

Implementación de control de velocidad de un motor dc con controlador pid convencional y difuso p-pi-pid con diferentes tipos de entradas utilizando software labview

Dc motor speed control implementation with conventional and fuzzy p-pi-pid controller with different types of inputs using labview software

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4728716>

AUTORES: Alfonso Jacinto Agama Chico ^{1*}

Carlos Alfredo Cevallos Monar ²

Ricardo Vicente García Paredes ³

Wellington Isaac Maliza Cruz ⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: aagama@utb.edu.ec

Fecha de recepción: 11 / 10 / 2020

Fecha de aceptación: 07 / 11 / 2020

RESUMEN

Este proyecto presenta la implementación de un control PID convencional y Difuso P-PI-PID. Los esquemas están diseñados para controlar la velocidad de un motor de CC que viene en la estación de control EPC de National Instruments donde el entorno de programación se realiza completamente con el software LabVIEW con el módulo de control, diseño y simulación Fuzzy Designer y cuya interacción física con la planta EPC se realiza mediante una tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009. Se busca con ambas técnicas controlar la respuesta del sistema a una entrada diferente como onda cuadrada,

^{1*}Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica y Automatización Industrial, Magíster en Automatización y Control Industrial, Universidad Técnica de Babahoyo, aagama@utb.edu.ec

²Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica, Magíster en Administración de Empresas, Universidad Técnica de Babahoyo, acevallos@utb.edu.ec

³Ingeniero en Electricidad especialización Industrial, Magíster en Docencia y Currículo, Universidad Técnica de Babahoyo, rgarciap@utb.edu.ec

⁴Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica, Doctor en Ciencias Administrativas, Universidad Técnica de Babahoyo, wmaliza@utb.edu.ec

sinusoidal, diente de sierra y aleatoria, y luego comparar los reguladores observando la marcada mejora en la respuesta del sistema con controlador difuso. Finalmente se observó como resultado los beneficios de que las regulaciones se puedan hacer de forma rápida, comprensible y enfrentando problemas especialmente cuando no existe un modelo de sistema controlado o cuando el modelo presenta una estructura no lineal desfavorable, siendo más sencillo el comportamiento de un sistema descrito en expresiones lingüísticas que una descripción matemática. Teniendo la limitante de que el controlador difuso debe construirse con base en el conocimiento previo de la operación y experiencias de funcionamiento del sistema, y a mayor complejidad del sistema se vuelve sobre proporcional el trabajo necesario para el desarrollo de un controlador difuso. Se logra observar que el Controlador Difuso presenta un menor tiempo de establecimiento a la respuesta y una mayor robustez ya que es poco sensible a perturbaciones.

Palabras clave: *Controlador P, PI, PD, PID, Diseño difuso, Control Diseño y Simulación, LabVIEW.*

ABSTRACT

This project presents the implementation of a conventional and Fuzzy P-PI-PID PID control. The schematics are designed to control the speed of a DC motor that comes in the National Instruments EPC control station where the programming environment is fully realized with LabVIEW software with the Fuzzy Designer control, design and simulation module and whose interaction Physics with the EPC plant is performed using a NI USB-6009 data acquisition card. It is sought with both techniques to control the response of the system to a different input such as square, sine, sawtooth and random wave, and then to compare the regulators observing the marked improvement in the response of the system with fuzzy controller. Finally, it was observed as a result the benefits that regulations can be made quickly, understandably and facing problems, especially when there is no controlled system model or when the model presents an unfavorable non-linear structure, the behavior of a system being simpler. described in linguistic expressions than a mathematical description. Having the limitation that the fuzzy controller must be built based on prior knowledge of the operation and operating experiences of the system, and with greater complexity of the system, the work necessary for the development of a fuzzy

controller becomes over-proportional. It is possible to observe that the Fuzzy Controller has a shorter response establishment time and greater robustness since it is not very sensitive to disturbances.

Keywords: *Controller P, PI, PD, PID, Fuzzy Design, Control Design and Simulation, LabVIEW.*

INTRODUCCIÓN

Desde el año 2012, la Universidad Técnica de Babahoyo ha venido adquiriendo y renovando sus equipos de National Instruments para instrumentación y control a su representante en Ecuador “Data Lights”, además de la licencia académica de LabVIEW como software para la realización de varios proyectos de adquisición de datos, instrumentación y control ON-OFF.

Por lo expuesto anteriormente se ha desarrollado el presente proyecto de “Implementación de control de velocidad de un motor DC con controladores PID convencional y Fuzzy con diferentes tipos de entradas utilizando software LabVIEW”, en las instalaciones de la Universidad Técnica de Babahoyo, donde el objetivo principal del proyecto es el de brindar una demostración real de las técnicas de control tanto lógica difusa como PID convencional en motores de corriente continua, lo que enriquecerá el conocimiento teórico práctico en la aplicación de control clásico y su comparación con el control lógico difuso, siendo de gran beneficio en especial a quienes cursarán la carrera de Ingeniería Eléctrica de la UTB y carreras afines en su vida profesional, ya que la ciudad de Babahoyo y la Provincia de Los Ríos tienen como principal fuente de ingreso la agricultura, para lo cual cuenta con una gran cantidad de piladoras, secadoras de grano y un par de empresas procesadoras de productos agrícolas como lo es “FACUNDO S.A.”, en donde se utilizan una gran cantidad de motores de corriente continua en el proceso de dichas plantas (Muoz-Cesar, y otros, 2008).

METODOLOGÍA

Antes de iniciar la programación del software de control, es esencial conocer primero los puntos de conexión de la planta, lo cual se muestra en la Figura 1, donde se debe percatar de la polaridad del motor DC que recibe una señal analógica la cual proviene de la tarjeta

NI USB-6009 y a su vez se realimenta con la señal de velocidad del encoder que entrega una salida analógica, pudiendo ser utilizados únicamente los pines AI y AO (High Lights National Instruments Dealer For Ecuador, 2020).

