recibido : 04 de Julio del 2022, revisión aceptada 07 de Julio del 2022

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control forman una parte esencial en los procesos automatizados ya que han desempeñado un factor importante en el progreso de la ciencia y la ingeniería. Los sistemas autómatas son multidisciplinarios siendo utilizados en distintas aplicaciones como vehículos espaciales, robótica, electrónica, control de variables de las diferentes variables físicas y como no en cualquier proceso industrial [1].

El control es el sistema por el cual se mantiene un proceso en condiciones que se deseen llamadas condiciones de referencia, la finalidad de un sistema de control es que este se mantenga estable en un punto fijado. No es necesario tener el conocimiento interno o cómo interactúan todos los elementos del sistema, si no cuál es la relación entre las señales de entrada y salida de este, la cual recibe el nombre de función de transferencia y se representa mediante ecuaciones diferenciales [2].

El control PID es el algoritmo de control más utilizado en la industria y se ha utilizado en todo el mundo para sistemas de control industrial. Tiene un desempeño robusto en varios escenarios

industriales, sumado a su simplicidad funcional, que permite a técnicos e ingenieros operarlos de manera simple y directa. Este algoritmo está compuesto por tres coeficientes: proporcional, integral y derivado, que se varían para obtener la respuesta temporal óptima [3]. La tecnología evoluciona constantemente, por este motivo las industrias buscan digitalizar y automatizar sus plantas de control [4].

Gracias a los avances científicos y tecnológicos que existen es más práctico para los profesionales del área en industrias diseñar e innovar en los sistemas de control; sin embargo no siempre ha sido así para todo investigador o estudiante; los grandes avances y sistemas son cada vez más sofisticados pero a su vez más complejos, esto demanda para las nuevas generaciones estar capacitados y tener dominio en los sistemas de control, por ello el enfoque del presente artículo es explicar cómo funciona el sistema de control PID de una manera más sencilla y dinámica, mencionando los fundamentos matemáticos pero a su vez explicando cómo actúan en el modelado físico pretendiendo así que la ruta de aprendizaje para un alumno sea interactiva, clara y más interesante que solamente operaciones matemáticas; no se hace referencia a que las matemáticas no son interesantes sin embargo el sistema físico permite percibir el tema más amigable a su investigación y con una apertura a la experimentación.

Se entiende que los sistemas de control son un conjunto de elementos que están dentro de un ciclo para conseguir que el resultado de un proceso para que se comporte tal y como se busca, mediante el uso de un control. Podemos decir que un sistema o proceso está conformado por un conjunto de elementos que interactúan entre sí y que ofrecen señales de salida haciendo uso de la función de señales o los datos que obtenemos de entrada [5].

El sistema de control de temperatura utilizado para el calentador incorpora un esquema de control PID para mantener la temperatura en el punto de ajuste deseado. El hardware y la programación gráfica de LabVIEW están integrados a través del kit de herramientas LINX. El proceso detallado sobre el diseño del controlador PID con la interfaz del sistema se describe en la siguiente sección [6].

El sistema de control de luminosidad con supervisión de datos de forma continua, diseñado y validado ante perturbaciones abruptas e intermitentes en el proceso. El trabajo desarrollado utiliza una plataforma de prototipos electrónicos Fuente abierta basado en el microcontrolador de 8 bits y el software de supervisión. Para que sea posible encender, apagar, cambiar parámetros, monitorear variables de control y generar informes de manera rápida y segura de la planta didáctica que queramos revisar desde nuestro ordenador [7].

Objetivo

Analizar el comportamiento de los procesos de temperatura y luminosidad empleando la metodología Lambda para la determinación de las características relevantes enfocadas en el desarrollo de prácticas experimentales.

2. METODOLOGÍA

Haciendo uso de la tecnología se obtiene información bibliográfica que aclara interrogantes, existe una visión más grande del trabajo escrito como práctico, con fuentes de información verídicas y comprobadas que se ha ido obteniendo de libros de ciencia, revistas científicas, catálogos que se encuentran en las distintas páginas web, entre otros, con la compilación de toda esta información se construyen las bases del trabajo y a su vez se tiene una idea clara de cómo se va a cumplir con los objetivos planteados para ejecutarlos de una manera técnica y eficaz. Se aclara que las ideas obtenidas de los procesos industriales que se encuentran enlazados a sistemas de control los cuales que por medio de tarjetas que permiten la adquisición de datos y un software de diseño.

