



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Sede Guayaquil

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

“MODELADO Y CONTROL DE POSICIÓN DE UN CILINDRO DE DOBLE EFECTO UTILIZANDO PID Y PID-DIFUSO CON MATLAB Y LABVIEW”

AUTORES:

JORGE ORELLANA APOLINARIO

ALEX CASCANTE YÉPEZ

DIRECTOR:

MSC. RICARDO CAJO DÍAZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

2017

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los diagramas desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores Jorge Orellana Apolinario y Alex Cascante Yépez y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.

Guayaquil, 18 de agosto del 2017

(f) _____

Jorge Orellana Apolinario.

(f) _____

Alex Cascante Yépez.

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO
POR EL TUTOR**

En calidad de co-tutor del trabajo de titulación “MODELADO Y CONTROL DE POSICIÓN DE UN CILINDRO DE DOBLE EFECTO UTILIZANDO PID Y PID-DIFUSO CON MATLAB Y LABVIEW”, elaborado por Jorge Orellana Apolinario y Alex Cascante Yépez, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de titulación basándome en la supervisión y revisión de su contenido.

Guayaquil, 18 de agosto del 2017

(f)_____

Msc. Ricardo Cajo Díaz

CC. #0924770282

DECLARATORIA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS

Yo Jorge Orellana Apolinario con documento de identificación N° 092189996-9, y Alex Cascante Yépez con documento de identificación N° 092316715-9 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto de titulación intitulado: "MODELADO Y CONTROL DE POSICIÓN DE UN CILINDRO DE DOBLE EFECTO UTILIZANDO PID Y PID-DIFUSO CON MATLAB Y LABVIEW", mismo que ha sido desarrollado para optar en la Universidad Politécnica Salesiana el título de Ingeniero Electrónico, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de agosto del 2017

(f) _____

Jorge Orellana Apolinario.

(f) _____

Alex Cascante Yépez.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico con todo mi amor y cariño a mi amada madre Ludvine Apolinario Iglesias quien con sus palabras, aliento, amor y ejemplo no me deja decaer e inyecta optimismo y perseverancia para alcanzar mis ideales.

A mi amada esposa Fabiola Mena P. por creer en mi capacidad, brindarme su cariño, para nuestro futuro y por nuestro amor.

A mi hermano Andrés Orellana Apolinario por ser mi compañero y amigo de vida al saber que nos tenemos el uno al otro incondicionalmente.

A mis abuelos Jorge y Merle y mi tía Myriam quienes fueron y son parte especial de mi formación como persona.

En especial a mis amados hijos Luisa y Jorge a quienes les dedico mi presente por ser mi motivación e inspiración para que su futuro sea próspero lleno de honestidad y valores acompañados siempre de la bendición de Dios.

Jorge Orellana Apolinario

DEDICATORIA

A los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica que se forman en ella, para contribuir a su educación superior, mediante el conocimiento de control automático de un sistema mediante controladores PID clásico y PID-Difuso que en esta tesis se expone.

Jorge Orellana Apolinario

Alex Cascante Yépez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la oportunidad de estar con vida, salud y bendecido, A mi madre por ser el pilar fundamental que con invaluable amor, apoyo y cariño permitieron formar valores sólidos, y alcanzar esta importante meta, A mis abuelos quienes entregaron incondicionalmente su ayuda y conocimientos.

Jorge Orellana Apoliano

Alex Cascante Yépez

AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL

A la Universidad Politécnica Salesiana, por permitir el uso de sus laboratorios y equipos para el desarrollo del proyecto de titulación.

Al Msc. Ricardo Cajo y al Msc. Byron Lima, por su ayuda y orientación desinteresada con el desarrollo del proyecto enfocado al desarrollo del aprendizaje de los jóvenes estudiantes.

A la Lic. Mariela Quispe, secretaria de la carrera de Ingeniería Electrónica por sus consejos y recomendaciones para seguir adelante con nuestro proyecto.

Jorge Orellana Apolianario

Alex Cascante Yépez

RESUMEN

| AÑO | TÍTULO | ALUMNO | DIRECTOR | TEMA DE TITULACIÓN |
|------|-----------------------|--|--------------------|---|
| 2017 | Ingeniero Electrónico | Jorge Gabriel Orellana Apolinario. Alex Isaac Cascante Yépez. | Ing. Ricardo Cajo. | Modelado y control de posición de un cilindro de doble efecto utilizando PID y PID-Difuso con Matlab y Labview. |

El presente trabajo realiza el modelado y control de un sistema neumático que realiza desplazamientos rápidos y con gran fuerza, con varias no linealidades como fuerzas de fricción, tiempo muerto y zona muerta, utilizando dos estrategias de control, PID-Clásico y PID-Difuso, con la finalidad de analizar el control, rendimiento y error de ambos controladores. El sistema consta de un actuador lineal neumático acoplado a un potenciómetro lineal que se alimenta de un nivel de voltaje dentro del rango de 15 a 24 V y entrega una señal eléctrica con un rango de 0 a 10 V y una válvula proporcional de 5/3 vías de la marca Festo, por medio de la cual se controla el flujo y sentido del aire que tendrá como objeto realizar un desplazamiento en el actuador para alcanzar una posición particular.

La identificación del sistema se realiza con la herramienta Ident de Matlab mediante una tarjeta PCI-1711, utilizando en primera instancia una identificación lineal la cual no cumplió con el nivel de aproximación requerido debido a las no linealidades presentes en el sistema por lo que se procedió a realizar una identificación no lineal con la misma herramienta basada en el modelo Hammerstein-Wiener y que es validado mediante RMSE (raíz de la media del cuadrado del error).

El diseño del control PID-Clásico se realiza con la ayuda de Sisotool mientras el diseño del control PID-Difuso se realiza en el diseñador de sistemas difusos "Fuzzy Logic Designer" de Matlab. Por otra parte estos controles son implementados en el software Labview por ser un software semejante a los usados en sistemas industriales, utilizando una tarjeta de adquisición de datos Mydaq donde se puede monitorizar y establecer la posición requerida por el usuario del sistema en tiempo real.

Los resultados obtenidos en este proyecto son evaluados utilizando los índices de desempeño IAE (error integral absoluto) e ISU (desviación integral de la señal de

control cuadrada) que nos permite medir el error acumulativo que penaliza el proceso de posicionamiento y la energía utilizada por el controlador respectivamente, indicando un mejor rendimiento del controlador PID-Difuso presentado en este trabajo.

Palabras clave: Sistema neumático, PID-Clásico, PID-Difuso, Identificación no lineal, Modelo Hammerstein-Wiener.

ABSTRACT

| YEAR | DEGREE | STUDENTS | ADVISOR | TITLE TOPIC |
|------|------------------------|--|--------------------|---|
| 2017 | Electronic Engineering | Jorge Gabriel Orellana Apolinario. Alex Isaac Cascante Yépez. | Ing. Ricardo Cajo. | Modeling and position control of a double-acting cylinder using PID and PID-Fuzzy with Matlab and Labview |

The present work makes the model and control of a pneumatic system that performs fast and with great force, with several nonlinear ones like forces of friction, dead time and dead zone, using two control strategies, PID-Classic and PID-Fuzzy, With the purpose of analyzing the control, the performance and the error of both controllers. The system consists of a linear pneumatic actuator coupled to a linear potentiometer that feeds a voltage level within the range of 15 to 24 V and delivers an electrical signal with a range of 0 to 10 V and a proportional valve of 5/3 Ways of the Festo brand, by means of which it controls the flow and the direction of the air whose purpose is to carry out a displacement in the actuator to reach a particular position.

The identification of the system is done with the Matlab Ident tool using a PCI-1711 card, using in the first instance a linear identification, which did not meet the level of approximation required due to the nonlinearities present in the system. To perform a non-linear identification with the same tool based on the Hammerstein-Wiener model and that is validated by RMSE (root mean square error).

The design of the PID-Classic control is performed with the help of Sisotool while the design of the PID-fuzzy control is performed in the Fuzzy Logic Designer of Matlab. On the other hand these controls are implemented in the software Labview for being software similar to those used in industrial systems, using a data acquisition card Mydaq where it can be monitored and set the position required by the user of the system in real time.

The results obtained in this project are evaluated using the performance indexes IAE (absolute integral error) and ISU (integral deviation of the square control signal) that allows us to measure the cumulative error that penalizes the positioning process and the energy used by the Controller respectively, indicating a better performance of the PID-Fuzzy controller presented in this work.

Keywords: Pneumatic system, PID-Classic, PID-Fuzzy, Non-linear identification, Hammerstein-Wiener model.

ÍNDICE

| | |
|---------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| CAPITULO # 1..... | 16 |
| 1. EL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 16 |
| 1.3. DELIMITACIÓN..... | 17 |
| 1.3.1. TEMPORAL..... | 17 |
| 1.3.2. ESPACIAL..... | 17 |
| 1.3.3. ACADÉMICA..... | 18 |
| 1.4. OBJETIVOS..... | 18 |
| 1.4.1. OBJETIVO GENERAL..... | 18 |
| 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 18 |
| 1.5. VARIABLES E INDICADORES..... | 18 |
| 1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE..... | 18 |
| 1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE..... | 19 |
| 1.5.3. INDICADORES..... | 19 |
| 1.6. METODOLOGÍA..... | 19 |
| 1.6.1. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO..... | 19 |
| 1.6.2. MÉTODO ANALÍTICO..... | 19 |
| 1.6.3. MÉTODO CUANTITATIVO..... | 19 |
| 1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA..... | 20 |
| 1.7.1. POBLACIÓN..... | 20 |
| 1.7.2. MUESTRA..... | 20 |
| 1.8. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA..... | 20 |
| 1.9. BENEFICIARIO..... | 22 |
| 1.10. IMPACTO..... | 23 |
| CAPÍTULO # 2..... | 24 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 24 |
| 2.1. ERROR..... | 24 |
| 2.2. EXACTITUD..... | 24 |
| 2.3. PRECISIÓN..... | 25 |
| 2.4. ZONA MUERTA..... | 25 |
| 2.5. SENSIBILIDAD..... | 26 |
| 2.6. REPETIBILIDAD..... | 26 |
| 2.7. HISTERESIS..... | 26 |
| 2.8. RUIDO..... | 27 |
| 2.9. LINEALIDAD..... | 27 |
| 2.10. PORCENTAJE DE SOBREPASO..... | 28 |

| | | |
|------------------|---|----|
| 2.11. | ERROR DE ESTADO ESTABLE | 28 |
| 2.12. | SISTEMA DE CONTROL | 28 |
| 2.12.1. | LA MÁQUINA | 29 |
| 2.12.2. | EL CONTROLADOR | 29 |
| 2.12.3. | SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO | 30 |
| 2.12.4. | SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO | 30 |
| 2.13. | IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS (BLACK BOX MODEL) | 31 |
| 2.13.1. | MODELOS PARA SISTEMAS LTI | 31 |
| 2.13.2. | MODELO PARAMÉTRICO OE (OUTPUT ERROR) | 32 |
| 2.13.3. | MODELO NO LINEAL HAMMERSTEIN-WIENER | 32 |
| 2.14. | CONTROL PID | 33 |
| 2.15. | CONTROL DIFUSO | 33 |
| 2.15.1. | CONJUNTOS DIFUSOS | 34 |
| 2.15.2. | TIPOS DE FUNCIONES DE MEMBRESIA | 34 |
| CAPÍTULO #3..... | | 35 |
| 3. | DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN | 35 |
| 3.1. | IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA | 35 |
| 3.1.1. | DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y EJECUCIÓN | 35 |
| 3.1.1.1. | ADQUISICIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS EN MATLAB | 36 |
| 3.1.1.2. | DISEÑO DE LA ENTRADA | 41 |
| 3.1.1.3. | ALMACENAMIENTO DE DATOS | 43 |
| 3.1.2. | IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA CON LA HERRAMIENTA IDENT DE MATLAB.... | 44 |
| 3.1.3. | IDENTIFICACIÓN NO LINEAL CON LA HERRAMIENTA IDENT DE MATLAB..... | 49 |
| 3.1.4. | VALIDACIÓN DEL MODELO NO LINEAL | 52 |
| 3.2. | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID-CLÁSICOS | 57 |
| 3.2.1. | SINTONIZACIÓN DE LOS CONTROLADORES P, PI, PD Y PID EN SISOTOOL DE MATLAB | 57 |
| 3.2.2. | CONTROL PROPORCIONAL (P) EN MATLAB | 60 |
| 3.2.3. | CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI) EN MATLAB | 62 |
| 3.2.4. | CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO (PD) EN MATLAB | 64 |
| 3.2.5. | CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID) EN MATLAB | 66 |
| 3.3. | CONTROLADOR PID-CLÁSICO EN LABVIEW | 68 |
| 3.3.1. | ACCIÓN PROPORCIONAL EN LABVIEW | 68 |
| 3.3.2. | ACCIÓN INTEGRAL EN LABVIEW | 70 |
| 3.3.3. | ACCIÓN DERIVATIVA EL LABVIEW | 72 |
| 3.3.4. | INTERVALO DE TIEMPO ENTRE MUESTRAS EN LABVIEW | 74 |
| 3.3.5. | CONTROL PID-CLÁSICO EN LABVIEW | 75 |
| 3.3.6. | IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL Y MONITOREO DE POSICIÓN PID-CLÁSICO EN LABVIEW | 76 |
| 3.4. | DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID-DIFUSO | 79 |
| 3.4.1. | CONTROLADORES DIFUSOS CON FUZZY LOGIC DESIGNER DE MATLAB | 80 |
| 3.4.2. | CONTROL PROPORCIONAL DIFUSO (P-DIFUSO) EN MATLAB | 80 |
| 3.4.3. | CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DIFUSO (PI-DIFUSO) EN MATLAB | 82 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.4. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO DIFUSO (PD-DIFUSO) EN MATLAB... | 84 |
| 3.4.5. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO DIFUSO (PID-DIFUSO) EN MATLAB | 87 |
| 3.5. CONTROLADORES DIFUSOS EN LABVIEW | 87 |
| 3.5.1. CONTROL PROPORCIONAL DIFUSO (P-DIFUSO) EN LABVIEW | 88 |
| 3.5.2. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DIFUSO (PI-DIFUSO) EN LABVIEW | 92 |
| 3.5.3. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO DIFUSO (PD-DIFUSO) EN LABVIEW . | 93 |
| 3.5.4. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO DIFUSO (PID-DIFUSO) EN LABVIEW..... | 95 |
| CAPÍTULO # 4..... | 97 |
| 4. ANÁLISIS RESULTADOS..... | 97 |
| CONCLUSIONES..... | 101 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 102 |
| ANEXOS | 103 |

INTRODUCCIÓN

En los inicios de la era industrial se realizaban controles manuales de procesos mediante instrumentos simples donde se observaba sensores analógicos, instrumentos de control manuales como válvulas y pizarras como visualizadores, en la actualidad el control de procesos se ha automatizado y es de enorme importancia en las industrias de todo tipo que estos controles cumplan con ciertos requerimientos, por lo que los estudios de diversas estrategias de control continúan avanzando, las mismas que buscan controlar el estado de variables físicas, químicas y eléctricas de tal manera que cumplan con un objetivo, convirtiéndose en un desafío para los nuevos profesionales adoptar las diversas estrategias de control.