Luego debemos conocer el rango de valores de voltaje analógico que acepta el motor DC con el cual podamos controlar su velocidad. Para tal efecto se varía el valor de voltaje a la entrada del motor DC y se mide su velocidad por medio del encoder, de esta manera obtendremos la caracterización del motor o la respuesta del sistema a una entrada rampa, lo cual se muestra en la Figura 2.

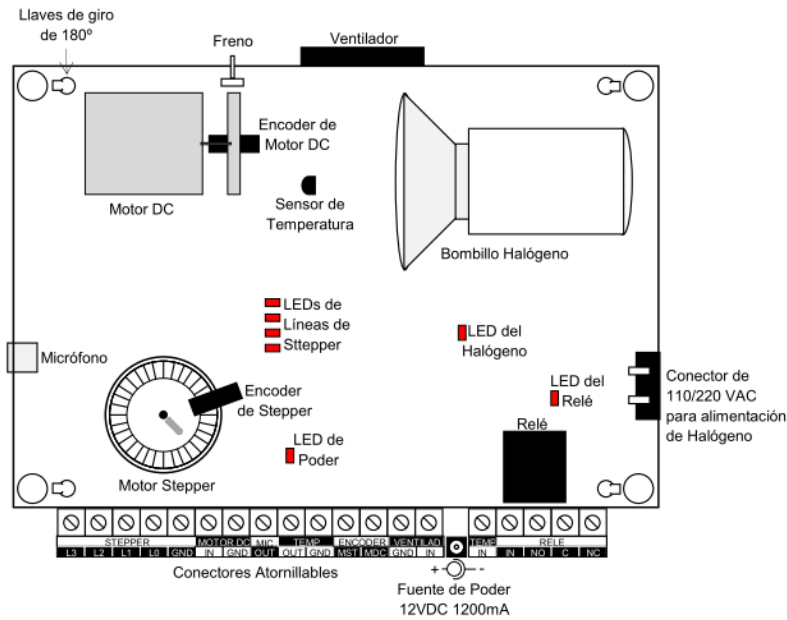


Figura 1. Diagrama Esquemático de la Planta EPC

Fuente: (High Lights National Instruments Dealer For Ecuador, 2020)

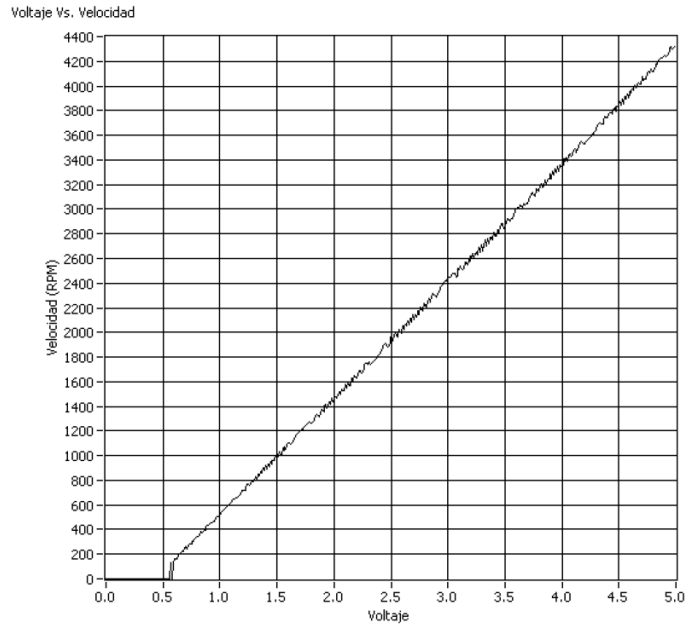


Figura 2. Respuesta de Velocidad versus Voltaje del Motor DC

Fuente. Elaboración Propia.

A partir de esta prueba, se observa que el rango de trabajo de la señal de control es de 0.6V a 5V para variar linealmente la velocidad del motor DC desde 150RPM hasta 4300RPM.

Controlador Convencional.

El controlador a implementar es del tipo PID paralelo cuyas conexiones se detallan en la Figura 3.

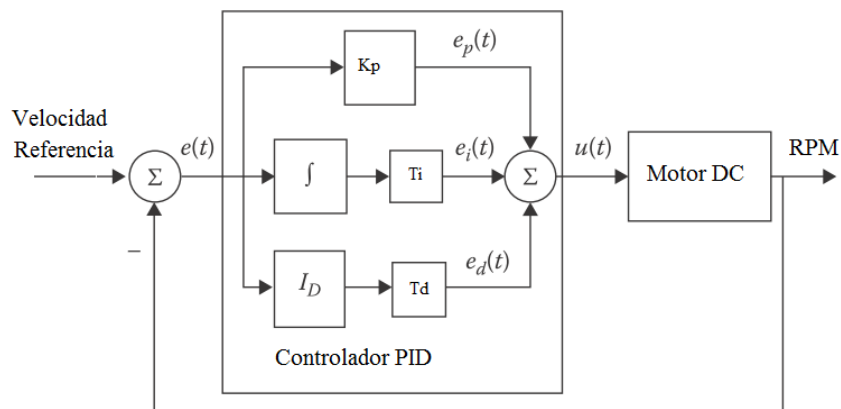


Figura 3. Diagrama de Bloques del Controlador PID Convencional

Fuente. Elaboración Propia.

A partir de la información conseguida de la caracterización del motor DC, se procede a realizar un programa en LabVIEW para el control de Velocidad PID utilizando el Módulo de Diseño, control y Simulación (National Instruments, 2020) tal como se indica en la Figura 4.