El módulo emplea dos rangos diferentes de voltaje siendo el primero de 12V con el que se alimenta el sistema, el ventilador y el relé; el segundo voltaje tiene una regulación de 5V ya que algunos dispositivos trabajan con voltajes nominales.

En la figura 1 se determina la configuración para el sistema de alimentación y regulación del voltaje el mismo que trabaja a un voltaje requerido de 5V siendo este exacto para la distribución del sistema.

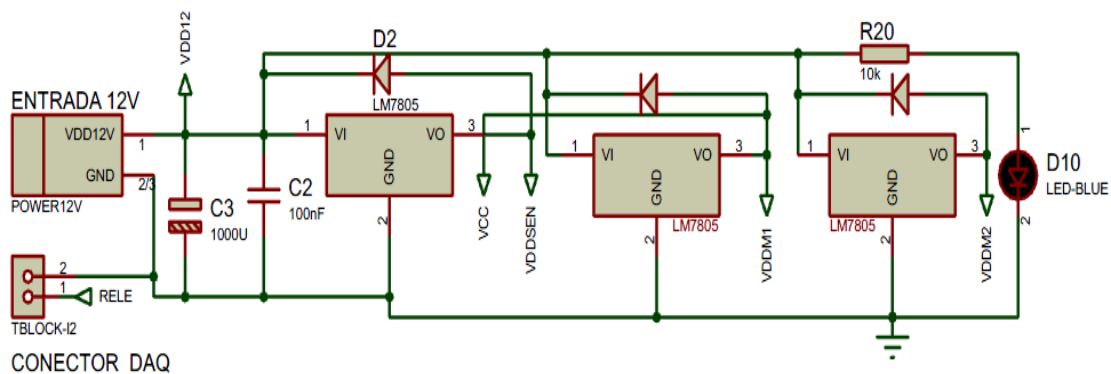


Figura 1. Diseño esquemático de la alimentación del sistema.

El ventilador del prototipo está ubicado en la parte superior del módulo LM35, garantizando su funcionamiento, el mismo está conectado en serie a un opto transistor y con este al transistor 2N3904; para disminuir el regreso de corriente se dispone a continuación un diodo y dos resistencias como se puede observar en la figura 2.

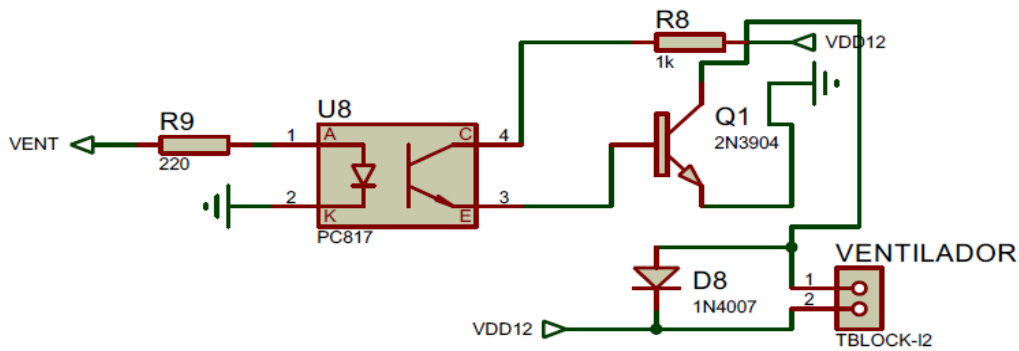


Figura 2. Diagrama de instalación de Ventilador.

Diseño del sistema de control de temperatura

El diseño del sistema (circuito) de temperatura se divide en tres partes que son: la medición que corresponde al sensor LM35, la parte del agente externo y perturbación corresponde al ventilador, y la parte en la que se obtiene la temperatura es por medio del foco incandescente utilizando uno de 12 V, resaltando que la unión de estos tres grupos servirá para la obtención del sistema de control de temperatura desarrollando el sistema con el software de elementos finitos para poder luego ser acondicionada.

Diseño del sistema de sensor de temperatura (LM35)

Se debe considerar que para la transformación de voltaje en temperatura el sensor entrega valores en señales de mV/C°.

$$Temperatura\ real\ (^{\circ}C) = \#mV \times 100 \quad [1]$$

El sensor utilizado es el LM35 está implementado mediante dos resistencias las cuales estabilizan y evitan que las señales no se perturben existiendo alguna falla en el sistema y los cuales su salida va para ser conectados al controlador.