El objeto de este trabajo es aportar con el desarrollo de dos tipos de controles, por un lado tenemos un control tradicional PID y otro de tipo difuso aplicados a un sistema neumático que presenta no linealidades para que los futuros profesionales puedan observar y evaluar la diferencia entre estas estrategias de control.

Este sistema neumático utiliza la energía del aire comprimido para realizar desplazamiento que puede ser utilizado para mover o hacer funcionar mecanismo. El sistema neumático que se controla en este trabajo es un actuador lineal de la marca Festo, el cual depende del sentido del aire para direccionar su desplazamiento, mismo que es controlado por una válvula proporcional de 5-3 vías.

Es común en la industria ver en tiempo real los procesos o estados de los equipos, por lo que en este trabajo se utiliza el software Labview para realizar el monitoreo.

EL control PID es un control lineal por lo que se limita el rango de las plantas donde puede controlar de forma satisfactoria, mientras que el control difuso se caracteriza por ser un buen control para sistemas no lineales.

CAPITULO # 1

1. EL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En las industrias, se busca la optimización de la producción automatizando los procesos, sin embargo hay sistemas que necesitan de un control con requerimientos específicos que a veces no son cumplidos por los controladores disponibles en el mercado, como el caso de controladores tipo PID los cuales cuentan con el autoajuste de sus parámetros de control pero la respuesta de dichos controladores, con los parámetros autoajustados, no siempre cumplen con los requerimientos deseados, por lo que se debe adquirir un conocimiento de teoría de control para hallar los valores de los parámetros o crear controladores que cumplan las necesidades, a los que también se les puede implementar sistemas de monitoreo en tiempo real. Los alumnos de la carrera ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil cursan materias como Teoría de control, Informática industrial y Automatización Industrial I en las que forman los conocimientos de los temas de controladores PID y PID-Difuso para los procesos automáticos los cuales son requeridos para resolver parte de la problemática; sin embargo los conocimientos adquiridos de manera teórica no son suficientes para el perfecto dominio de estos temas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Conociendo que en muchos procesos, es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes tales como la posición, el caudal la velocidad, la temperatura, presión, etc. Los alumnos de Ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil que cursan las materias Informática industrial y Automatización industrial I deben tener una mejor comprensión y dominio del tema de controladores tanto PID como PID-Difuso, por lo tanto, es necesario poner en práctica el conocimiento teórico adquirido en las aulas para que al momento de encontrarse en una industria el estudiante esté en capacidad de resolver problemas de control automático.

1.3. DELIMITACIÓN

El presente proyecto será desarrollado en el laboratorio de Fabricación Flexible de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, para los alumnos de las materias Informática industrial y Automatización industrial I del periodo 2016 y consta de:

- **Actuador lineal**
Marca: Festo
Modelo: DGPL 450mm
- **Potenciómetro lineal**
Marca: Festo
Modelo: MLO 450mm
- **Válvula proporcional 5/3 vías**
Marca: Festo
Modelo: MPYE
- **Compresor de aire**
- **Distribuidor de aire**
- **Tarjeta PCI**
- **Tarjeta de adquisición de datos (myDAQ) (National Instruments)**
- **Software Matlab**
- **Software Labview (National Instruments)**

1.3.1. TEMPORAL

El proyecto se diseñó y desarrolló en la ciudad de Guayaquil, Ecuador en el periodo 2016 – 2017.

1.3.2. ESPACIAL

El proyecto se lo implementa en el laboratorio de fabricación flexible ubicado en el tercer piso del bloque B de la universidad politécnica salesiana sede Guayaquil ubicada en la Av. Domingo Comín y callejón Chambers, pero al no ser una planta de grandes dimensiones ni de peso considerable puede ser implementado en cualquier laboratorio de dicha institución.

1.3.3. ACADÉMICA

Para este proyecto se empleó conocimientos adquiridos en teoría de control, instrumentación, automatización e informática industrial. El software Matlab se emplea para la identificación de la planta y el diseño del controlador PID-Clásico, mientras que el software Labview se utiliza para la implementación de los controladores PID tanto clásico como difuso y monitoreo del sistema en tiempo real.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar el modelo de la planta para el control de posición de un cilindro de doble efecto utilizando controles PID y PID-difuso.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el modelo de la planta con la herramienta Ident de Matlab.
- Desarrollar un controlador PID en el software Labview que permita el control de posición de un cilindro de doble efecto.
- Desarrollar un control PID-Difuso en el software Labview que permita el control de posición de un cilindro de doble efecto.
- Monitorear las entradas y salidas a través de la tarjeta de adquisición de datos DAQ y una PC utilizando el software Labview.
- Comparar el comportamiento de ambos controladores.

1.5. VARIABLES E INDICADORES

1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Identificar la planta para obtener su modelo y realizar los controles a lazo cerrado.

1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Complementar el desenvolvimiento de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana mediante el desarrollo del proyecto ya que adquirirán solidez en los conocimientos previamente adquiridos.

1.5.3. INDICADORES

Incremento de la comprensión de los estudiantes en el desarrollo de las prácticas debido a la implementación de controladores.

Aplicar los conceptos teóricos de las asignaturas teoría de control, instrumentación, automatización, informática industrial, adaptando al estudiante al desarrollo de controladores.

1.6. METODOLOGÍA

1.6.1. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Se investigó información existente en libros, artículos científicos, en bibliografía virtual, documentos sobre el tema, y las herramientas a emplearse.

1.6.2. MÉTODO ANALÍTICO

Se descompone en partes un sistema para ser estudiado por separado, la identificación, validación del modelo, diseño de controladores, con el propósito de estudiar las relaciones que las unen, la respuesta del sistema con los controladores a lazo cerrado.

1.6.3. MÉTODO CUANTITATIVO

Se realiza la observación y análisis de los datos para determinar errores y desempeño.

1.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.7.1. POBLACIÓN

Estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1.7.2. MUESTRA

Estudiantes de la carrera Ingeniería Electrónica que se encuentran cursando las materias de informática industrial y automatización industrial I.

1.8. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Para resolver la problemática mencionada se ha considerado realizar un proyecto de modelado mediante identificación y diseño de controladores de posición de un cilindro de doble efecto a modo de prácticas que iniciará desde la adquisición de datos hasta el desarrollo de dos tipos de controladores, con la cual el docente podrá desarrollar de forma práctica los controladores en conjunto con los alumnos que cursan las materias de Informática industrial y Automatización 1. El esquema del sistema neumático a controlar se presenta en la Figura 1.

El proyecto constará de un actuador lineal marca: Festo, modelo: DGPL que cambiara de posición utilizando PID y PID-difuso.

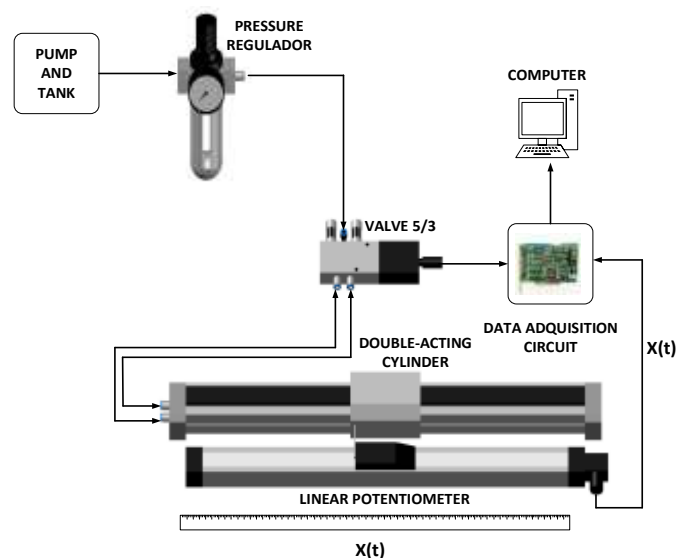


Figura 1. Diagrama del sistema

Para determinar la posición del actuador lineal se utilizará un potenciómetro lineal marca: Festo, modelo: HLO el cual transforma la variable física “posición” en una señal eléctrica. La tensión de alimentación del potenciómetro puede estar entre 15 a 24 V y la señal de salida de 0 a 10 V (ver Figura 2)

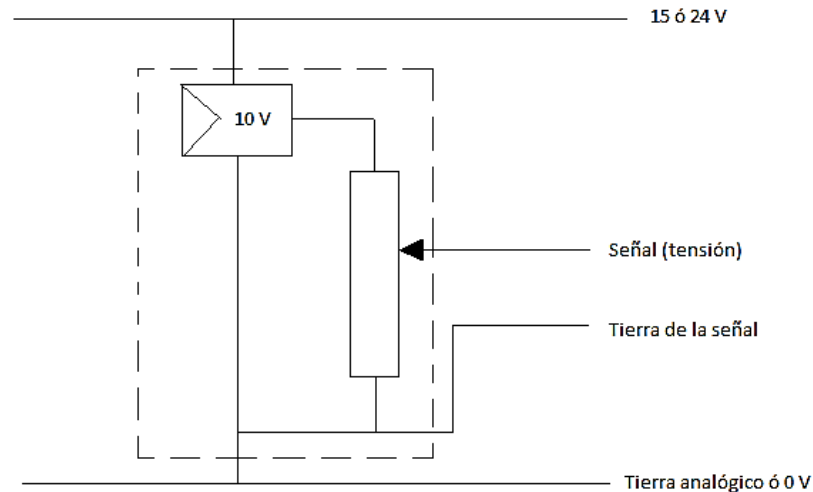


Figura 2. Esquema de conexiones eléctricas del potenciómetro lineal [1]

También cuenta con una válvula proporcional de 5/3 vías que convierte una señal eléctrica analógica en un nivel de abertura del pistón permitiendo el paso de aire. A la mitad de la tensión nominal, es decir 5 V, la válvula asume su posición media, de forma que bloquee el paso de aire. Cuando el voltaje se encuentra a 0 o 10 V respectivamente, la válvula toma posiciones finales permitiendo el mayor paso de aire, con una máxima sección de abertura [1].

Estos sistemas han sido implementados en diversas aplicaciones industriales pero a pesar de ser actuadores lineales presentan una alta no linealidad en su comportamiento debido a la naturaleza compresible del aire, zonas muertas y una condición conocida como stick-slip, esto es causado por la necesidad de superar la fricción o la fuerza de ruptura entre el sello del pistón y el cilindro y puede dar lugar a un movimiento inicial errático, esto se presenta especialmente a velocidades lentas o en aplicaciones de parada-arranque [2].

La adquisición y generación de datos se hará con una tarjeta PCI y una Mydaq de National Instruments.

Se utiliza el software Matlab para la identificación y modelado de la planta y el diseño de los controladores y el software Labview de National Instruments para la implementación de los controladores, interfaz y control de usuario.

Con base en lo anterior se realiza el estudio y análisis del modelo de posición del cilindro de doble efecto, el diseño de un controlador PID, el diseño de un controlador PID-difuso, el desarrollo y evaluación del comportamiento de los controladores cumpliendo con la estructura de control a lazo cerrado que se muestra en la Figura 3.

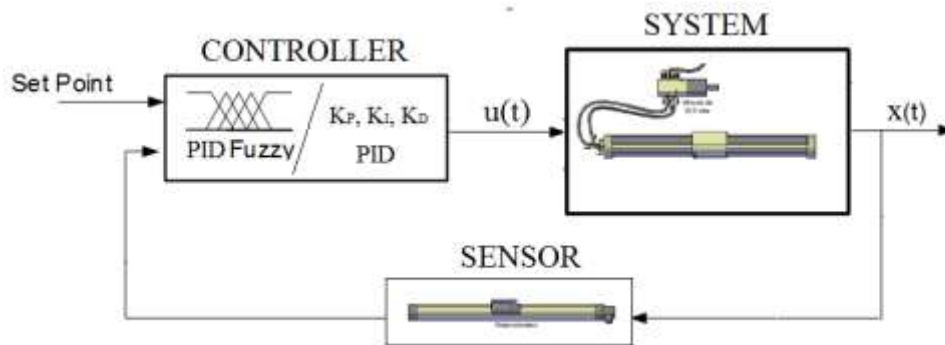


Figura 3. Lazo de control de cilindro neumático de doble efecto.

Las prácticas que se realizarán son:

- 1) Adquisición de datos.
- 2) Controlador Proporcional (P).
- 3) Controlador Proporcional + integral (PI).
- 4) Controlador Proporcional + integral + derivado (PID).
- 5) Controlador P-difuso.
- 6) Controlador PI-difuso.
- 7) Controlador PID-difuso.

1.9. BENEFICIARIO

Los beneficiarios de este proyecto serán aquellos estudiantes que estén cursando las asignaturas Informática Industrial y Automatización Industrial 1 de la Universidad

Politécnica Salesiana sede Guayaquil a fin de poder realizar de forma práctica los dos tipos de controladores.

1.10. IMPACTO

El desarrollo de este proyecto permitirá a los estudiantes reforzar los conocimientos adquiridos en las materias de teoría de control, instrumentación, informática Industrial, y Automatización I, ya que desarrollando este tema pondrán en práctica lo aprendido y tendrán una mejor comprensión de los temas.

CAPÍTULO # 2

2. MARCO TEÓRICO

Esta sección se puede encontrar la exposición y análisis de la teoría que sirve como fundamento para el desarrollo del presente trabajo, basado en fuentes documentales y/o trabajos anteriores.

2.1. ERROR

El error es la diferencia que existe entre un valor medido y un valor de referencia.

Basados en este concepto se dice, que para determinar el error que existe en el estado actual de un sistema con respecto a un valor de consigna o un estado deseado, se calcula la diferencia entre el estado actual del sistema (PV) y el valor de estado deseado o de referencia (SP). [3]

2.2. EXACTITUD

La exactitud de un instrumento es la cualidad de cercanía o aproximación con el valor verdadero o con el valor de referencia aceptable.

Es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal como si fuera el verdadero. El grado de conformidad independiente es la desviación máxima entre la curva de calibración de un instrumento y una curva característica especificada, posicionada de tal modo que se reduce al mínimo dicha desviación máxima [3].

Normalmente se confunde el término de exactitud con el de precisión los cuales no son iguales por lo que en la Figura 4 se muestra la diferencia entre ambos términos.

El concepto "exactitud de medida" no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida [4].