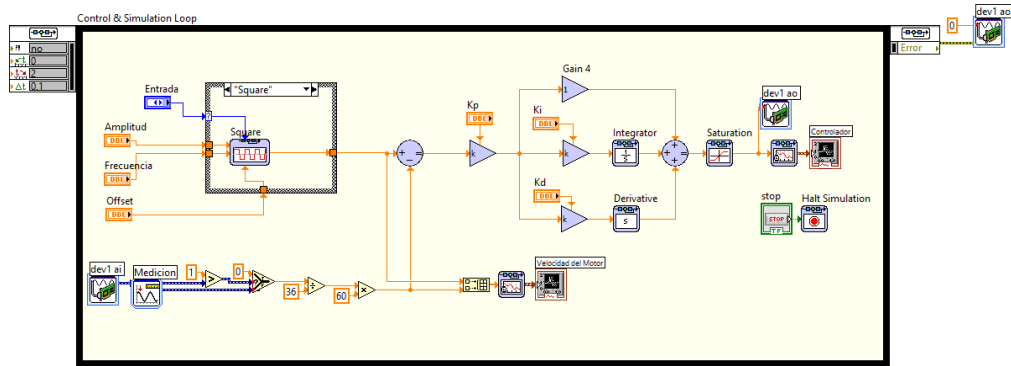


Figura 4. Diagrama de Bloques para Control de Velocidad PID del Motor DC

Fuente. Elaboración Propia.

El programa está dentro de un lazo de control y simulación donde se establecen los valores de amplitud, frecuencia y offset del tipo de entrada seleccionada como referencia la misma que puede ser del tipo senoidal, cuadrada, diente de sierra y aleatoria. También se requiere medir la respuesta de velocidad del motor DC a través de un encoder de 36 pulsos por revolución para ser comparada con la referencia y cuya diferencia es el error. Esta señal de error ingresa al lazo de control PID que va a controlar la velocidad del motor mediante una señal analógica que varía entre 0.6 y 5 voltios para lo cual se coloca un bloque de saturación estableciendo los límites de operación para esta señal. Finalmente, al terminar la ejecución o luego de transcurridos dos segundos que es el tiempo que se ha establecido para el análisis de las señales, se debe encerrar de nuevo la señal de control para detener totalmente el motor (National Instruments, 2020).

Segundo método de sintonía de Ziegler-Nichols

Tiempo de establecimiento	< 300ms
Porcentaje de sobreimpulso	< 7%

Para establecer los parámetros más adecuados del controlador, se aplica el segundo método de sintonía de Ziegler-Niochols para que la respuesta de la planta tenga un tiempo de establecimiento menor a 300 mseg, un porcentaje de sobreimpulso menor al 7%, según se muestra en la Tabla 1.

<i>Tipo de Control</i>	<i>Kp</i>	<i>Ki</i>	<i>Kd</i>
<i>P</i>	0.0015	299	0
<i>PI</i>	0.0015	99	0
<i>PID</i>	0.0017	90	0.001

Tabla 1. Parámetros del Controlador Convencional.

Fuente. Elaboración Propia.

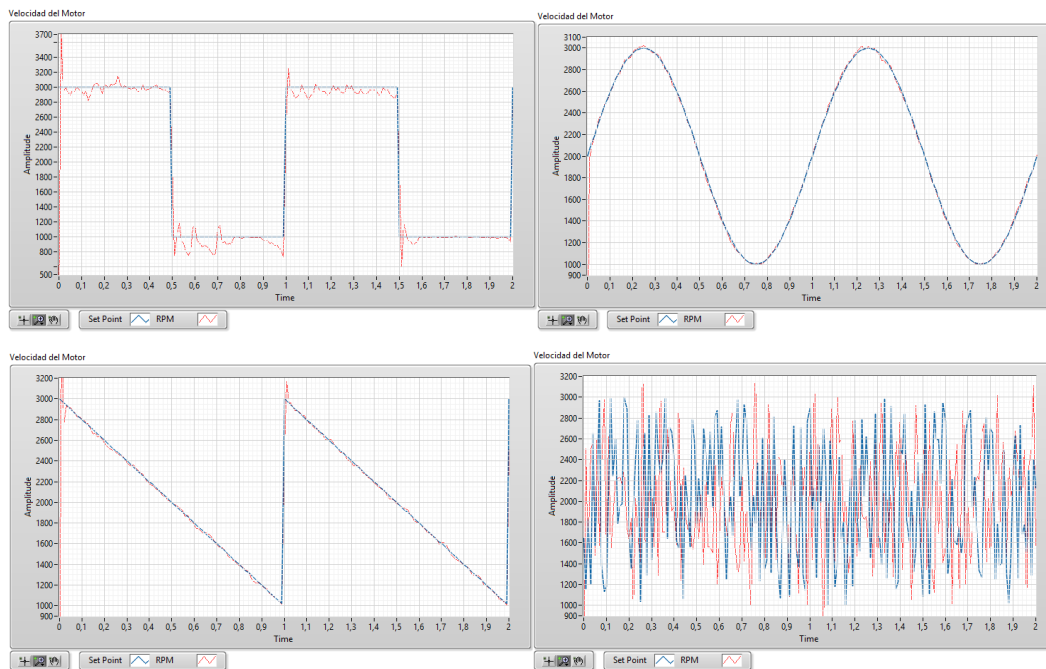


Figura 5. Respuestas para Controlador P Convencional

Fuente. Elaboración Propia.