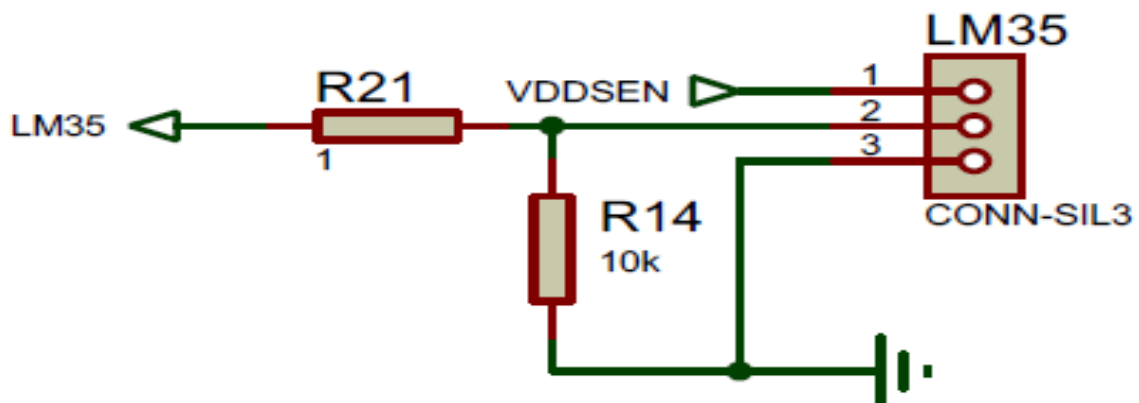


Figura 3. Conexión del sensor LM35.

Diseño del sistema de conexión del foco de 12V

El sistema de luminosidad esta implementado para los dos sistemas tanto como el de temperatura y el de intensidad lumínica, para protección de este circuito se emplea el transistor NPN PC 817, el cual es un opto acoplador y permite el flujo de la señal sea en solo sentido, a su salida se utiliza dos transistores para amplificar la señal.

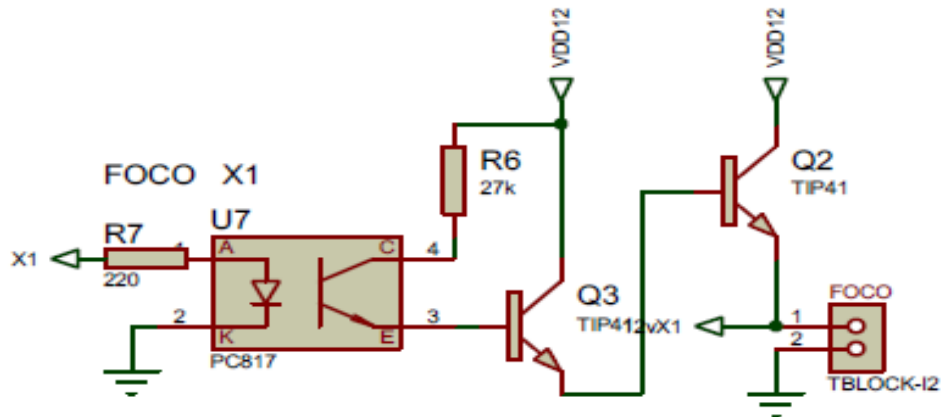


Figura 4. Implementación del circuito para el dispositivo de temperatura

En esta aplicación se emplea una configuración de Par Darlington con transistores NPN, como se puede mostrar en la figura 4, esta configuración permite elevar o disminuir la corriente que llegará al foco, ya que la elevación de la corriente hace que se tenga mayor temperatura y con esto se puede tener un mejor control.

$$I_c = I_{c_1} + I_{c_2} \quad [2]$$

Empleando la ecuación 2 se determina el resultado de la corriente final la cual será consumida y utilizada por el foco, con estos valores de puede tomar el correcto funcionamiento y eficacia del sistema, la fuente debe ser utilizada a 12V y 2A con una regulación de 5V a 1.3 A determinado:

$$I_c = 1.3 A + 2 A \quad [3]$$

$$I_c = 3.3 A \quad [4]$$

Diseño del sistema para la fotorresistencia LDR

Para el diseño del circuito para el control de luminosidad se emplea un LDR aplicando un amplificador operacional LM741, trabajando con un voltaje de 5V con la configuración dada.