2.3. PRECISIÓN

A diferencia de la exactitud la precisión es la cualidad de un instrumento de tener cercanía de lecturas repetidas una de otras es decir, que tan dispersas se encuentran las lecturas realizadas al mismo mensurando varias veces.

Un ejemplo práctico son las indicaciones posición en unidades de Voltios del potenciómetro lineal utilizado en este trabajo que a una longitud media realizando 5 mediciones indica valores de 5,01V - 5,01V - 5,03V - 5,04V - 5,02V, lo que indica una buena precisión, a señalar que el termino precisión es sinónimo de respetabilidad. [3]

En muchas ocasiones es preferible que un instrumento sea más preciso que exacto ya que si tiene falta de exactitud se pueden realizar correcciones sistemáticas al instrumento, mientras la falta de precisión se puede traducir a lecturas poco confiables, siendo lo ideal que el instrumento sea preciso y exacto. La diferencia entre estos términos se los puede observar de manera gráfica en la Figura 4.

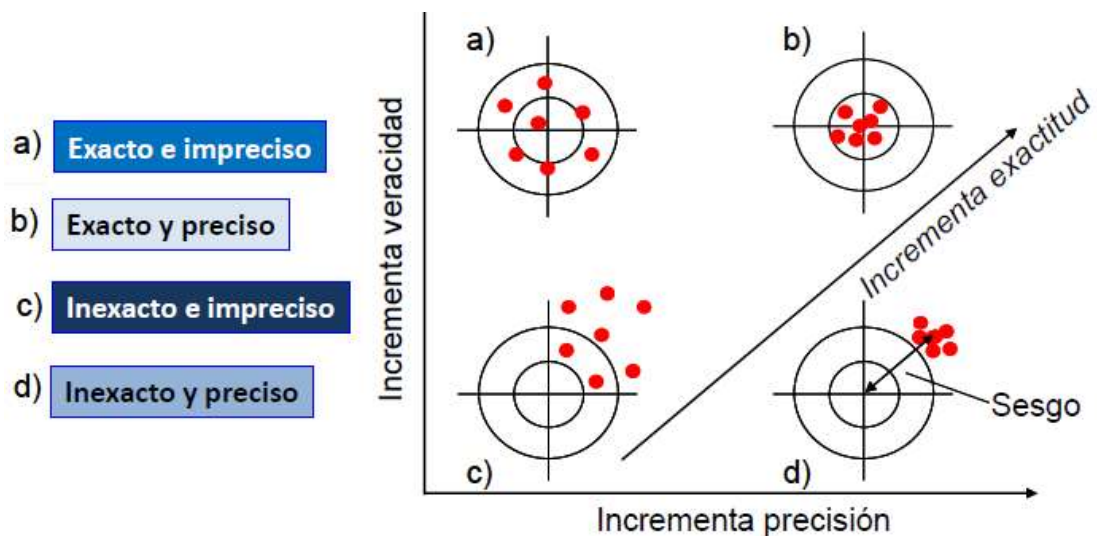


Figura 4. Exactitud – Precisión.

2.4. ZONA MUERTA

La zona muerta (Dead Zone) es un intervalo en el cual un instrumento no presenta variación en su respuesta. En este proyecto una de las principales fuente de no linealidad es la zona muerta en la cual el cilindro de doble efecto no responde a un intervalo de variación que es determinado más adelante en este trabajo.

2.5. SENSIBILIDAD

La sensibilidad es la percepción del instrumento al cambio de indicación respecto a la variación del mensurando. Por ejemplo, si un transmisor electrónico de 0-10 bar, la precisión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilidad es el cociente, como se puede observar en la ecuación (2.1).

$$\frac{(12,3-11,9)/(20-4)}{(5,5-5)/10} = \pm 0,5 \text{ mA c. c./bar} \quad (2.1)$$

No se debe confundir la sensibilidad con el término de zona muerta; son definiciones básicamente distintas que antes eran fácil de confundir cuando la definición inicial de la sensibilidad era “valor mínimo que se ha de modificar la variable para apreciar un cambio medible en el inicio o en la pluma de registro de los instrumentos”. [3]

2.6. REPETIBILIDAD

La repetibilidad es la capacidad de un instrumento de dar la misma lectura de indicación o respuesta de un instrumento cuando se realizan varias medidas en cortos intervalos de tiempo y bajo condiciones razonablemente constantes. Una buena repetibilidad se traduce en una buena precisión por parte de un instrumento.

Como ejemplo tenemos la determinación de repetibilidad de un manómetro realizando 6 lecturas de 30 psi de presión, obteniendo lecturas de 30.1 psi, 30.0 psi, 30.0 psi, 30.0 psi, 30.1 psi, 30.0 psi, que indican una variación máxima de 0.1 psi equivalente al 0,33%.

A mayor Repetibilidad, es decir, a un menor valor numérico [...], los valores de la indicación o señal de salida estarán más concentrados, es decir, habrá menos dispersión y una mayor precisión. [3]

2.7. HISTERESIS

La histéresis representa el comportamiento de un instrumento al realizar una acción ascendente o descendente, este comportamiento es más detectable en instrumentos analógicos donde se observa una diferencia en las medidas de lecturas ascendentes y descendentes, aunque también suele ser detectable en instrumentos digitales.

Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: si en un termómetro de 0-100%, para el valor de la variable de 40°C, la aguja marca 39,9°C al subir la temperatura desde 0°C, e indica 40,1°C al bajar la temperatura desde 100°C, el valor de la histéresis es el indicado por la ecuación (2.2):

$$\frac{40,1-39,9}{100-0} \times 100 = \pm 0,2\% \quad (2.2)$$

En la Figura 5 pueden verse las curvas de histéresis que están dibujadas exageradamente para apreciar bien su forma. Hay que señalar que en término “zona muerta” está indicada dentro de la histéresis. [3]

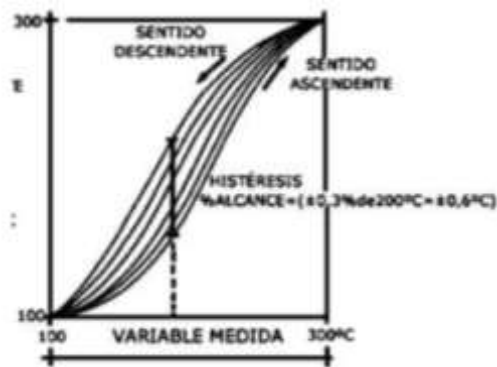


Figura 5. Curvas de histéresis [3].

2.8. RUIDO

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados. Un caso especial es la interferencia de radiotransmisores RFI (RADIO FREQUENCY INTERFERENCE).

Puede expresarse en unidades de la señal de salida o en tanto por ciento del alcance. [3]

2.9. LINEALIDAD

La aproximación de una curva de la calibración o una línea recta específica. [3]

Otra definición dice que es la característica de un dispositivo o sistema que puede describirse mediante una ecuación diferencial lineal con coeficientes constantes. [5]

En otras palabras es el cambio de sesgo en el rango de operación normal.

2.10. PORCENTAJE DE SOBREPASO

Existe un sobrepaso cuando un sistema no está lo suficientemente amortiguado lo que produce que al querer alcanzar un estado el sistema se pase del valor deseado, este sobrepaso se expresa en porcentaje por lo que es conocido como “porcentaje de sobrepaso”. El porcentaje de sobrepaso representa una sobrecompensación del sistema y puede producir señales de salida peligrosamente grandes que pueden dañar un sistema. [3]

2.11. ERROR DE ESTADO ESTABLE

Se denomina error de estado estable a la diferencia que existe entre el estado del sistema cuando no se detecta variación (estable) y la referencia o estado deseado.

[3]

2.12. SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control general se puede dividir en dos partes como se aprecia en la Figura 6, la primera denominada máquina y otra que corresponde al controlador. La máquina a su vez se puede dividir en dos partes la planta y el dispositivo de realimentación o sensor, la planta corresponde a los actuadores que cumplen una acción como por ejemplo un cilindro Neumático, un esterilizador, un motor, un regulador de voltaje, etc...La planta recibe dos señales la primera de control y la segunda son perturbaciones. El controlador es el encargado de llevar a la planta a estados deseados.

El objetivo del sistema de control es conducir la planta en respuesta a la orden mientras se superan las perturbaciones. [6]

Se puede decir que el objetivo del control de proceso es hacer que las salidas de proceso (variables controladas) se comporten de una manera deseada ajustando las entradas de proceso (manipulando variables). [7]

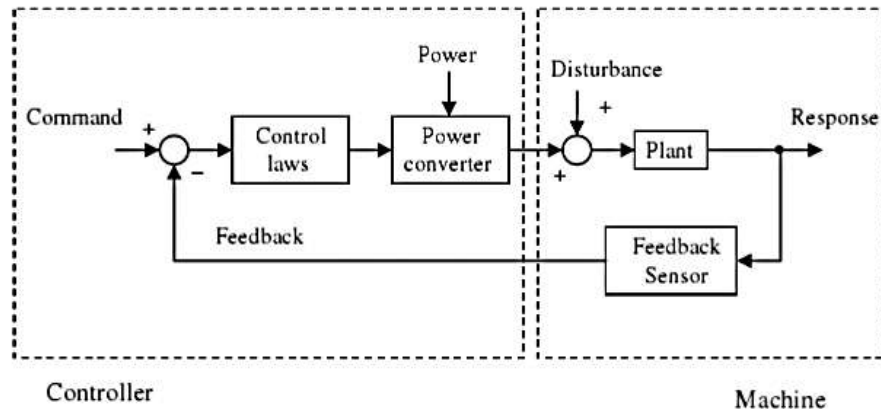


Figura 6. El Sistema de control general [6]

2.12.1. LA MÁQUINA

La máquina está formada por dos partes: la planta y la retroalimentación. La planta es el elemento o elementos que producen la respuesta del sistema. Las plantas son generalmente pasivas, y usualmente disipan el poder. Ejemplos de plantas incluyen un elemento de calentamiento y un motor acoplado a su carga. Los sistemas de control necesitan retroalimentación porque la planta rara vez es lo suficientemente predecible como para ser controlada en bucle abierto, es decir, sin retroalimentación. Esto se debe a que la mayoría de las plantas integran la salida del convertidor de potencia para producir la respuesta del sistema. El voltaje se aplica a inductores para producir corriente; El par se aplica a la inercia para producir velocidad; Se aplica presión para producir flujo de fluido. En todos estos casos, el sistema de control no puede controlar directamente la variable de salida, sino que debe suministrar energía a la máquina como la física lo permite y luego supervisar la retroalimentación para asegurarse de que la planta está en camino. [6]

2.12.2. EL CONTROLADOR

El controlador incorpora tanto las leyes de control como la conversión de energía. El proceso de ajuste de las ganancias de ajuste para alcanzar el rendimiento deseado equivale a ajustar los parámetros de las leyes de control. La mayoría de los controladores permiten a los diseñadores ajustar las ganancias; Los controladores más flexibles permiten al diseñador modificar las propias leyes de control. Cuando se sintoniza, la mayoría de los ingenieros de control se enfocan en lograr una respuesta de comando rápida y estable. Sin embargo, en algunas aplicaciones,

rechazar las perturbaciones es más importante que responder a los comandos. Todos los sistemas de control deben demostrar un rendimiento robusto porque incluso las máquinas y procesos casi idénticos varían de una forma u otra y cambian con el tiempo. [6]

2.12.3. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO

Los sistemas de control realimentado como se muestra en la Figura 7 se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se alimenta al controlador la señal de error de actuación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. [8]

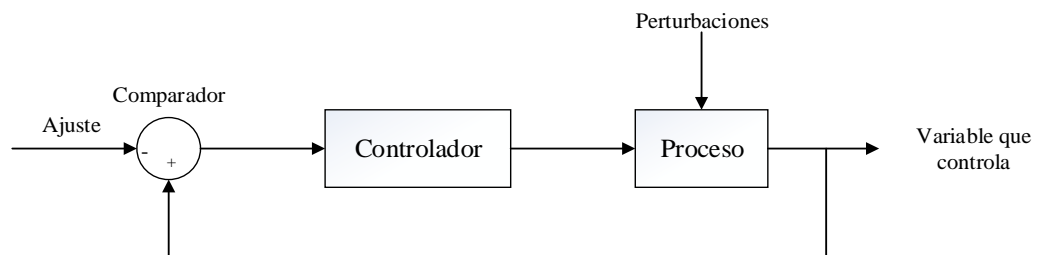


Figura 7: Sistema de control en lazo cerrado

2.12.4. SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control como se muestra en la Figura 8 se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es la lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. [8]

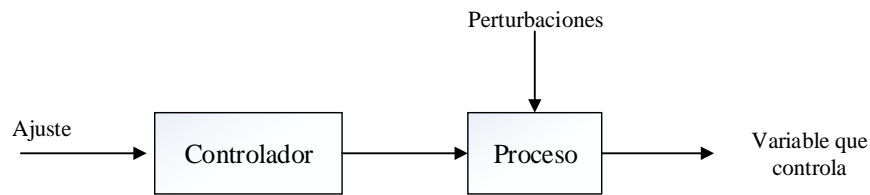


Figura 8: Sistema de control en lazo abierto

2.13. IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS (BLACK BOX MODEL)

Los sistemas, en el más mínimo sentido, son dispositivos que toman entrada y producen una salida. La salida está relacionada con la entrada por una determinada relación conocida como respuesta del sistema. [9]

Ya en 1962 se dice que la Identificación de sistemas es la determinación, a partir de la observación de la entrada y de la salida, de un sistema dentro de una clase determinada de sistemas a los que el sistema sometido a ensayo es equivalente; determinación del estado inicial o terminal del sistema sometido a prueba. [10]

Por lo que la identificación de sistemas por caja negra consiste en el modelamiento de un sistema dinámico mediante un estudio de un elemento a partir de su comportamiento de salida para una entrada determinada sin abarcar en su funcionamiento interno [8]. Identificando sus parámetros a partir de pruebas experimentales con un tiempo de desarrollo relativamente corto, parámetros constantes y sin significado por lo que no requiere conocimiento del proceso.

2.13.1. MODELOS PARA SISTEMAS LTI

Un modelo es una abstracción matemática de un sistema, que permite sustituirlo cuando se estudia la relación entre las señales de entrada y salida. [11]

Un sistema se denomina invariante en el tiempo si la salida es siempre la misma ante una misma entrada, sin importar el instante de tiempo en el que se aplica dicha entrada. [11] Es decir que para que un sistema sea lineal e invariable en el tiempo debe cumplir estas dos propiedades que matemáticamente se expresan mediante las ecuaciones (2.3) y (2.4) respectivamente y se muestran en las Figuras 9 y 10.