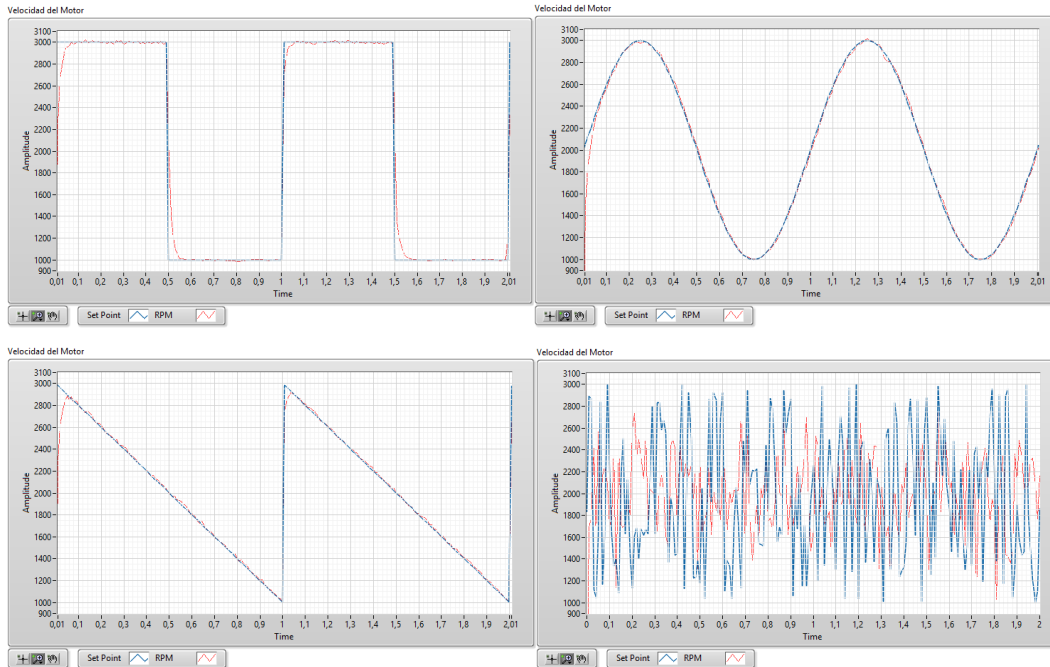


Figura 6. Respuestas para Controlador PI Convencional

Fuente. Elaboración Propia.

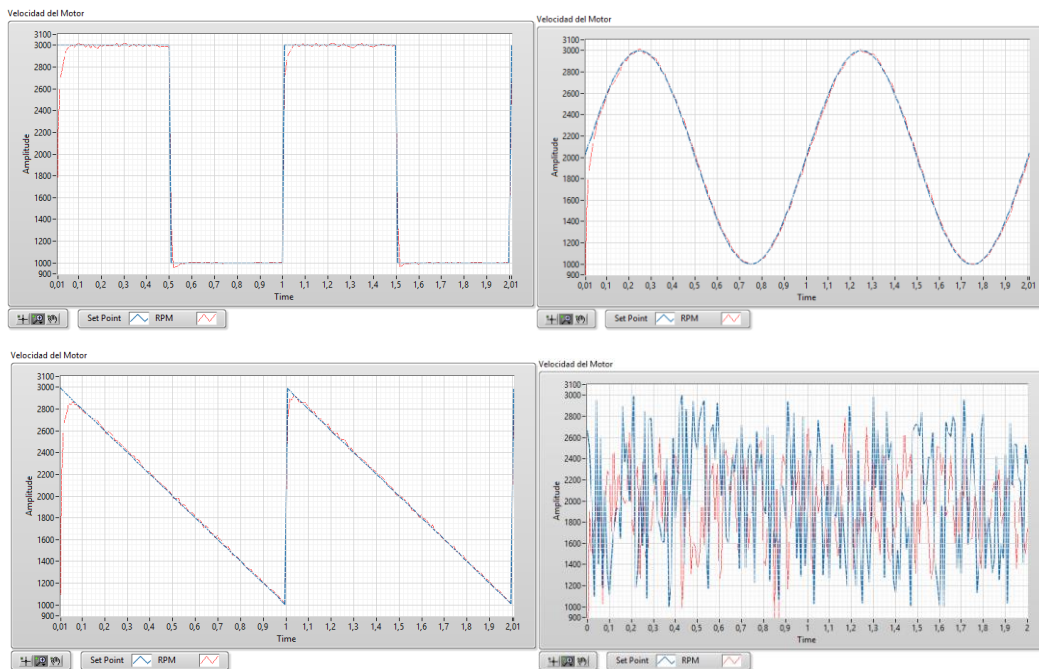


Figura 7. Respuestas para Controlador PID Convencional

Fuente. Elaboración Propia.

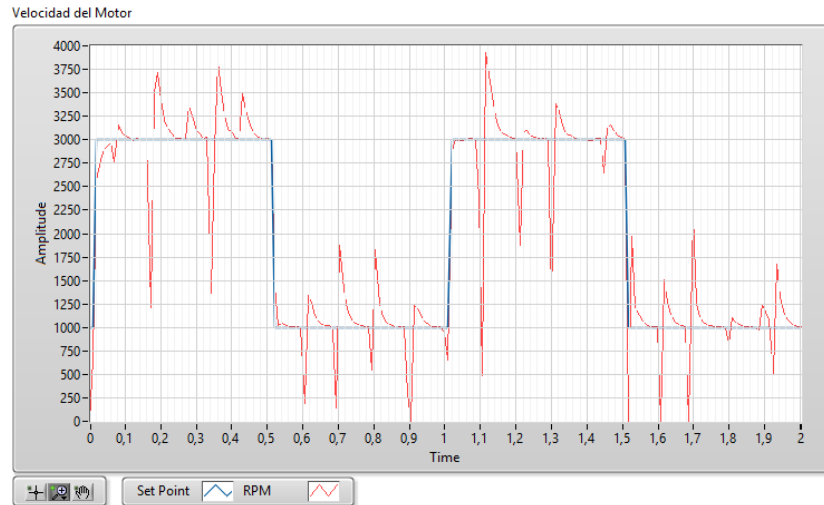


Figura 8. Respuesta Control PID Convencional con perturbación

Fuente. Elaboración Propia.