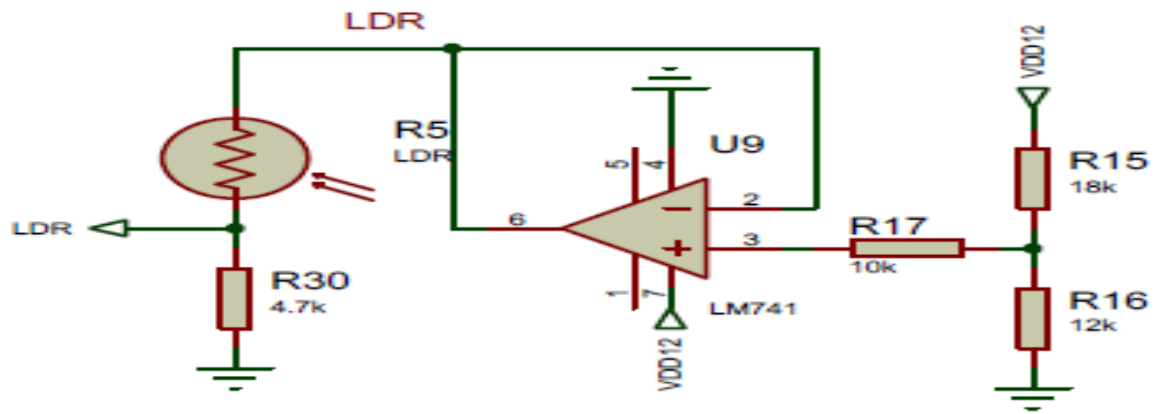


Figura 5. Conexión de fotorresistencia.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Función de transferencia y sintonización

Luego de realizar las conexiones y circuitos establecidos se procede a la sintonización para obtener valores referenciales y así poder calcular el control PID establecido en cada sistema tanto en temperatura y luminosidad.

El método que se utiliza en el control PID es el método Lambda debido al uso de un módulo de proceso de primer orden con retardo en el tiempo (FOTD) característico de los sistemas con respuesta al escalón.

$$FT = \frac{Kp}{1+Ts} e^{-Ls} \quad [5]$$

Donde:

FT: Es la función de transferencia de un sistema de primer orden

Kp: Denominada Ganancia estática

T: Determinada como la ganancia del tiempo (también conocido como retraso o λ)

L: Caracterizada por el retardo de tiempo o tiempo muerto

Teniendo como términos equivalentes de las dos ecuaciones que se demuestra a continuación

Tabla 1. Equivalentes de dos ecuaciones.

<i>Kp</i>	=	<i>Kp</i>
<i>T</i>	=	<i>Tp1</i> , datos obtenidos en pruebas

L	=	Td, datos obtenidos en pruebas
---	---	--------------------------------------

Como parte de la experimentación se produce el cálculo de valores de sintonía para un control PI y control PID usando las siguientes ecuaciones:

- La variable T o (λ) de determina según la gráfica y datos obtenidos en Excel con los intervalos obtenidos en los valores y este dividiendo para el tiempo de muestreo:

$$\lambda = \text{tiempo (63,2\% y)} = \text{tiempo } 63,2\% (43,4497) = \text{tiempo} * \frac{\text{intervalo}}{\text{tiempo de muestreo}} = 17,9s \quad [7]$$

Finalmente se calcula el tiempo muerto (L) el mismo que es muestra en los datos y curva la que comienza desde que se da la señal hasta q el sistema responde.

Tabla 2. Ecuaciones para sintonización PID.

	PI		PID	
	Agresivo	Robusto	Agresivo	Robusto
K	$K = \frac{1}{Kp} \frac{T}{L + T}$	$K = \frac{1}{Kp} \frac{T}{L + 3T}$	$K = \frac{1}{Kp} \frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + T}$	$K = \frac{1}{Kp} \frac{\frac{L}{2} + T}{\frac{L}{2} + 3T}$
Ti	Ti=T	Ti=T	$Ti = T + \frac{L}{2}$	$Ti = T + \frac{L}{2}$
Td	—	—	$T = \frac{TL}{L + 2T}$	$T = \frac{TL}{L + 2T}$

PID DE TEMPERATURA

Para determinar la dinámica de comportamiento del sistema se emplea un control en lazo abierto en donde mediante el ingreso de una señal PWM en el módulo provoca el encendido controlado del foco incandescente generando una reacción de la temperatura como se muestra en la figura 6 la cual contiene perturbaciones que hacen que el sistema se convierta en inestable encontrando una gran cantidad de erros. Luego de ello se procede a determinar los parámetros de sintonización requeridos.