Linealidad

$$T[a_1x_1(n) + a_2x_2(n)] = a_1T[x_1(n)] + a_2T[x_2(n)] \quad \forall a_1, a_2, x_1(n), x_2(n) \quad (2.3)$$



Figura 9. Propiedad de linealidad

Invarianza a desplazamientos (Invarianza en el “tiempo”)

$$\text{Si } T[x(n)] = y(n) \text{ entonces } T[x(n - k)] = y(n - k) \quad \forall x(n), k \quad (2.4)$$



Figura 10. Propiedad de Invarianza a desplazamiento

2.13.2. MODELO PARAMÉTRICO OE (OUTPUT ERROR)

Un modelo paramétrico es aquel que permite establecer una relación conocida entre las entradas y salidas salvo a coeficientes o constantes.

El modelo paramétrico básico es el ARX donde se introducen diferentes modelos de perturbaciones: ARMAX, OE, BJ.

El modelo no lineal que obtenemos en este trabajo es mediante Hammerstein-Weiner basado en un modelo Oe (salida de error) de la ecuación (2.5).

$$y(k) = \frac{B(q^{-1})}{F(q^{-1})} u(k) + 1 e(k) \quad (2.5)$$

2.13.3. MODELO NO LINEAL HAMMERSTEIN-WIENER

La salida de un sistema puede depender de forma no lineal de sus entradas por lo que el modelo Hammerstein-Wiener propone descomponer en varios bloques la identificación del sistema, uno de ellos es el bloque lineal Oe en el que podemos proponer la cantidad de polos y ceros y mejorar su fidelidad agregando no linealidades de entrada y salida.

La herramienta de identificación de Matlab permite agregar no linealidad tanto a la entrada y salida del bloque lineal en la cual a la entrada se le agrega una no linealidad por zona muerta que se determina en el desarrollo de este trabajo.

2.14. CONTROL PID

El control PID es la combinación de tres acciones de control, la acción Proporcional, la acción integral y la acción derivativa donde estas acciones pueden derivar en controles P, PI, PD y PID.

La acción proporcional entrega una señal a la planta correspondiente al error multiplicada por una ganancia proporcional que puede ser ajustada (K_p) pero esta acción de control es limitada y puede poseer un error de offset.

El segundo tipo de control es el PI que junta dos acciones, tanto la proporcional como la integral. Debido a la acción integral un error pequeño ya sea positivo o negativo dará una señal de control creciente o decreciente, haciendo que el error se haga cero y el sistema busque la referencia. Muchos sistemas en la industria usan controles PI que permiten cumplir con las necesidades siempre y cuando se de una dinámica del sistema de primer orden.

En el control PD intervine la acción derivativa donde por la acción derivativa existe una relación lineal entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control, por lo que se dice que esta acción es proporcional a la pendiente de la variable [3].

Y por último tenemos la combinación de las tres acciones de control que combina las propiedades de estas. Una buena sintonización de las constantes de este controlador se traducirá en un control eficaz y robusto sin olvidar que su cumplimiento óptimo es sobre sistemas lineales.

2.15. CONTROL DIFUSO

La lógica difusa se basa en información abstracta como: “¿qué tan limpio está?”, “el aire es frío” o “la velocidad es rápida”. Siendo la lógica difusa una rama de la inteligencia artificial que permite a la computadora tomar decisiones de proposiciones abstractas muy parecido al mundo real entre rangos de falso y verdadero.

Un ejemplo utilizado para explicar este tema es el de dar la propina adecuada a un mesero después de dar el servicio, la toma de decisión de un ser humano respecto a cuanto es lo correcto que se le debe dar de propina al mesero dependerá de lo que se considera, como la amabilidad, la rapidez con la que atendió a sus pedidos,

etc... y esta lógica difusa permite que una computadora sea capaz de determinar el valor de propina al mesero, entregándole cierta información como un rango de verdadero a falso, o de 1 a 0.

La lógica difusa consta de tres etapas, la primera de ellas es la fusificación que consiste en pasar de un 0 y 1 booleano o binario a un rango de valores entre 0 y 1 donde se busca determinar en qué grado de valor que se está adquiriendo pertenece a un conjunto difuso. La segunda etapa es la de inferencia donde se proponen un conjunto de reglas lingüísticas que son la guía para que el sistema se comporte correctamente. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia caracterizando la salida.

La tercera etapa se la conoce como defusificación donde se determinan los valores óptimos de salida y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de pertenencia, a un valor real. [14]

2.15.1. CONJUNTOS DIFUSOS

Un conjunto se puede definir al describir las propiedades relevantes de sus elementos por las siguientes tres razones, es consistente, porque expresa explícitamente el significado de un conjunto y puede ser utilizada para reconocer nuevos elementos de un conjunto cuando las propiedades de los elementos cambian o cuando las propiedades que lo definen cambian

2.15.2. TIPOS DE FUNCIONES DE MEMBRESIA

Existen varios tipos de funciones de membresía, las más utilizadas en la práctica son la triangular, trapezoidal o PI, forma de campana, Gaussiana y función sigmoïdal.

CAPÍTULO #3

3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA PLANTA

A través de la identificación de sistemas se puede obtener distintos modelos de una planta. La construcción del modelo del sistema dinámico se realiza considerando datos medidos y observados del sistema, para ello se debe realizar un proceso de identificación el cual consta de varias etapas, empezando por el diseño del experimento y ejecución hasta la obtención del modelo que cumpla los criterios de aceptación como se puede ver en el diagrama de flujos mostrado en la Figura 11.

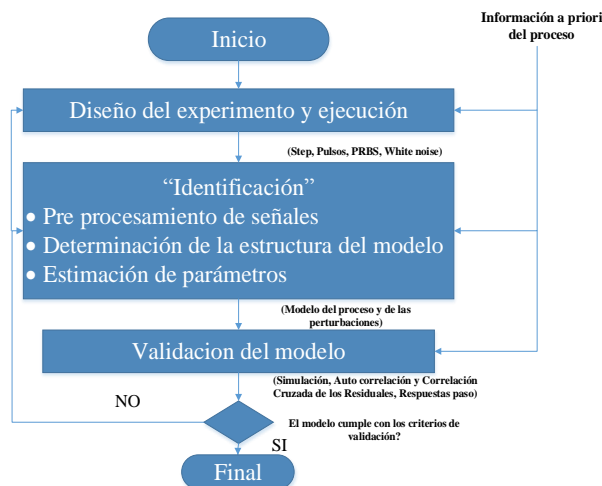


Figura 11. Diagrama de flujo de identificación de sistema

3.1.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y EJECUCIÓN

El método que se emplea para la identificación del sistema será de Lazo abierto (ver Figura 12) que consta en medir y capturar los datos tanto de entrada como de salida del sistema al ingresar una señal de entrada sin que la salida sea retroalimentada.

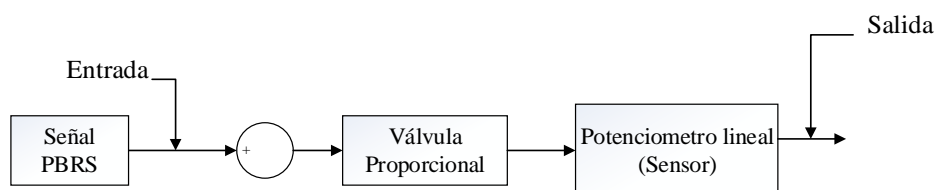


Figura 12. Sistema bajo prueba a lazo abierto

3.1.1.1. ADQUISICIÓN Y GENERACIÓN DE DATOS EN MATLAB

El primer paso para el proceso de la identificación es la adquisición y generación de datos de la planta mediante Simulink del software Matlab y la tarjeta PCI-1711 realizando las conexiones en el sistema que se muestra en la Figura 13.

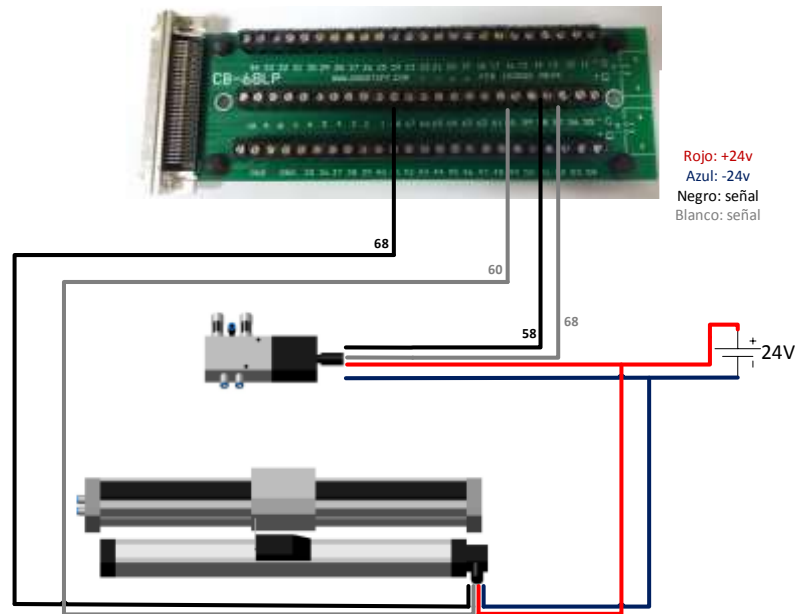


Figura 13. Conexiones del sistema con tarjeta PCI-1711

Una vez realizadas las conexiones se procede a realizar la configuración de los pines de entrada y salida analógicas de la tarjeta PCI-1711 en Simulink mediante los bloques de entrada analógica y salida analógica que observamos en la Figura 14.

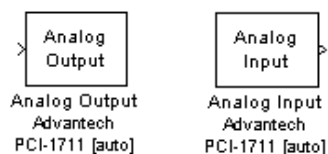


Figura 14. Bloques Analog Output y Analog Input

Los parámetros a configurar para el bloque de salida analógica (**Analog Output**) que se aprecia en la Figura 15, encargado de enviar señales a la válvula proporcional, son los siguientes.

Data acquisition board, donde se selecciona la tarjeta de adquisición que se utiliza para enviar las señales al sistema, en este caso es la PCI-1711, el siguiente parámetro es el tiempo de muestreo (Sample Time) que se lo puede configurar según el tiempo de muestreo al cual trabajará el sistema es de 0.001 segundos , pero al poner -1 el programa tomará automáticamente el tiempo de muestreo de ejecución, el canal de salida (**Output channel**) es el canal de salida y será el canal 1 que en la tarjeta son los pines 57 y 58, el rango de salida (**Output range**) es de 0 v a 10 v ya que ese es el rango al que trabaja la válvula proporcional, el valor inicial (**Initial value**) y valor final (**Final value**) serán de 5 v ya que a la mitad de la tensión nominal la válvula asume su posición media impidiendo el pase de aire.

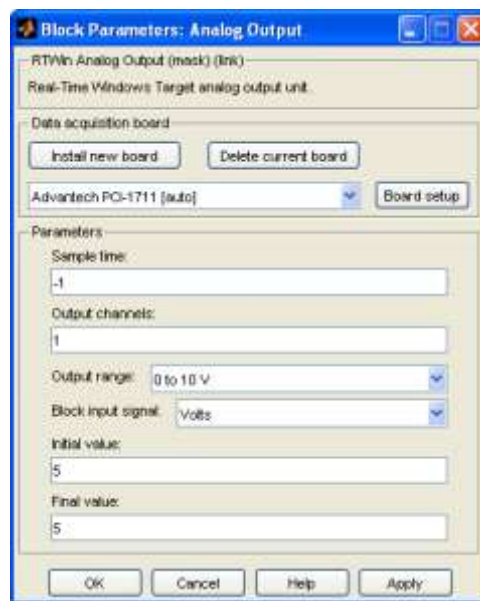


Figura 15. Parámetros del bloque “Analog Output”

La señal de control (**Control Signal 1**) que se muestra en la Figura 16 será una señal que está entre -5 a 5 lo que quiere decir q su punto medio es 0, considerando que el rango de la válvula proporcional es de 0 v a 10 v y que la tensión donde la válvula toma su valor medio (no permite el paso de aire) es en 5 v tendremos que sumar el valor de 5 a la señal que se envía a la tarjeta para que esté en el rango de 0 v a 10 v (ver figura 16 “Control signal analog output”). La configuración de la salida analógica queda como se muestra en la Figura17.

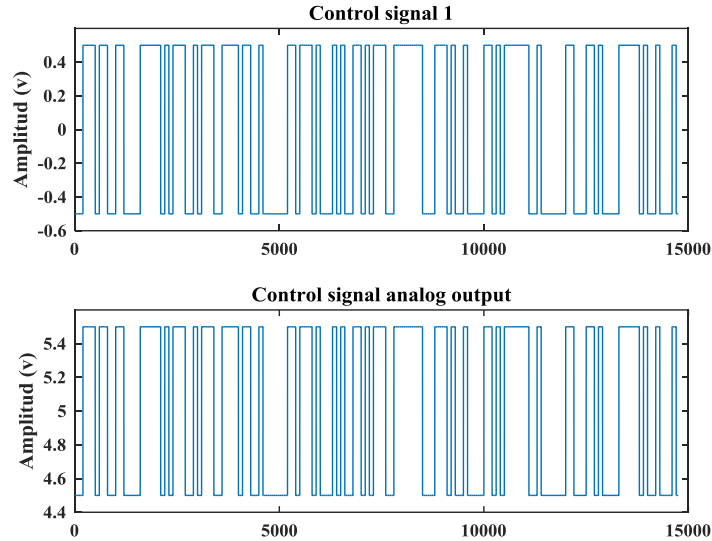


Figura 16. Señal de entrada control signal 1 y la señal que se envía a analog output

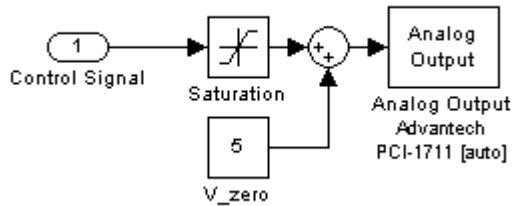


Figura 17. Subsistema para el envío de señales a la válvula proporcional.

Al igual que la configuración de los parámetros del bloque “Analog output” se procede a configurar el bloque “Analog input” que es el bloque encargado de leer la señal de voltaje entregada por el potenciómetro lineal a través de los pines 60 y 68 de la tarjeta PCI-1711, quedando la configuración como se muestra en la Figura 18.