Controlador Fuzzy.

El controlador a implementar es del tipo PID paralelo + Fuzzy, cuyas conexiones se detallan en la Figura 9.

A continuación, se procede a realizar el programa para Control de Velocidad Fuzzy, en donde se emplea una herramienta muy potente que trae LabVIEW que es el Fuzzy System Designer, la cual podemos acceder desde el diagrama de bloques, Tools y en la opción de Control and Simulation, cuya pantalla se muestra en la Figura 10 con las funciones de membresía para la entrada que en nuestro caso es el error, y como salida ya defusificada la señal de control. Para tal efecto se ingresó como función de membresía de la variable de estado que es el error de donde se han creado tres etiquetas lingüísticas como error negativo, positivo o cero, cuyo rango de valores va desde -10000 a +10000, correspondientes a la diferencia de velocidad en RPM de la referencia con la respuesta de la planta. Un caso similar ocurre con la salida del controlador fuzzy que será la encargada de variar la velocidad del motor, pero tomando en consideración más adelante en el programa en LabVIEW que esta señal solo puede tomar valores entre 0.5v y 5v.

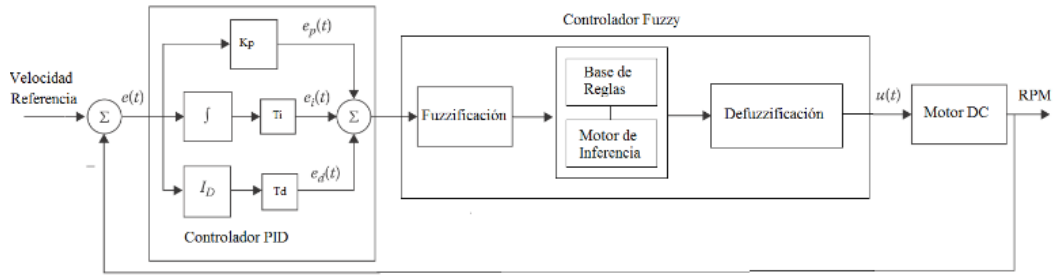


Figura 9. Diagrama de Bloques de Controlador PID + Fuzzy

Fuente. Elaboración Propia.

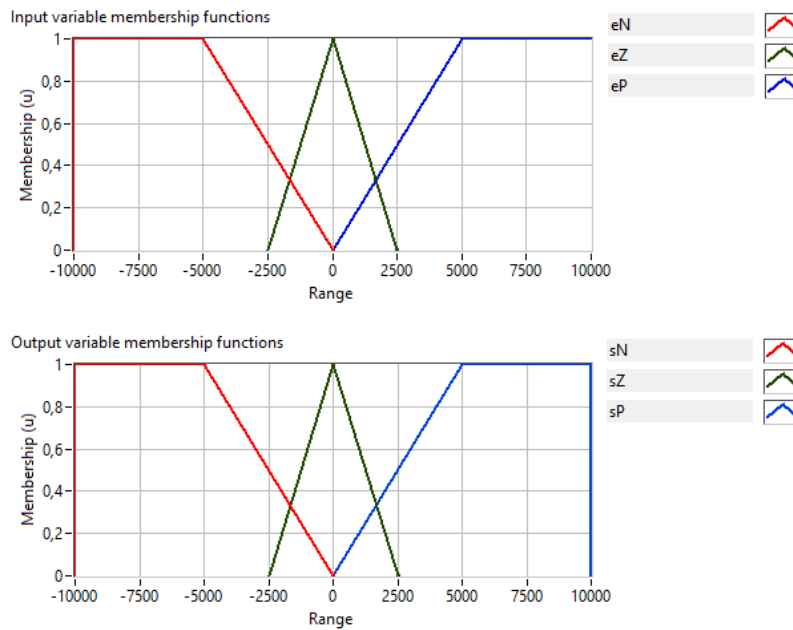


Figura 10. Diseño del Sistema Difuso con LabVIEW

Fuente. Elaboración Propia.

A continuación, es necesario establecer las reglas difusas para el error del controlador las que se detallan en la Figura 11. Estas reglas permitirán al controlador tomar las decisiones para incrementar o disminuir la velocidad y de esta manera ajustar la salida de la planta al valor de referencia.

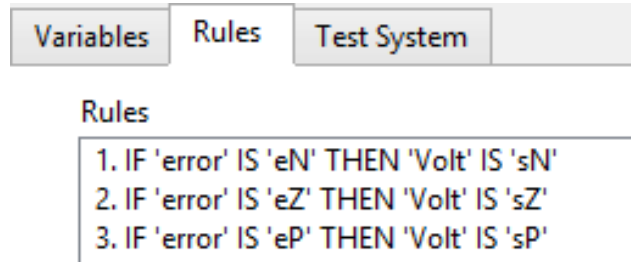


Figura 11. Reglas difusas para el Controlador Fuzzy

Fuente. Elaboración Propia.

Con esta herramienta podemos desplegar en el diagrama de bloques y afinar algunos detalles adicionales para el control de velocidad del Motor DC mediante Lógica Difusa, tal como se observa en la Figura 12. Aquí fue necesario ajustar el valor de salida del controlador difuso al rango de voltaje de operación del Motor DC, lo cual previamente fue analizado cuyos valores deben estar entre 0.5v y 5v, mientras que el controlador entrega valores numéricos desde -5600 a 5600. El Sistema fuzzy del tipo SISO debe ser llamado previamente para luego ingresar al lazo de control y simulación y luego el proceso es similar al controlador convencional ya que solo se ha reemplazado al controlador y la relación de salida que varía la velocidad del motor DC (Salim, 2013).

