# Diseño e implementación de un control PID de caudal de una bomba DC para el riego de un almácigo

Investigación terminada

José Fernando Calderón Larrotta
Ingeniería Mecatrónica
Facultad de Ingenierías
jcalderon462@unab.edu.co

David Esteban Rodriguez Mora
Ingerniería Mecatrónica
Facultad de Ingenierías
Drodriguez369@unab.edu.co

Daisy Tatiana Ricaurte Pinto
Ingeniería Mecatrónica
Facultad de Ingenierías
Dricaurte75@unab.edu.co

Universidad Autónoma de Bucaramanga
(Ingeniería Mecatrónica)

**RESUMEN**

En este artículo se presenta el diseño de una estrategia e control PID de caudal de una bomba DC a partit de su modelo matemático o de caja blanca y la herramienta “rltool” de MATLAB, para luego implementar este controlador y comparar los resultados teóricos y experimentales.

**ABSTRACT**

This article presents the design of a PID control strategy for the flow of a DC pump, based on its mathematical or white box model and the "rltool" tool of MATLAB, to then implement this controller and compare the theoretical and experimental results.

**Área de Conocimiento**

Teoría de control.

**Palabras Clave**

Caudal, estrategia de control, riego, almácigo, bomba DC.

## INTRODUCCIÓN

El control PID es ampliamente usado en la industria, el cual tiene una estructura retroalimentada para realizar las acciones pertinentes de acuerdo al error que presenta el valor mediado respecto al deseado. Esta estrategia consiste en el uso de un controlador que puede tener un componente proporcional, integral y derivativo. Este este proyecto se presentara diseño de esta estrategia para el control de caudal de una bomba DC, mediante el uso del modelo matemático y las toolbox de control de MATLAB para implementar el diseño teórico y compararlo con los resultados experimentales. Este diseño se implementara en un almácigo, que es una pequeña porción de tierra donde germinan las semillas.

## JUSTIFICACIÓN

Con este proyecto se buscó asegurar un flujo de agua continuo para un almacigo en un valor dentro del rango de la bomba, para poder ser adaptado a las condiciones ambientales y ser regulada la bomba a comodidad del usuario dependiendo de sus necesidades y conociendo exactamente cuánto caudal está entregando la bomba lo que no sería posible con una válvula común.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Implementar una estrategia de control que regule el caudal de una bomba DC para un sistema de riego de un almácigo.

### Objetivos específicos

- Consultar el marco teórico y el estado del arte deproyectos con finalidad similar.
- Modelar matemáticamente el sistema teniendo en cuenta cada una de las variables que intervienen.
- Diseñar un sistema de riego por goteo para un almácigo.
- Diseñar la estrategia de control PID digital para regular el caudal de la bomba.
- Validar la estrategia de control por medio de un prototipo a escala.

## METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

Para este proyecto se quiso implementar la metodología en V.

**Figura 6. Metodología de investigación.**

## METODOS O TECNICAS DESARROLLADAS

Para el desarrollo de este proyecto de investigación de desarrollo una estrategia de control PID, en este caso un control PI que se muestra a continuación.

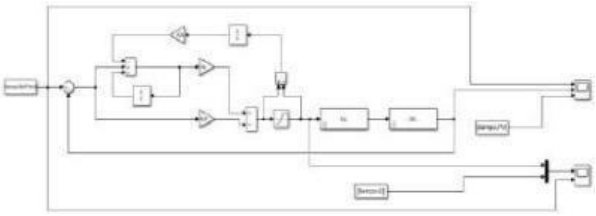

**Figura 7. Diagrama de bloques de la estrategia de control implementada.**

En este caso también tiene una constante Anti-wind up.

## REFERENTES TEORICOS

Tuning of PID Controller using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor

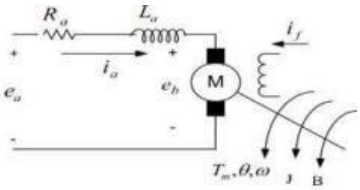


**Figura 8. Circuito equivalente de un motor DC.**

En este proyecto se realize el control PID de un motor sin escobillas mediante métodos de sintonización PID, más especificmente mediante el método de Ziegler-Nichols modificado. Mediante este método se busco encontrar las constantes PID adecuadas de tal forma que se pueda obtener una respuesta transitoria con un establecimiento corto, un sobre paso bajo y pocas oscilaciones.