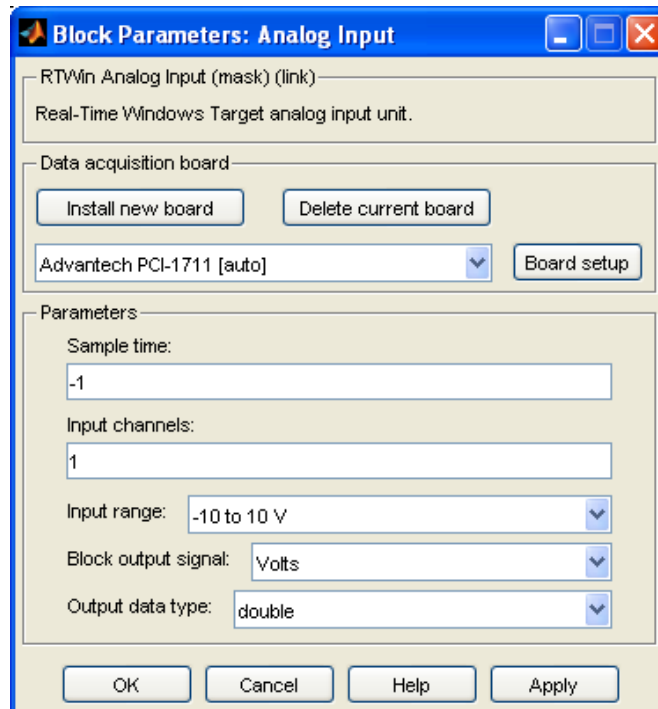


Figura 18. Parámetros del bloque “Analog Input”

Como la señal que entrega el potenciómetro lineal es de 0 v a 10 v en sus posiciones finales y teniendo en cuenta que el actuador no llega a estas posiciones máxima y mínima ya que los amortiguadores que se encuentran en los extremos no lo permiten, y para facilitar el trabajo este rango lo llevaremos a un rango de -5 a 5 para lo cual se resta un valor de 5 a la señal entregada por el bloque de entrada analógica “Analog Input” (ver Figura 19) quedando, el subsistema de lectura de datos, del potenciómetro lineal como se muestra en la Figura 20.

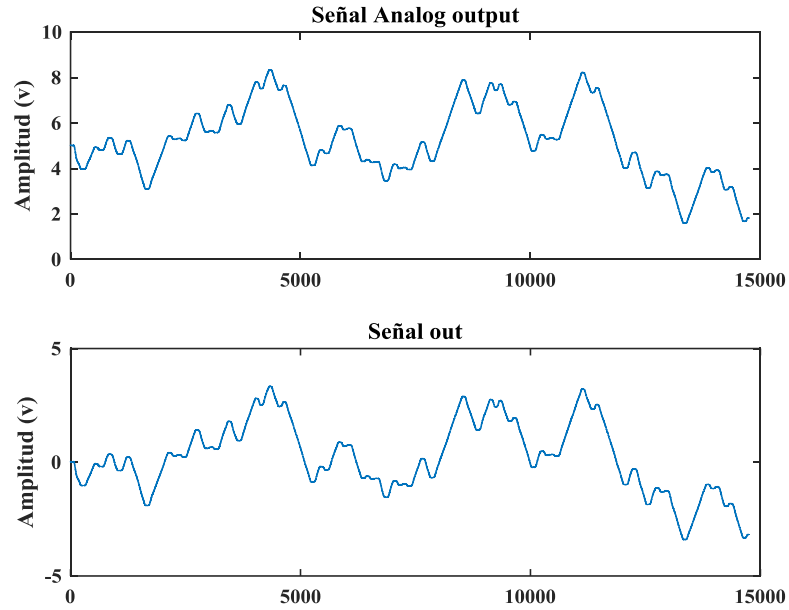


Figura 19. Señal que se recibe de Analog input y señal out1

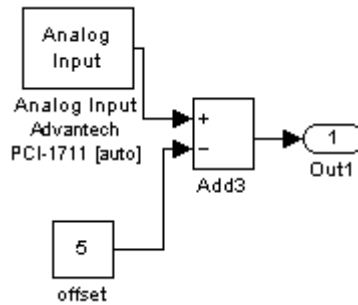


Figura 20. Subsistema para la lectura de datos del potenciómetro lineal

Para mantener el orden, los bloques “Analog Output” y “Analog Input” se reunirán en un subsistema de Simulink quedando en un solo bloque con el nombre de “Planta”. (Ver Figura 21)

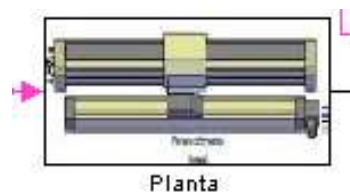


Figura 21. Subsistema “Planta”.

3.1.1.2. DISEÑO DE LA ENTRADA

Dado el funcionamiento de la planta se descartan las señales impulso, paso y pulso porque llevan a la planta a estados no deseados, por lo tanto la identificación de esta planta tendrá como señal de entrada una señal tipo Pseudo-Random Binary Signal (**PRBS**) por ser una señal buena, parecida a un ruido blanco, porque no se correlaciona con las perturbaciones y reduce su efecto sobre el modelo estimado.

La dinámica de la planta hace un poco complicada la construcción de la señal PRBS ya que se debe tener en cuenta que el actuador no debe llegar a zona de saturación (tocar o golpear los extremos) lo que se traduce en que se debe escoger muy bien el periodo de switcheo de la señal es decir que este tiempo no sea muy prolongado para que el actuador no llegue a sus extremos ni muy corto considerando que el tiempo de respuesta de la válvula proporcional es de 5 ms. La señal PRBS se la construye con una amplitud de ± 0.5 v para que el actuador no llegue fácilmente a los extremos y considerando que la presión del sistema es aproximadamente de 90 psi y un tiempo de muestreo de 50 ms.

Para generar la señal se utiliza el bloque de número aleatorio “**Uniform Random Number**” que indica el tiempo en que la señal está en alto o en bajo por medio de otro bloque comparador “**Compare to Zero**”. Lo que harán esto dos bloques es que mientras el número aleatorio sea mayor o igual que cero obtendremos un valor de uno, caso contrario enviará un valor de cero pero, lo que se requiere es una salida de ± 0.5 v por lo que se resta 0.5 a el valor de 1 o 0 que se obtiene en la salida del comparador. Como se observa en la Figura 22.

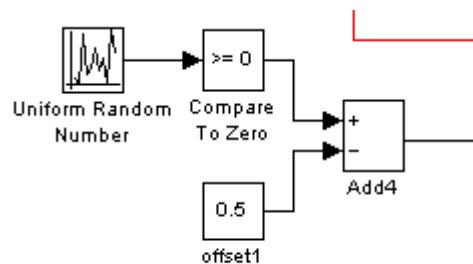


Figura 22. Generador de PRBS

Los parámetros del bloque de número aleatorio quedarán como se muestra en la Figura 23. Siendo:

Mínimum: el valor mínimo del intervalo de los números aleatorios

Maximum: el valor máximo del intervalo de los números aleatorios

Seed: por defecto el valor de seed es 0, al ser 0 la salida no es repetible

Sample time: es el tiempo de intervalo entre muestras, en este caso es 0.05 considerando tiempo de respuesta de la válvula proporcional.

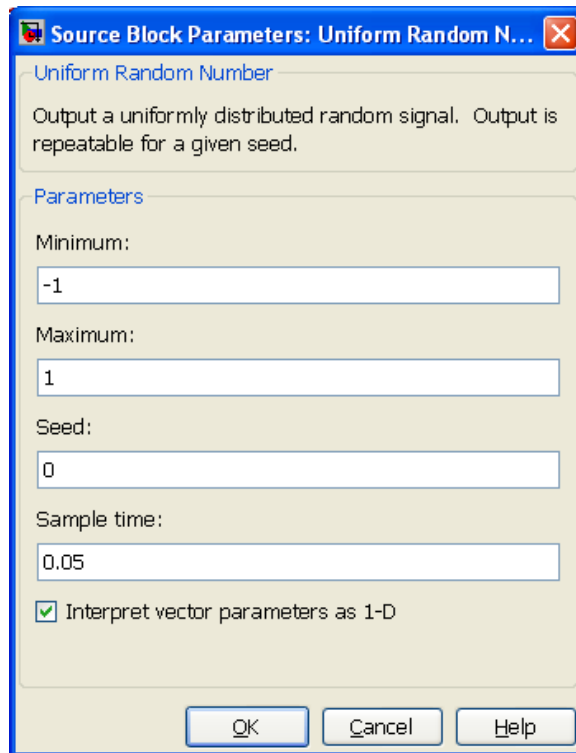


Figura 23. Parámetros de bloque Uniform Random Number

La señal obtenida por el generador PRBS es la que se muestra en la Figura 24.

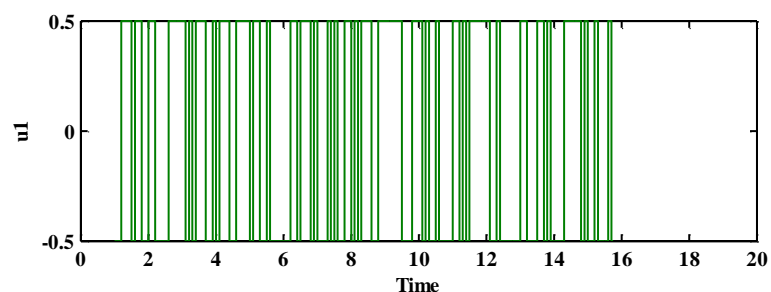


Figura 24. Señal PRBS

3.1.1.3. ALMACENAMIENTO DE DATOS

Para poder realizar el análisis y la identificación del sistema a lazo abierto se debe almacenar los datos obtenidos tanto en la entrada como en la salida del sistema y el tiempo del mismo. Para realizar el almacenamiento se utiliza el bloque “**To Workspace**” que se muestra en la Figura 25 que introduce una señal y escribe los datos de las señales en el Workspace. Durante la simulación, el bloque escribe datos en un buffer interno. Cuando la simulación se completa o pausa, los datos se escriben en el Workspace. Los datos no están disponibles hasta que la simulación se detiene o pausa. [12]

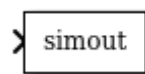


Figura 25. Bloque To workspace

El programa implementado en Simulink con la ayuda de los bloques vistos para realizar la prueba de lazo abierto sobre el sistema queda como se muestra en la Figura 26.

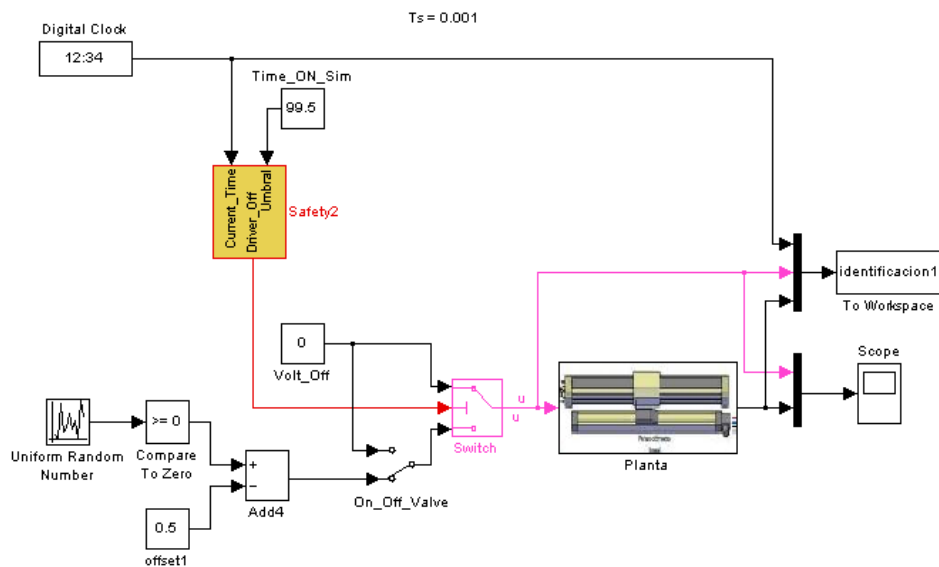


Figura 26. Diagrama de lazo abierto con señal de entrada PRBS en Simulink

3.1.2. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA CON LA HERRAMIENTA IDENT DE MATLAB

En esta sección se realiza la identificación del sistema utilizando la herramienta Ident de Matlab considerando que el tiempo de muestreo es de 1 ms, y que la señal de entrada que excita el sistema es la señal PRBS y la señal de salida será la respuesta del sistema. La Figura 27 muestra la ventana de la herramienta Ident de Matlab

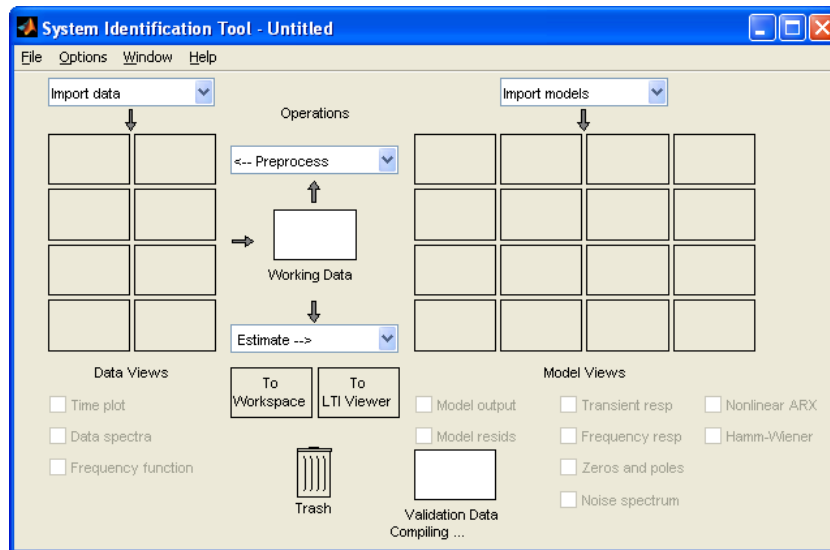


Figura 27. Ventana principal de Ident de Matlab

El primer paso, una vez abierta la aplicación, es importar los datos que se encuentran en el Workspace, se selecciona dominio del tiempo en la opción “Import data” lo que abre la ventana que se muestra en la Figura 28, en donde la sección **Workspace Variable** pide ingresar la señal de entrada (input) y la salida (output), que en este caso se encuentran dentro de la variable **identificacion1** donde la columna 2 es la señal de entrada ($\text{identificacion1}(:,2)$) y la columna 3 es la salida ($\text{identificacion1}(:,3)$). Por último en la sección **Data Information** pide el nombre de datos que lo dejaremos por defecto como **mydata**, el tiempo de inicio “Starting time” queda en 1, y el intervalo de muestreo “Sampling interval” que corresponde al tiempo de muestreo al que se capturaron los datos que en este caso es de 0.001 s.