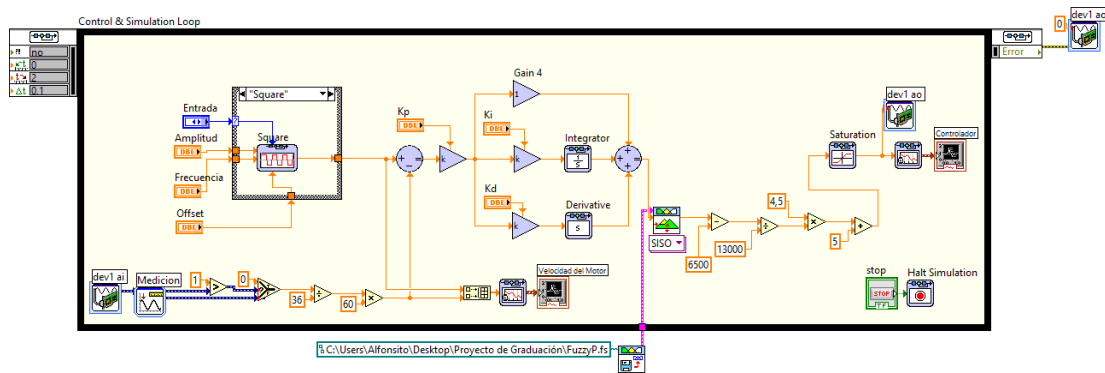


Figura 12. Control de Velocidad Fuzzy PID

Fuente. Elaboración Propia.

Con este programa podemos realizar el Control de velocidad del Motor DC mediante Lógica Difusa y analizar la respuesta del sistema y desde luego realizar los ajustes necesarios para conseguir la mejor respuesta del sistema con este tipo de controlador (A.

Rai, 2019), empleando como parámetros para el controlador con la finalidad de obtener una respuesta con margen de sobrepico menor al 7% y tiempo de establecimiento menor a 100mseg, aquellos parámetros se detallan en la Tabla 2.

<i>Tipo de Control</i>	<i>Kp</i>	<i>Ki</i>	<i>Kd</i>
<i>P</i>	<i>0.0005</i>	<i>9999</i>	<i>0</i>
<i>PI</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>0</i>
<i>PID</i>	<i>1</i>	<i>150</i>	<i>0.001</i>

Tabla 2. Parámetros del Controlador PID Fuzzy.

Fuente. Elaboración Propia.

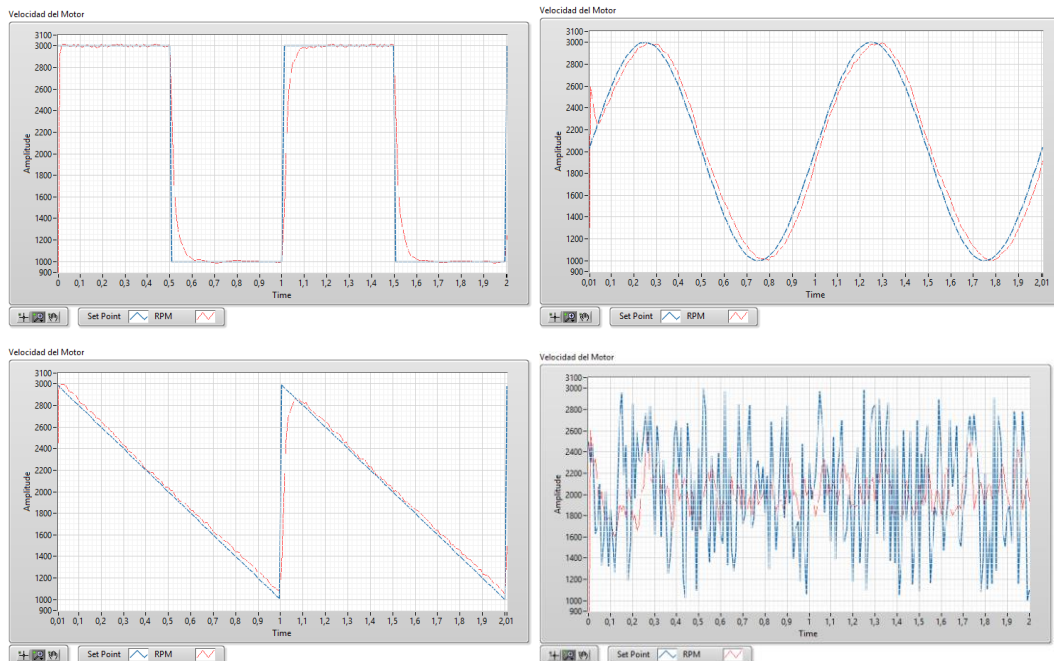


Figura 13. Respuestas para Controlador Fuzzy P

Fuente. Elaboración Propia.