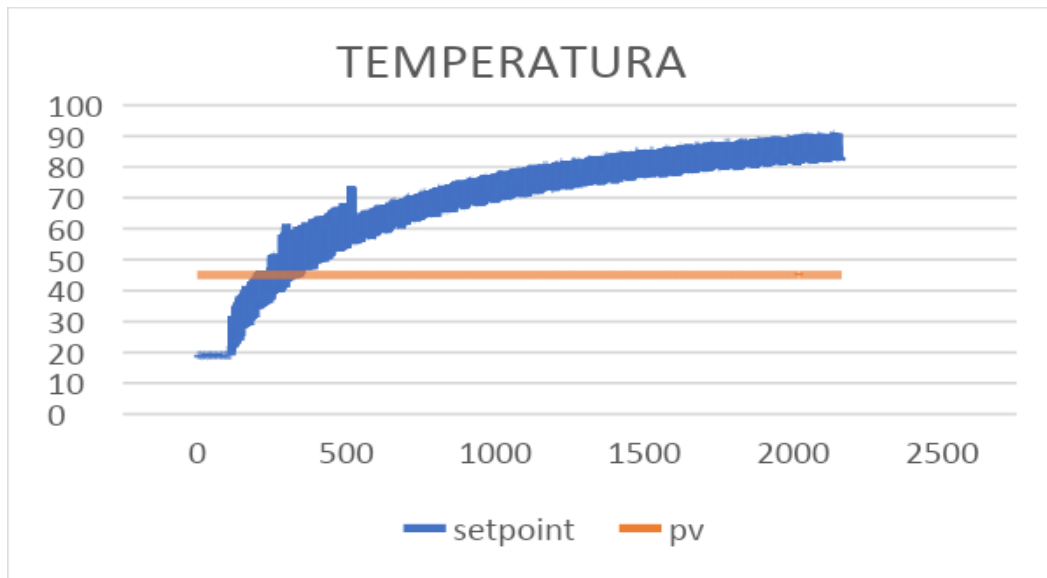


Figura 6 Control de temperatura sin filtrado.

Determinado los parámetros de la gráfica anterior, Figura 6 que se encuentran valores con perturbación, se pudo determinar los parámetros requeridos para la sintonización del sistema obteniendo ya un sistema de sintonización estable el cual ya se puede mostrar una gráfica con mayores resultados como se muestra en la Figura 7.

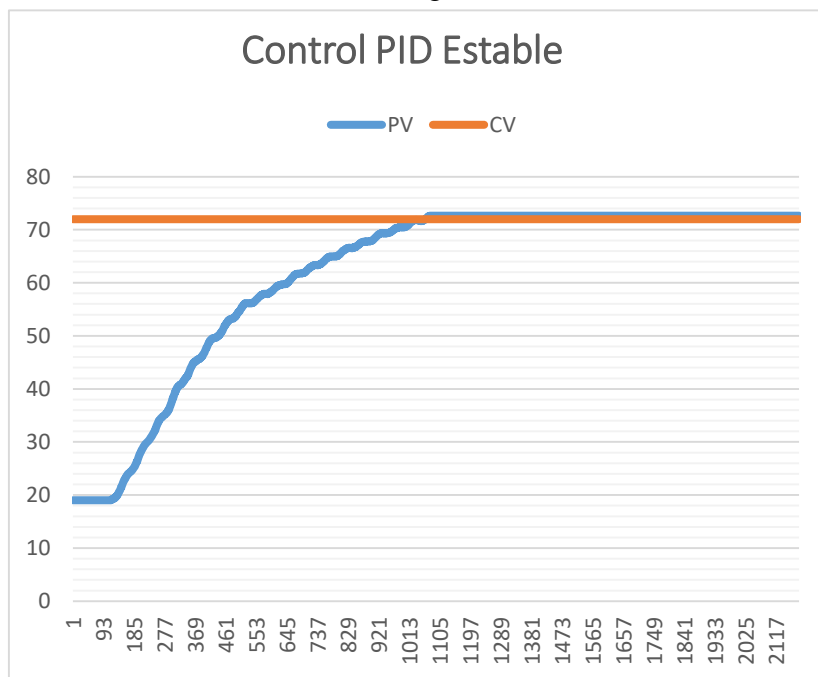


Figura 7. Control PID estable y filtrado.