Este proyecto es útil como referente teorico ya que se implementa una estrategia PID a un motor sin escobillas DC, que es el mismo tipo de motor que usa la bomba DC usada para impulsar el agua, además se busca una respuesta favorable que presente tiempos de subida cortos y bajo sobrepaso, lo cual es un factor importante para el control de nuestra bomba DC.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### Descripción del proceso

En un comienzo, el proyecto tenía como finalidad controlar la humedad del suelo con por medio del caudal de agua que suministra la bomba DC, pero debido a la dinámica demasiado lenta del contenido de humedad de la tierra, el proyecto se limitó a controlar básicamente el caudal con respecto a la modulación de ancho de pulso (PWM), que permite variar la velocidad de la minibomba y con ello el caudal, respectivamente. En ese orden de ideas, se sigue con la misma planta, donde se tiene cierta cantidad de tierra en un recipiente (almácigo) y por medio de una minibomba DC se controla el caudal que pasa por la manguera, partiendo desde el recipiente que hace la función de tanque de almacenamiento de agua, hasta el recipiente con la tierra, por medio de una manguera con agujeros que permiten emular un proceso de riego por goteo en pequeña proporción; para poder variar el caudal, la bomba variará su velocidad con la modulación de ancho de pulso.

### Planta

**Figura 9. Planta usada en el proyecto.**

Esta es la planta sobre la que se trabajó, la cual tiene 3 sensores de humedad, un caudalimetro, el almacigo que es la peña porción de tierra, la bomba DC, el tanque con retroalimentación ycontrol mecánico de llenado y el bombillo con el dimmer.

### Modelado

*Modelo estático de la bomba*

Este modelo se hizo a partir de datos experimentales, con el objetivo de hallar la región lineal en la que trabaja el actuador con el fin de realizar el control PID en esa zona.

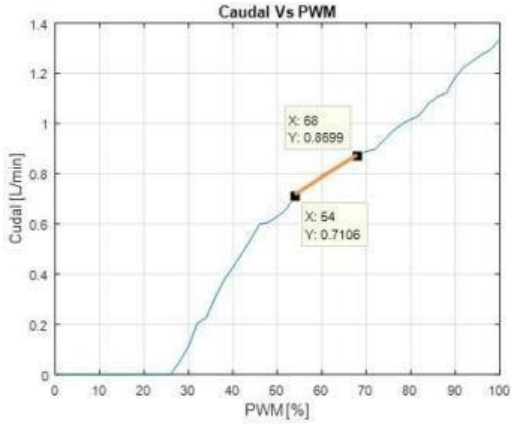


**Figura 10. Región lineal del actuador.**

Estos datos registraron el cambio en el caudal a medida que aumentaba en PWM en un rango de 0 a 255. Los datos correspondientes a la región lineal mostrada anteriormente son los siguientes:

**Tabla 4. Datos experimentales de la región lineal del actuador.**

| *PWM [%]* | *Caudal [L/min]* |
|---|---|
| 54 | 0,711 |
| 56 | 0,739 |
| 58 | 0,759 |
| 60 | 0,793 |
| 62 | 0,815 |
| 64 | 0,836 |
| 66 | 0,859 |

| | |
|---|---|
| 68 | 0,87 |

De donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$caudal = 0{,}0117x + 0{,}0839$$

*Modelo dinámico de la bomba*

Para este caso se usaron dos métodos de modelamiento los cuales son el modelo de caja blanca y el modelo de caja negra, donde el mejor resultado o bestfit se obtuvo del modelo en caja blanca, que es el descrito mediante ecuaciones preestablecidas que predicen el comportamiento del sistema.

$$V_{in}(t) = R * i_1(t) + L \frac{di_1(t)}{dt} + K * \omega_m(t)$$

$$K * i_1(t) = B_m * \omega_m(t) + J_m * \frac{d\omega_m(t)}{dt}$$

$$Q(t) = \frac{\omega_m(t) * Cil}{1000} * \frac{60}{2 * \pi}$$

$$V_{in}(t) = V_{PWM}(t) * \frac{5}{255}$$

Función de transferencia $\boldsymbol{G(s)} = \frac{\boldsymbol{Q}}{\boldsymbol{PWM}}$

$$G = (Cil * Ki)/(1700 * Jm * L * \pi * s\text{^}2 + (1700 * Bm * L * \pi + 1700 * Jm * R * \pi) * s + 1700 * Bm * R * \pi + 1700 * Ki * Kv * \pi)$$

Parámetros del modelo matemático

$R = 0.8$ $[\Omega]$; $Ki = 0.9$ $[Nm/A]$

$L = 0.03$ $[H]$; $Bm = 0.08$ $[N * m * s]$

$Kv = 0.4$ $[V * s]$; $Jm = 0.1$ $[kg/m\text{^}2]$

$Cil = 32$ $[cm^3/Rev]$

Función de transferencia $\boldsymbol{G(s)}$

$$\frac{28.8}{16.02\, s^2 + 440.1\, s + 2264}$$

Mediante la toolbox "ident" de MATLAB se compara la respuesta experimental ante una onda cuadra con la que describe el modelo de caja blanca, dando como resultado una aproximaciónaceptable, ya que presenta un *"Bestfit"* de aproximadamente 82%.