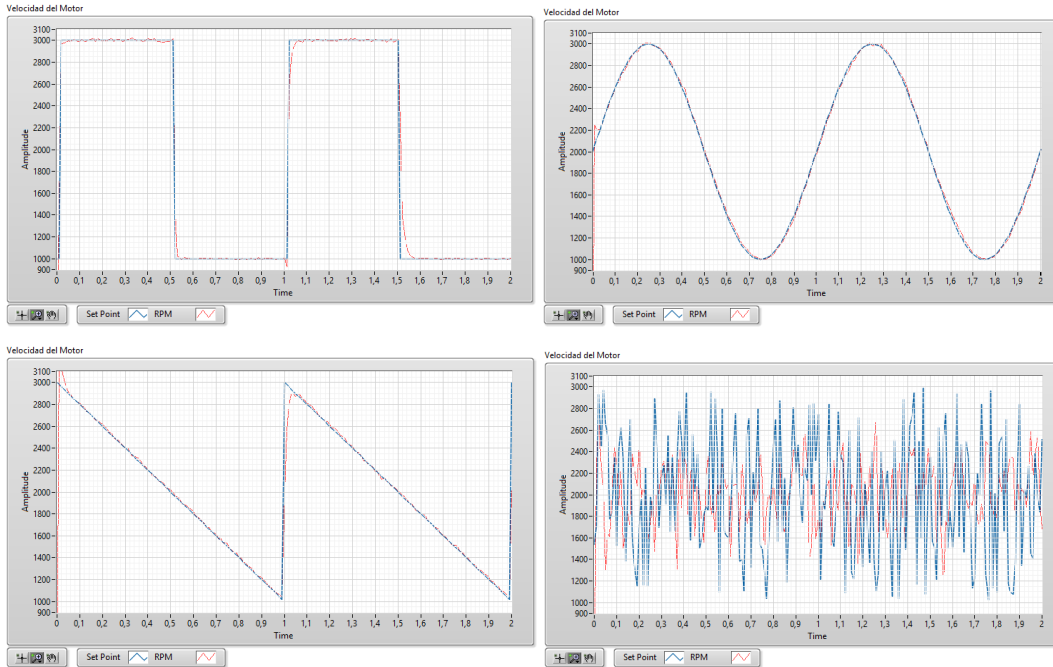


Figura 14. Respuestas para Controlador Fuzzy PI

Fuente. Elaboración Propia.

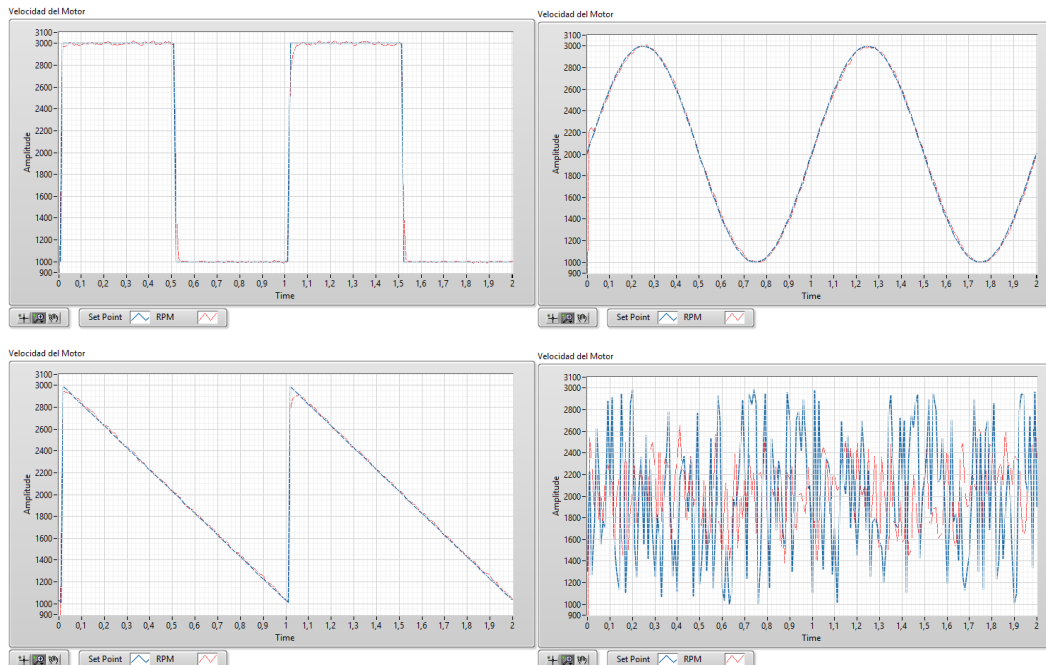


Figura 15. Respuestas para Controlador Fuzzy PID

Fuente. Elaboración Propia.

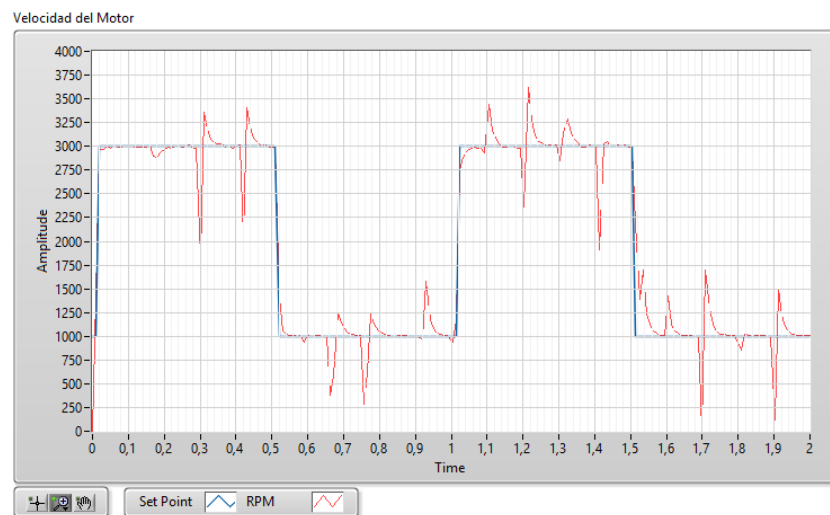


Figura 16. Respuesta Control Fuzzy PID con perturbación

Fuente. Elaboración Propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se muestra la comparación entre los dos tipos de controladores empleados para el desarrollo del presente proyecto.