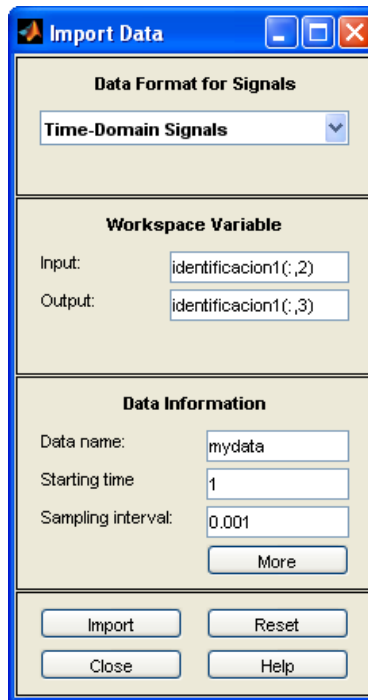


Figura 28. Importación de datos del sistema con Ident de Matlab

Una vez importados los datos del sistema podemos abrir un gráfico dando un clic en el check box “time plot” donde se puede ver la salida “y1” y la entrada “u1” del sistema, estas señales pueden ser pre-procesadas con la opción “Preprocess” (ver figura 29.) que ofrece una serie de opciones para el pre procesamiento de la señal donde se destaca la selección de rango que permite escoger solo una porción de toda la señal que fue importada, también se puede remover tendencia y medias, entre otras opciones.

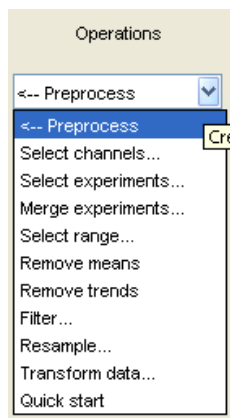


Figura 29. Opciones de pre-procesamiento de señal

Después de los 15 segundos, la señal llega a zona de saturación (ver Figura 30), lo que no permitiría realizar una buena estimación por lo que haciendo uso de la opción de selección de rango escogemos la porción en donde el sistema no llega a la zona de saturación.

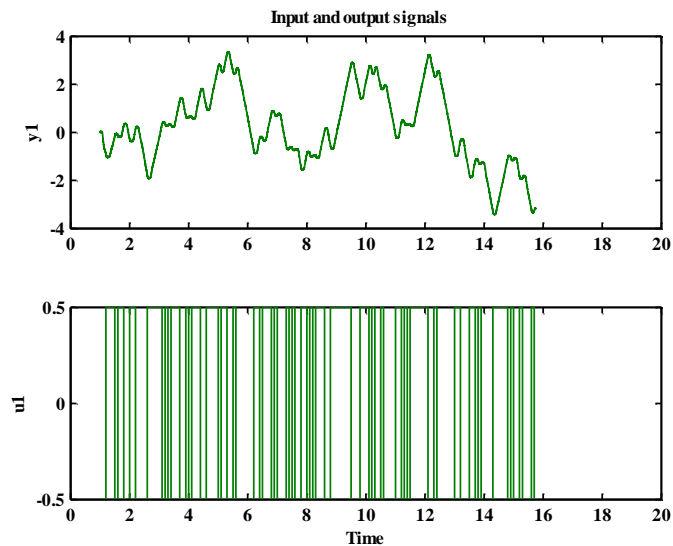


Figura 30. Gráfico señal de entrada PRBS ($u1$) y respuesta del sistema a lazo abierto ($y1$)

El siguiente paso es la estimación del modelo; la herramienta Ident ofrece la opción "Estimate" (ver Figura 31) donde se puede seleccionar diferentes tipos de modelos paramétricos, de los que se destacan cuatro: ARX, ARMAX, OE y BJ, permitiendo variar la cantidad de polos y ceros hasta conseguir un modelo estimado con una buena aproximación (es recomendable que la aproximación sea mayor al 80 %).

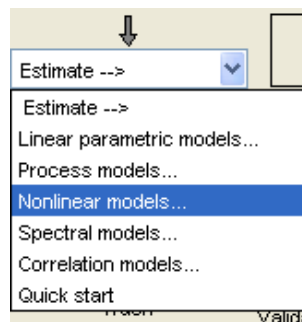


Figura 31. Opciones de estimación de modelos

Para realizar la estimación se escoge la opción “linear parametric models” y se abre la ventana que se observa en la Figura 32 en la cual se puede escoger el tipo de modelo y editar el orden de la función de transferencia cambiando la cantidad de polos y ceros además de agregar un retardo (delay).

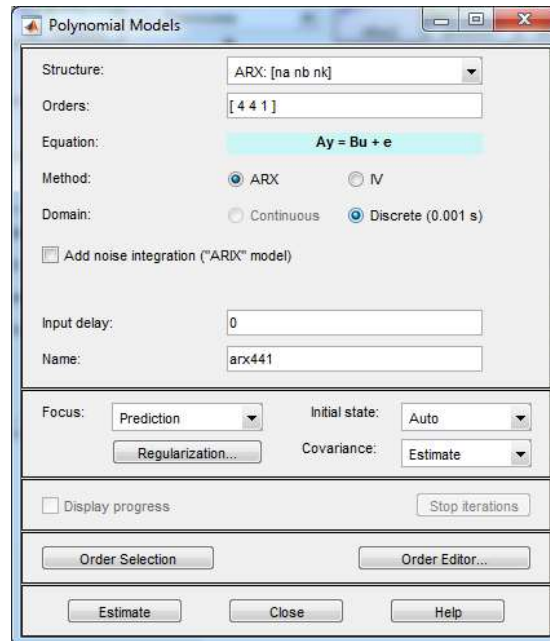


Figura 32. Ventana polynomial models (Matlab)

Luego de realizar la estimación de los modelos se puede ver las aproximaciones obtenidas como se observa en la Figura 33 y que se detallan en la Tabla 1, donde se variaron los polos y los ceros de cada modelo hasta ver de cuales se obtiene mejores aproximaciones, sin olvidar que al ser una función de menor grado posteriormente se facilitara el diseño del controlador.

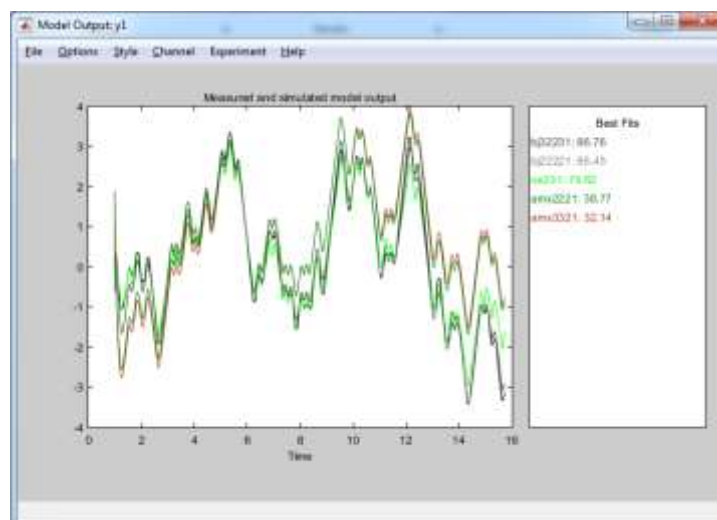


Figura 33. Gráfica y porcentaje de estimación de los modelos lineales obtenidos mediante Ident.

| Modelo | Número de polos | Número de ceros | Aproximación |
|---------|-----------------|-----------------|--------------|
| amx2221 | 2 | 1 | 38.77 % |
| amx3321 | 3 | 2 | 32.14 % |
| oe331 | 3 | 2 | 79.62 % |
| bj22221 | 2 | 1 | 86.45 % |
| bj32231 | 3 | 2 | 86.76 % |

Tabla 1. Resultados de la estimación de modelos paramétricos

Revisando los resultados de la Tabla1 Se puede concluir que los mejores modelos para este sistema son los de tipo BJ pero, a pesar de tener una muy buena aproximación, al realizar una validación simple con una señal sinusoidal se puede observar que la planta presenta no linealidades evidentes como se evidencia en las Figuras 34 y 35 (las cuales fueron mencionadas anteriormente en este documento) donde se observan las zonas muertas y que los modelos lineales no toman en cuenta, por lo que al realizar el diseño de los controladores no nos darán la precisión requerida.

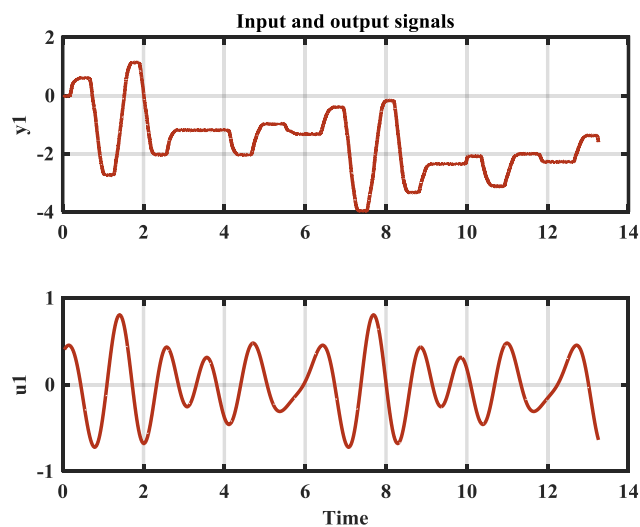


Figura 34. Respuesta del sistema a una señal sinusoidal

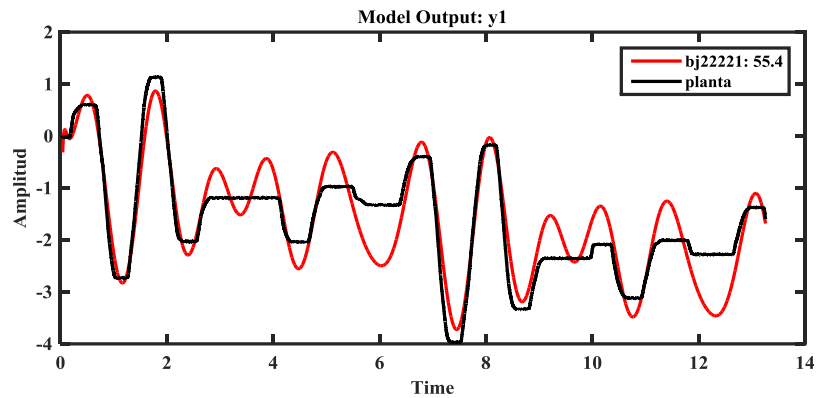


Figura 35. Validación de modelo bj 22221: 55.4%

3.1.3. IDENTIFICACIÓN NO LINEAL CON LA HERRAMIENTA IDENT DE MATLAB

Teniendo en cuenta que el sistema presenta estas no linealidades se procede a realizar una identificación no lineal tomando en cuenta como principal fuente de no linealidad la zona muerta la cual la se determina realizando pruebas en el sistema usando como entrada una señal de tipo rampa y determinando a que nivel de voltaje la planta responde.

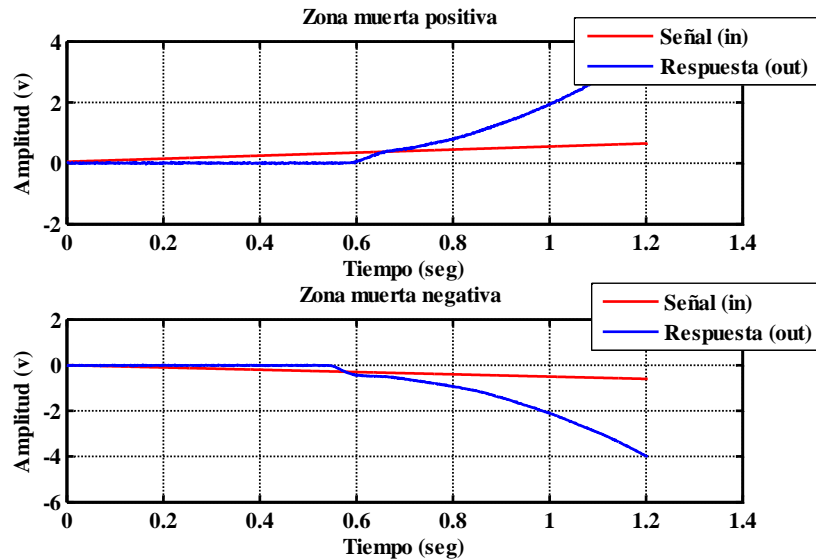


Figura 36. Respuesta de la planta a entrada tipo rampa.

Como se aprecia en la Figura 36 la planta responde a un nivel de voltaje de ± 0.3 v y aunque se sabe que la zona muerta no es la única fuente de no linealidad, en este

proyecto se la considera como la de mayor influencia por lo que se toma ± 0.2 v como valor de zona muerta dejando un campo abierto para futuras investigaciones donde se trate de determinar un modelo considerando todas las no linealidades del sistema.

La herramienta Ident de Matlab permite hacer identificación no lineal con la opción “**Nonlinear models**” que se observa en la Figura 37.

La identificación de este sistema está basado en un modelo no lineal de tipo Hammerstein-Wiener que se compone de tres bloques en los que encuentran la entrada no lineal u_1 “**Input Nonlinearity**”, el bloque lineal “**Linear Block**” y la salida no lineal y_1 “**Output Nonlinearity**”.

La entrada no lineal es donde se encuentra el efecto de zona muerta por lo que se escoge la opción “Dead Zone” y en la ventana emergente se ingresan los límites tanto alto como bajo de la zona Muerta, que en este caso es de ± 0.2 V como se muestra en la Figura 38. La salida no lineal por defecto queda con la opción de trozos lineales “**Piecewise Linear**” en 10 partes, y para el bloque lineal se selecciona la pestaña linear Block, sabiendo que el tipo de modelo Hammerstein-Wiener es basado en modelos OE y teniendo la experiencia de los modelos lineales realizados anteriormente se utilizan 2 ceros y 3 polos como se observa en la Figura 39 con todos los parámetros ingresados se procede a realizar la estimación haciendo click en el botón Estimate.