PID CONTROL DE LUMINOSIDAD

En el sistema se muestra una gráfica dando la obtención de los datos del sistema tanto como el color azul que es la luminosidad, el naranja que es el setpoint del sistema establecido. Como se muestra en la figura 7.

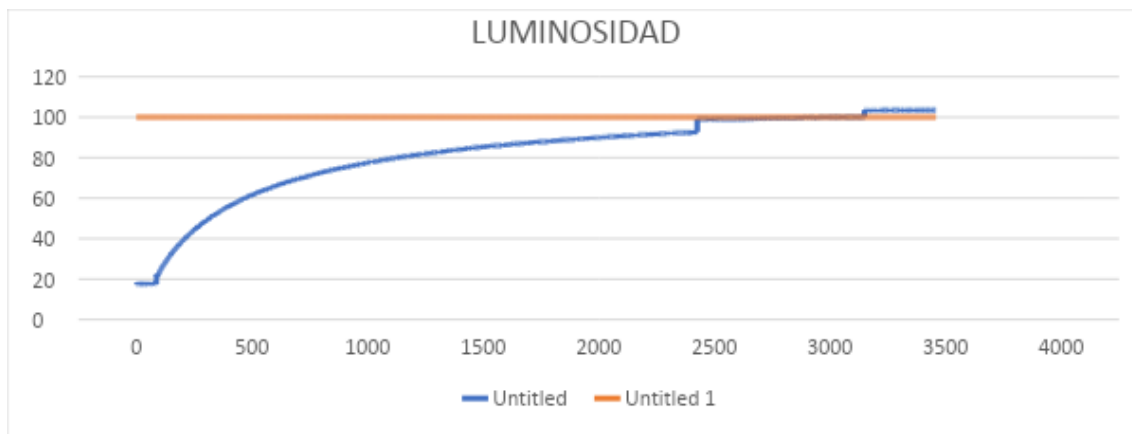


Figura 8. PID de luminosidad.

4. CONCLUSIONES

- Para un adecuado control de la variable a tratar es importante que se establezca una excelente estrategia de acondicionamiento de la señal, ya que dependiendo de su tratamiento variará los resultados obtenidos.
- En el sistema de control PID se estabiliza mejor que el de control ON-OFF, obteniendo mayor seguridad al sistema y eliminando la mayoría de errores ya que este está compuesto de un control proporcional derivativo e integrativo.
- Mediante el programa de control realizado y teniendo en cuenta el módulo experimental se visualiza el comportamiento y cómo funciona el prototipo con las prácticas realizadas mediante las curvas de comportamiento.
- Mediante lo estipulado se acondicionado el módulo LDR da señales en el valor de los mili voltios los cuales se deben multiplicar por un valor determinado para poder determinar el valor de luminosidad teniendo en cuenta los valores obtenidos y con las interferencias del medio.
- La investigación realizada nos da como resultado que los

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Alciatore, «Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición,» McGrawHill, México, 2008.
- [2] R. Dorf, «Sistemas de Control Moderno,» Pearson Educación, Madrid, 2005.
- [3] B. Egidio, «Instrumentación industrial,» Instituto Brasileño de Petróleo y Gas, Río de Janeiro, 2006.
- [4] P. Pere, «Diseño y automatización industrial,» Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2009.

- [5] D. J. M. R. S. G, Teoría de control. Diseño electrónico, Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [6] Y. Yang, «Diseño y Realización de Controlador de Temperatura del Agua PID Fuzzy Selftuning basado en PLC,» Conferencia Internacional de Sistemas Inteligentes, 2012.
- [7] E. Bega, «Instrumentación Industrial,» Finkel, Rio de Janeiro, 2006.
- [8] D. J. M. R. Spartacus G, Teoría de control. Diseño electrónico, Barcelona: Edicions UPC, 1998.