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar la notable mejoría en la respuesta del sistema mediante el controlador difuso, además de las ventajas que se pueden enlistar a continuación:

Las regulaciones se pueden realizar de forma rápida, comprensible y orientada hacia la solución de problemas. Esto se aplica sobre todo cuando no hay modelo alguno de sistema controlado o cuando el modelo presenta una estructura no-lineal desfavorable (Somwanshia, Bundele, Kumar, & Parashar, 2019).

El comportamiento de un sistema se describe con expresiones lingüísticas, por lo que es más sencillo que una descripción matemática (Rodríguez Serrezuela, Aroca Trujillo, Sagaro Zamora, & Azhmyakov, 2018).

La base de reglas y la definición de la cantidad difusa se pueden ampliar o adaptar con posterioridad.

Parámetro/Controlador	Convencional			Fuzzy		
	P	PI	PID	P	PI	PID
<i>Tiempo de Establecimiento</i>	300 ms	50 ms	30 ms	80 ms	40 ms	10 ms
<i>Error en Estado Estacionario</i>	30 RPM	0 RPM	0 RPM	0 RPM	0 RPM	0 RPM
<i>Porcentaje de Sobrepico</i>	8.3%	0.8%	0.8%	0.8%	0.5%	0.3%
<i>Sensibilidad a Perturbaciones</i>	Muy sensible			Poco sensible		

Tabla 3. *Análisis de Resultados.*

Fuente. *Elaboración Propia.*

Sin embargo, se debe destacar que el controlador difuso posee ciertos límites de construcción. Si se diseña un regulador difuso directamente, se basa en las experiencias de los reguladores existentes o las personas. Por este motivo, los fallos en la fase de creación apenas se pueden corregir con posterioridad. Lo que quiere decir que este controlador se debe construir basado en conocimientos previos de funcionamiento del sistema y experiencias (Gowthaman, Vinodhini, Hussain, Dhinakaran, & Sabarinathan, 2017).

Con la creciente complejidad del sistema crece de forma sobreproporcional el trabajo necesario para el desarrollo de un regulador difuso (Keller, 2000).

CONCLUSIONES

El tiempo de establecimiento de un Controlador Fuzzy es menor en comparación al Controlador PID Convencional, siendo más notable en el controlador tipo P ya que se observa un tiempo de establecimiento de 80ms para el controlador fuzzy mientras que para el controlador convencional es de 300ms con lo que se puede decir que alcanza la referencia con mayor rapidez sin que esto se vea comprometido en oscilaciones que causen un margen de sobrepico.

El Controlador Fuzzy presenta una mayor robustez ya que es poco sensible a perturbaciones con variaciones de un 18% del valor de la referencia, mientras que el

controlador convencional presenta variaciones de hasta el 35%, siendo esto un tema indiscutible de superioridad de este controlador frente al PID Convencional.

Empleando el Módulo de Control, Diseño y Simulación de LabVIEW se consigue mejorar notablemente la respuesta a la planta inclusive empleando el controlador PID Convencional, ya que se reduce considerablemente el error en estado estacionario, margen de sobrepico y tiempo de estabilización.

Ante una entrada de referencia de tipo senoidal es evidente la superioridad del controlador Fuzzy debido a que sigue a la referencia casi con absoluta precisión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Rai, D. K. (2019). LabVIEW Platform based Real-time Speed Control of a DC Servo Motor With Fuzzy-PI Controller. *International Conference on Electrical, lectronics and Computer Engineering*, 1-4.

Gowthaman, E., Vinodhini, V., Hussain, M., Dhinakaran, S., & Sabarinathan, T. (2017). Speed Control of Permanent Magnet Brushless DC Motor Using Hybrid Fuzzy roportional plus Integral plus Derivative Controller. *Energy Procedia*, 1101-1108.

High Lights National Instruments Dealer For Ecuador. (09 de Octubre de 2020).

DOCPLAYER. Obtenido de Entrenador de Planta de Control EPC:

<https://docplayer.es/9095192-Entrenador-de-planta-de-control-epc.html>

Keller, J. (2000). Teaching PID and fuzzy controllers with LabVIEW. *International Journal of Engineering Education*, 202-211.

Muoz-Cesar, J., Merchan-Cruz, E., Hernandez-Gomez, L., Guerrero-Guadarrama, E., Jimenez-Ledesma, A., & Jaidar-Monter, I. (2008). Speed Control of a DC Brush Motor with Conventional PID and Fuzzy PI Controllers. *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, 344-349.

National Instruments. (09 de Octubre de 2020). *LabVIEW Control Design User Manual*.

Obtenido de <https://www.ni.com/pdf/manuals/371057f.pdf>

National Instruments. (09 de Octubre de 2020). *Working with m-file Scripts in NI LabVIEW for Text based Signal Processing, Analysis and Math.* . Obtenido de ftp://ftp.ni.com/pub/devzone/LV_Online_Eval/daq_ic/mathscript_getting_started.pdf

Rodriguez Serrezuela, R., Aroca Trujillo, J., Sagaro Zamora, R., & Azhmyakov, V. (2018). Start-Up of a PID Fuzzy Logic-Embedded Control System for the Speed of a DC Motor Using LabVIEW. *Electric Machines for Smart Grids Applications-Design, Simulation and Control. IntechOpen*, 175-189.

Salim, J. O. (2013). Speed Control of DC Motor using Fuzzy Logic based on LabVIEW. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 1-5.

Somwanshia, D., Bundele, M., Kumar, G., & Parashar, G. (2019). Comparison of Fuzzy-PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW. *Procedia Computer Science*, 252-260.