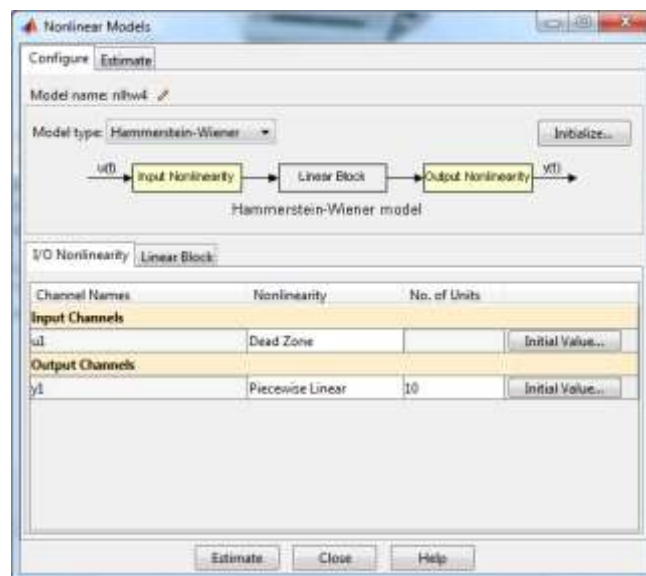


Figura 37. Ventana de estimacion de modelo no lineal (Nonlinear Models)

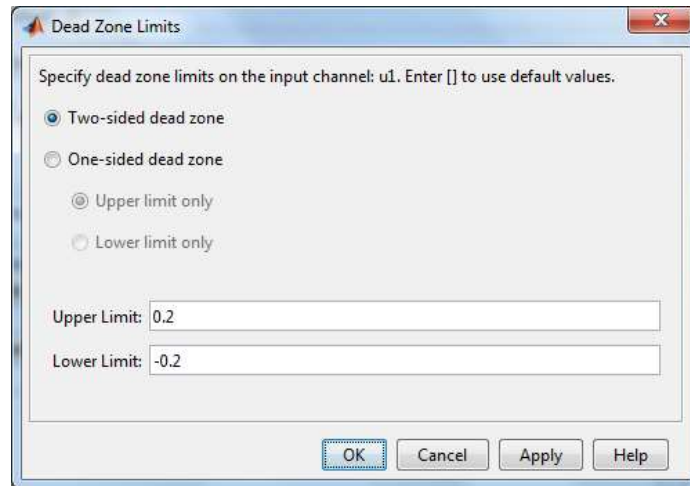


Figura 38. Ventana de configuración de los límites de Zona muerta del estimador no lineal.

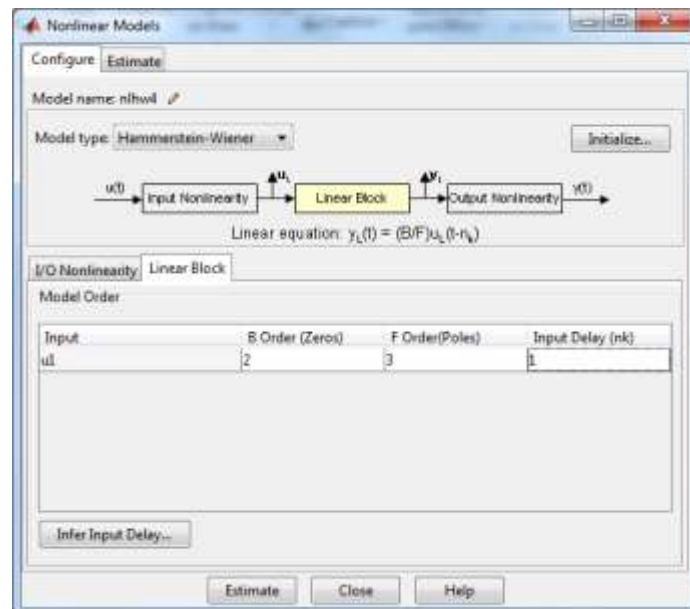


Figura 39. Parametros de bloque lineal (Linear Block) de la ventana de estimacion de modelos no lineales (Nonlinear Models)

La estimacion arrojada por Ident tiene el nombre de **n1hw2** y da una estimacion del 93.02 % a la entrada PRBS como se muestra en la Figura 40.

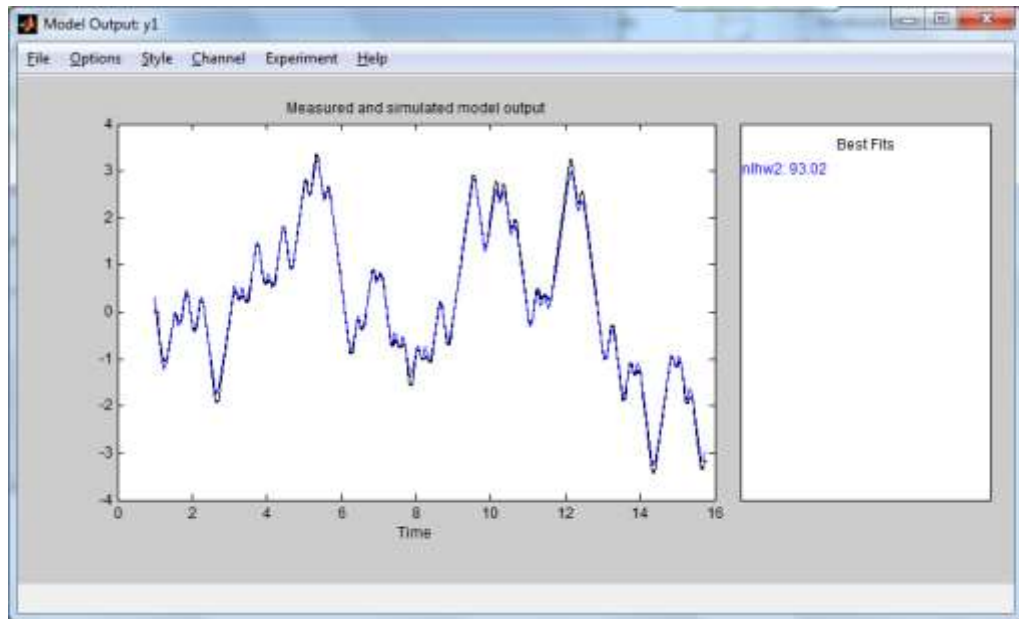


Figura 40. Gráfica y porcentaje de estimación del modelo no lineal obtenido mediante Ident.

3.1.4. VALIDACIÓN DEL MODELO NO LINEAL

La señal PRBS es una señal que no pasa por la zona muerta por lo que es necesario hacer validaciones en el sistema a lazo abierto con otras señales de entrada como muestra en las Figura 42, 43, 44, 45 y 46.

Tomando en cuenta que el controlador PID clásico es un controlador de tipo lineal se tendrá que realizar una aproximación lineal del modelo no lineal **nlhw2**, esto es para poder diseñar los controladores más adelante. Para realizar la aproximación lineal del modelo **nlhw2** se utiliza el comando `linapp` en Matlab como se muestra en el código que se muestra en la Figura 41.

```

lm=linapp(nlhw2,mydatae)
tf(d2c(lm))
G=tf([0.02292 112.2 -0.001673],[1 9.822 4.132 0])

```

Figura 41. Código de Matlab para linealizar modelo no lineal

En la primera línea de código se observa **lm** que es el nombre de variable donde se guarda la aproximación lineal, donde **nlhw2** es el nombre del objeto a linealizar, y **mydatae** es la señal de entrada como un objeto `iddata` o arreglo de matriz y donde las dimensiones deben coincidir con el número de entradas de **nlhw2**.

En la segunda línea se observa la función de transferencia continua del modelo linealizado, y por último la función de transferencia obtenida se guarda en la variable **G**, la cual se muestra en la ecuación (3.1).

$$G = \frac{0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673}{s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s} \quad (3.1)$$

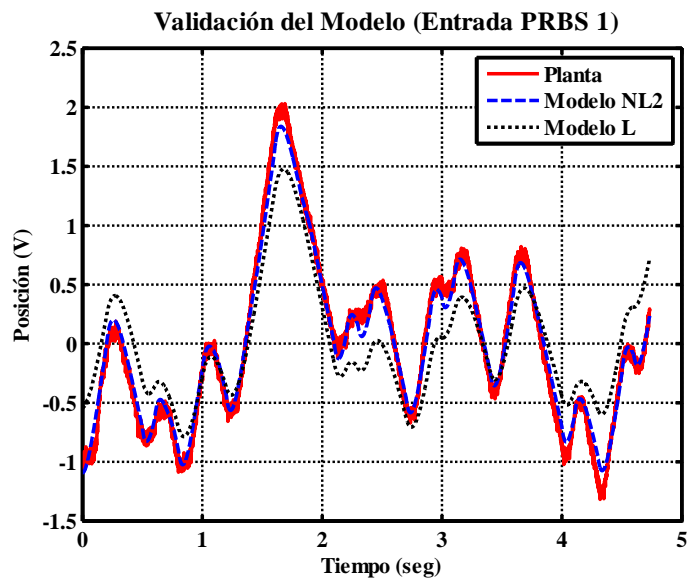


Figura 42. Validación del modelo no lineal nlhw2 y de la aproximación lineal de nlhw2 con una señal de entrada PRBS 1

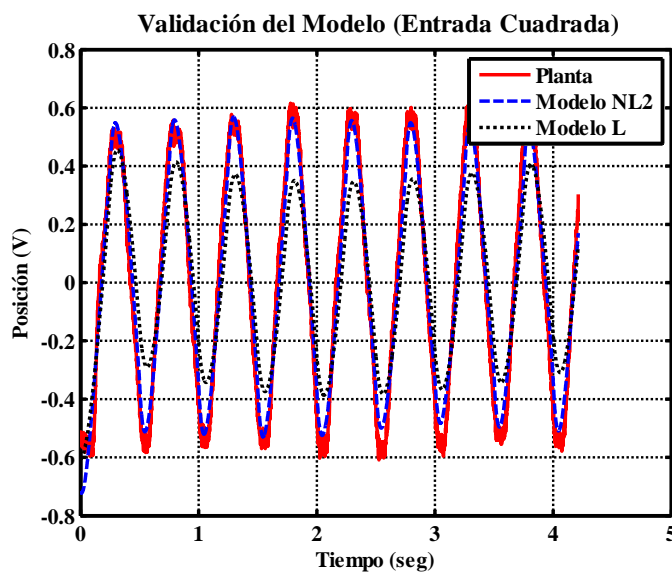


Figura 43. Validación del modelo no lineal nlhw2 y de la aproximación lineal de nlhw2 con una señal de entrada Cuadrada

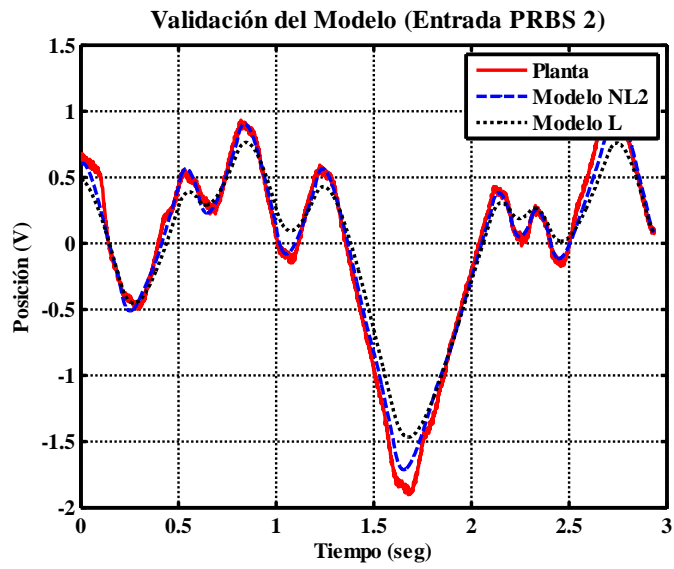


Figura 44. Validación del modelo no lineal nlhw2 y de la aproximación lineal de nlhw2 con una señal de entrada PRBS 2

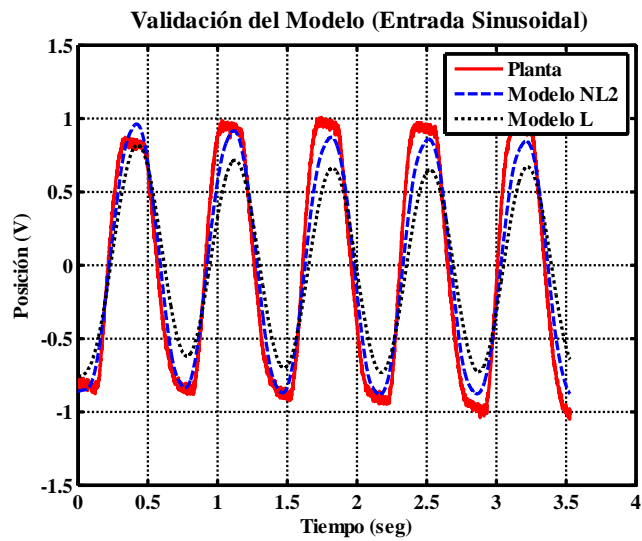


Figura 45. Validación del modelo no lineal nlhw2 y de la aproximación lineal de nlhw2 con una señal de entrada sinusoidal

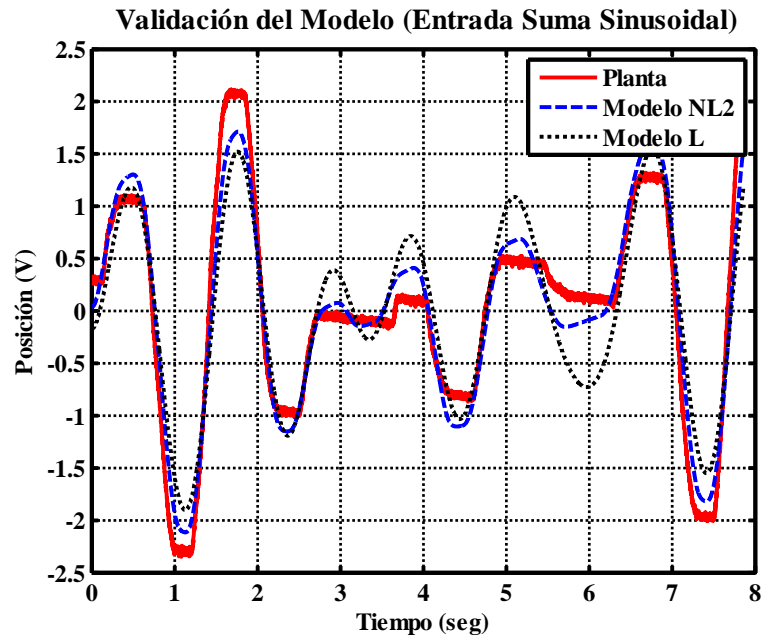


Figura 46. Validación del modelo no lineal nlhw2 y de la aproximación lineal de nlhw2 con una señal de entrada suma de sinusoides

Para poder realizar un criterio de aceptación del modelo no lineal se procede a determinar el error cuadrático medio (RMSE) mediante el código que se observa en la Figura 47.

```

VAL=validacionprbs; %en "validacionprbs" poner el
nombre de la variable que contiene los datos de la
validación ej.: validacionprbs1 y validacionseno
%RMSE Root-Mean-Square-error
%Planta sin tendencia
Planta = detrend(VAL(:,3));
%modelo No Lineal
ModeloNL2 = detrend(VAL(:,4));
%modelo Lineal
ModeloL = detrend(VAL(:,5));
%Calcula el error modelo NL2
ErrorNL2 = Planta - ModeloNL2;
%Ahora el cuadrado del error
SquareErrorNL2 = ErrorNL2.^2;
%Luego calcula la media de "SquareError"
MeanSquareErrorNL2 = mean(SquareErrorNL2);
%Luego calcula la raíz al "MeanSquareError"
RootMeanSquareErrorNL2 =
sqrt(MeanSquareErrorNL2)*100
%Calcula el error modelo lineal
ErrorL = Planta - ModeloL;
%Ahora el cuadrado del error
SquareErrorL = ErrorL.^2;
%Luego toma la media de "SquareError"
MeanSquareErrorL = mean(SquareErrorL);
%Luego saca la raíz al "MeanSquareError"
RootMeanSquareErrorL = sqrt(MeanSquareErrorL)*100

```

Fig 47. Código de Matlab para calcular el RMSE

Luego de realizar las pruebas de validación del modelo se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 2 donde se puede observar que se obtiene buenas aproximaciones, sin embargo mientras la señal de entrada pasa más por las zonas no lineales la aproximación se va alejando, pero sigue siendo una mejor aproximación que las obtenidas por modelos lineales los cuales se alejaban demasiado y no seguían la dinámica del sistema en dichas zonas, por lo que se elige el modelo no lineal nlhw2 como el modelo estimado de la planta.

| Señal de entrada | Error aproximación modelo no lineal (nlhw2) (%) | Error de aproximación modelo lineal (%) |
|---------------------------|---|--|
| PRBS 1 | 9.20 | 33.77 |
| CUADRADA | 6.97 | 16.69 |
| PRBS 2 | 8.84 | 18.34 |
| SINUSOIDAL | 17.71 | 33.92 |
| SUMA DE SINUSOIDES | 25.37 | 44.11 |

Tabla 2. Resultado de validación de los modelos estimados.