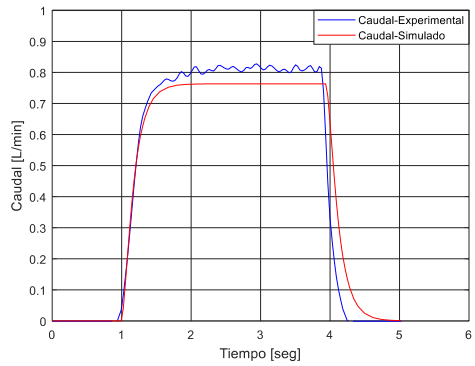


**Figura 11. Comparación de respuesta experimental contra la respuesta teórica ante una onda cuadrada.**

$$bestfit = 81.8687$$

Comparación de los datos simulados contra los datos experimentales, cambiando el setpoint.

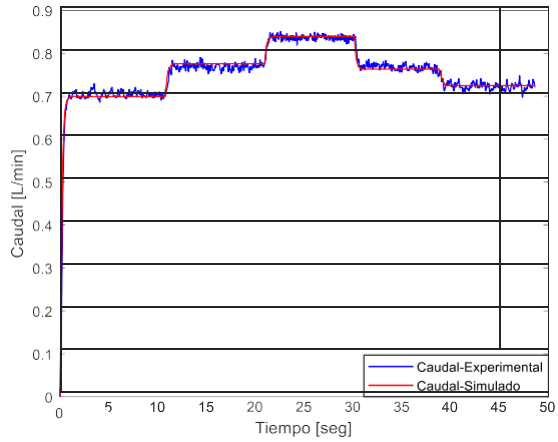


**Figura 12. Comparción de la respuesta teorica y la experimental ante cambios de setpoint.**

$$bestfit = 81.6770$$

**Estrategia de control**

Se elige un controlador PI porque la planta no tiene integrador, entonces el controlador debe incluirlo para garantizar que la variable de proceso alcance el punto de consigna. Con esta estrategia de control se obtuvo un tiempo de establecimiento lo suficientemente rápido para que el sobrepaso sea mínimo. Un pequeño sobrepaso en el caudal que es la variable de proceso puede hacer que la bomba envíe una cantidad de agua mayor a la que puede absorber la tierra y se inunde el almácigo.

La función de transferencia discretizada de la planta es:

$$Gz = \frac{0.000656 * z + 0.000494}{z^2 - 1.336 * z\ 0.4268}$$

Mediante la toolbox “rltool” de MATLAB se diseñó una estrategia de control en tiempo discreto con la que se pudiera obtener una respuesta transitoria con las características deseadas a partir del modelo matemático de caja blanca:

$$G_c(z) = \mathrm{Kp} + \frac{\mathrm{Ki}}{1 - z^{-1}}$$

$$G_c(z) = 7.820047 + \frac{3.496953}{1 - z^{-1}}$$

Al simular la respuesta transitoria de este sistema ante una estrada escalon da como resultado que el tiempo de establecimiento resulto de 1,62 segundos y un sobrepaso del 0,232 y su acción de control tiene un tiempo de establecimiento de 1,3 segundos y un valor final de 78,6 de amplitud que en este caso podría ser PWM. Las constantes KI y KD se obtienen de la función de transferencia del controlador mientras que la constante KA se ajusta a conveniencia como parte de la estrategia antiwindup que evita que la componente integral prolongue un estado de error porun lapso de tiempo afectando así la respuesta del sistema.

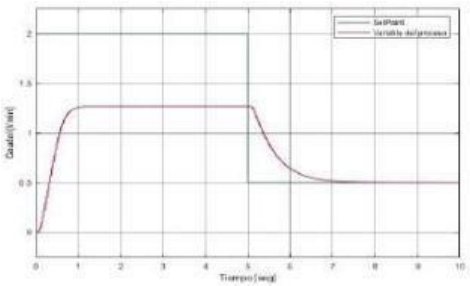

**Figura 13. Efecto Anti-windup despues de un perido en saturación.**

A continuación, se presenta una comparación de resultados teóricos y experimentales, donde se observa que para valores cercano al límite inferior de la región lineal, la respuesta transitoria tiene un comportamiento oscilatorio.

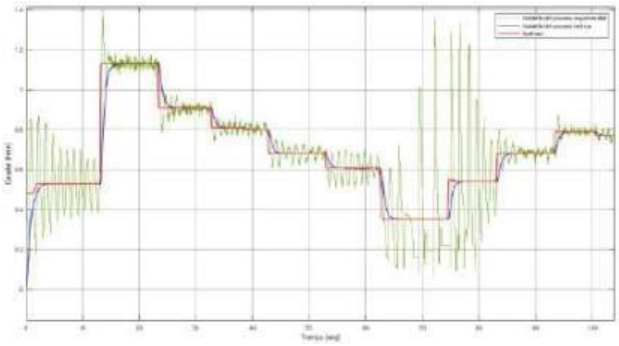

**Figura 14. Respuesta transitorioa del caudal, datos teoricos y experimentales.**

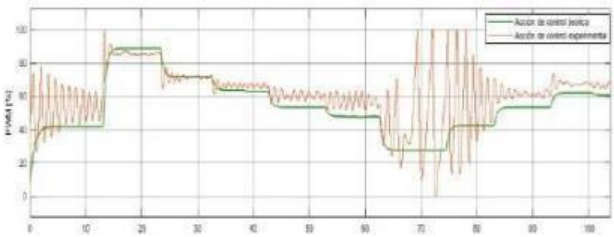

**Figura 15. Comportamiento de la acción de control.f**

Con el fin de mostrar cómo cambia la humedad ante cambios de SetPoint y su dinámica lenta, se registró este valor al mismo tiempo que de la humedad y el caudal

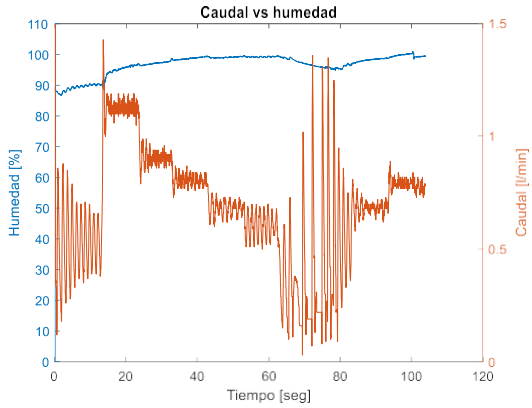


**Figura 16. Respuesta transitoria de la humedad respecto a las variaciones de caudal.**

## CONCLUSIONES

El controlador de un grado de libertad PI logra estabilizar el sistema en tiempos cortos y presenta algunas oscilaciones para SetPoints de valores altos, por encima del 50% de rango de caudal aproximadamente. Estas oscilaciones son más apreciables ya que el rango es pequeño, es decir, las esas variaciones se ven grandes con respecto al rango de caudal.

El modelo de caja blanca obtiene una aproximación aceptable del comportamiento del sistema ya que con este modelo se diseñaron compensadores que lograban estabilizarse para cierto rango de valores, además para valores entre 0.8 y 1 L/min el valor en estado estable se aproxima bastante al teórico lo cual indica que el modelo si refleja el comportamiento del sistema para algunos rangos de caudal.

Se observó que la humedad no presenta cambios significativos con la variación del caudal, si presenta cambios pequeños a medida que se cambia el SetPoint, pero el valor de humedad llega a un punto en el que disminuye con menor facilidad. Para observar cambios más grandes en la variación de la humedad se podría tomar datos en tiempos más prolongados.

## IDENTIFICACIÓN DEL PROYECTO

| | |
|---|---|
| Nombre del Semillero | Modelado y simulación |
| Tutor del Proyecto | Sebastián Roa Prada |
| Grupo de Investigación | Control y Mecatrónica |

| | |
|---|---|
| Línea de Investigación | Teoría de Control |
| Fecha de Presentación | 30 de agosto de 2018 |

**REFERENCIAS**

[1] Meshram, PM, y Kanojiya, RG (2012, marzo). Ajuste del controlador PID utilizando el método de Ziegler-Nichols para control de velocidad del motor de CC. En Avances en Ingeniería, Ciencia y Gestión (ICAESM), Conferencia Internacional de 2012 (pp. 117-122). IEEE.