3.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID-CLÁSICOS

En esta sección se realizan los controladores P, PI, PD y PID clásicos con la herramienta Sisotool de Matlab, una vez diseñados los controladores serán implementados en el software Labview por ser un software que se utiliza en la industria para procesos reales en donde se puede ejecutar el programa para controlar y monitorear el sistema en tiempo real.

3.2.1. SINTONIZACIÓN DE LOS CONTROLADORES P, PI, PD Y PID EN SISOTOOL DE MATLAB

El diseño de los controladores PID se realiza sobre la función de transferencia lineal del sistema (G) con la herramienta Sisotool de Matlab mediante el comando **Sisotool (G)**.

```
Command Window
>> G=tf([0.02292 112.2 -0.001673],[1 9.822 4.132 0])

Transfer function:
0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673
-----
s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s

>> sisotool(G)
```

Figura 48. Comando de ingreso a la herramienta Sisotool de Matlab

En la primera línea de código de la Figura 48 se crea la función de transferencia del sistema en la variable G, y en la segunda línea se abre la ventana de Sisotool “Control and Estimation Tools Manager” que se muestra en la Figura 49 donde se encuentran varias opciones como seleccionar la arquitectura del compensador.

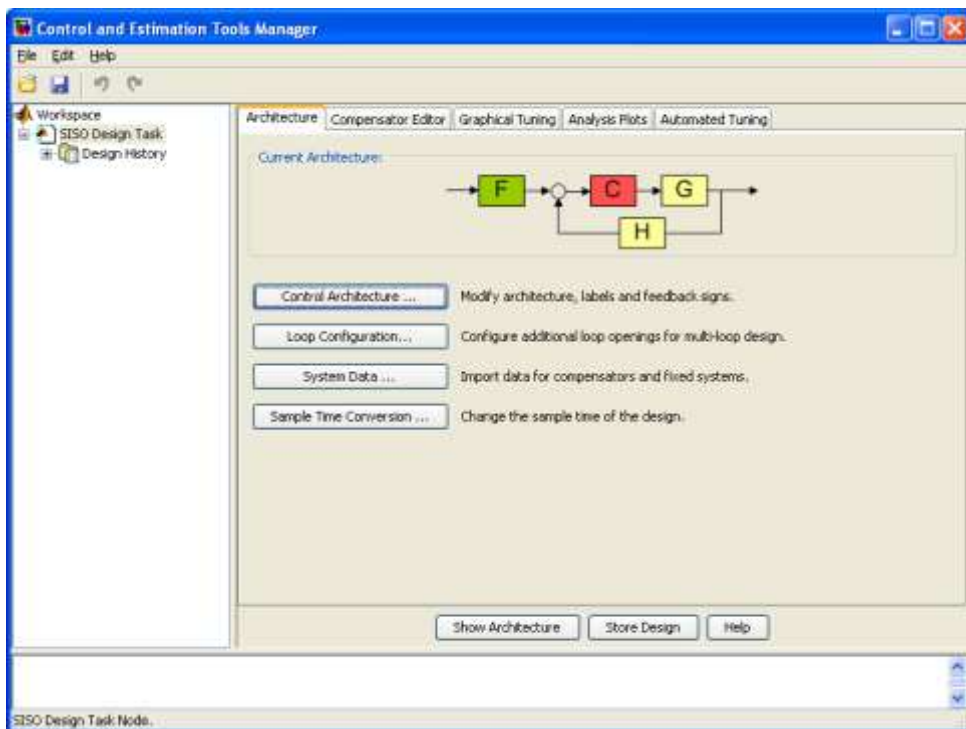


Figura 49. Control and Estimation tools manager (Arquitectura)

Otra opción es la edición del compensador donde se encuentra la ecuación del compensador que se está diseñando, en la cual se puede agregar y quitar ceros del compensador (ver Figura 50).

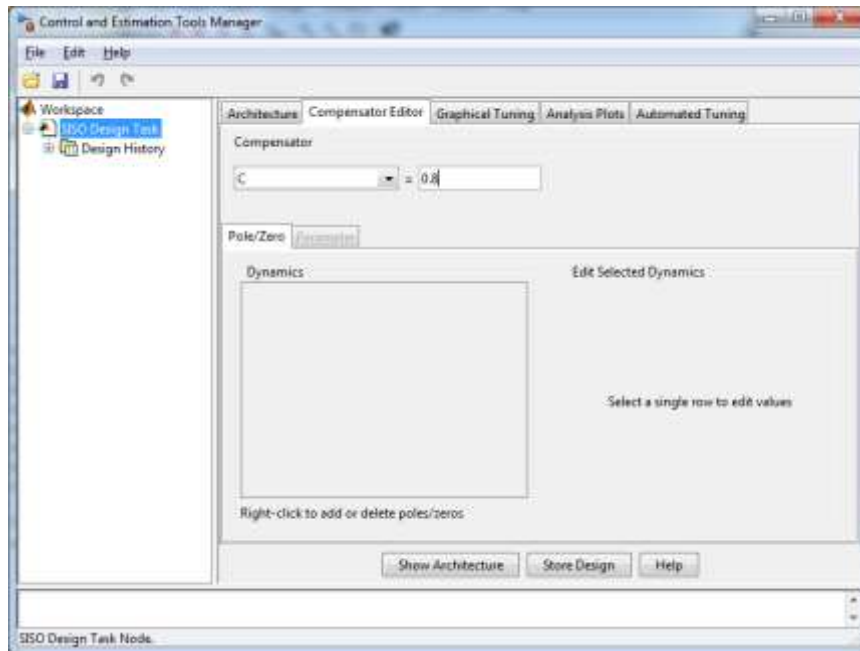


Figura 50. Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

Sisotool ofrece tres opciones para la sintonización del compensador uno de ellos es el Lugar geométrico de las raíces (LGR), otro es por diagrama de Bode y por ultimo mediante Nichols. En este proyecto el diseño se realiza con el método LGR.

Para ver la respuesta al paso del compensador se elige la opción "Response to Step Command" de la ventana "SISO Design for SISO Design Task" donde se abre otra ventana con el nombre "LTI Viewer for SISO Design Task" en donde se observa la repuesta al paso del sistema mientras permite ir moviendo el lugar geométrico de las raíces (ver figura 51).

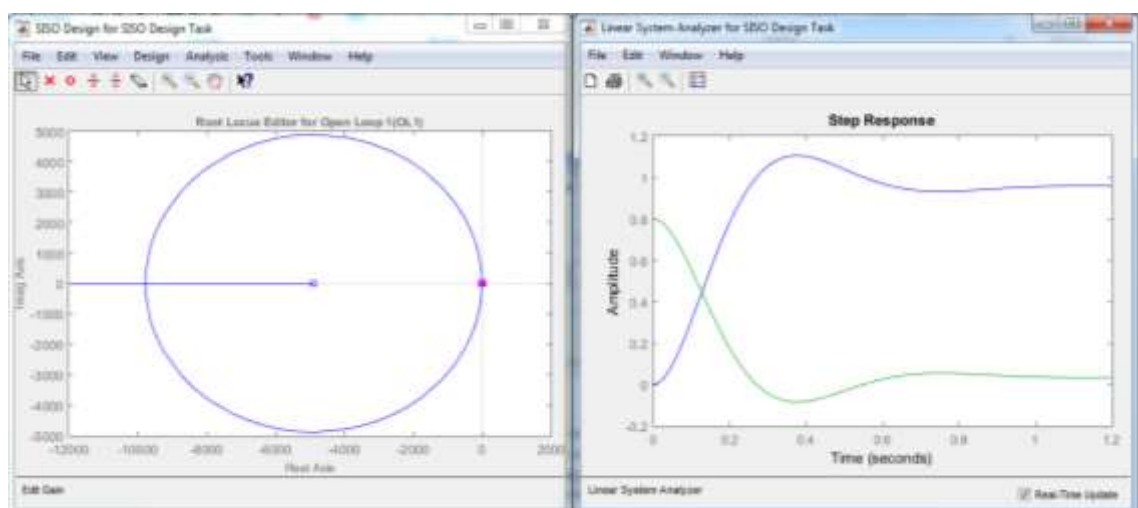


Figura 51. Ventanas para análisis de respuesta al paso

3.2.2. CONTROL PROPORCIONAL (P) EN MATLAB

Para el control proporcional (P) solo se tiene que mover las raíces ya que con esto se consigue variar la ganancia hasta que la respuesta del sistema quede con un error de estado estable de 0, un tiempo de respuesta menor a 0.5 seg y un nivel de overshoot bajo. Con una ganancia del compensador de 0.8 se logra la respuesta esperada, siendo la ganancia del compensador la constante Proporcional.

$$k_p = 0.8$$

En la Figura 52 se observa el LGR y la respuesta del sistema al paso.

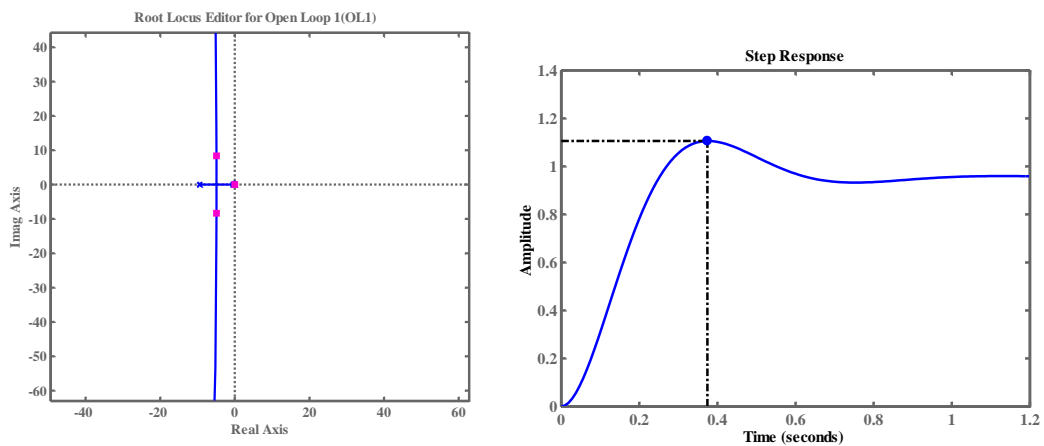


Figura 52. Compensador P LGR – Respuesta al paso

Se debe recordar que la respuesta que se observa en la Figura 52 es la respuesta de la aproximación lineal del sistema por lo que es necesario simular este controlador con el modelo no lineal (nlhw2) por medio de simulink. Para la simulación se implementa el controlador a nuestro sistema como se muestra en la Figura 53 realizando 3 lazos de control en paralelo, el primero es el lazo de control a nuestra planta real, el segundo es el lazo de control al modelo no lineal (nlhw2) y el tercero es el lazo de control a la aproximación lineal del modelo nlhw2, esto es para comparar la respuesta del modelo no lineal con su aproximación lineal con el fin de demostrar que la sintonización del controlador con el modelo es útil para este sistema.

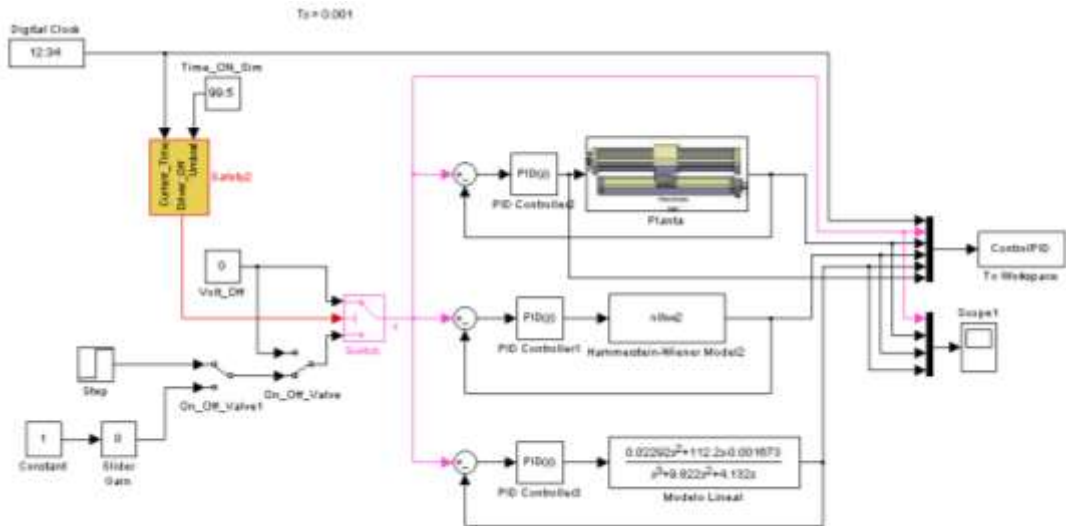


Figura 53. Diagrama de control PID-Clásico del sistema a lazo cerrado – Simulink.

Se ingresan los valores del controlador en el bloque “PID Controller” con las constantes obtenidas por medio de Sisotool, en este caso por ser un controlador proporcional se escoge la opción de controlador P y se ingresa la constante $K_p=0.8$. Al ejecuta el control se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 54.

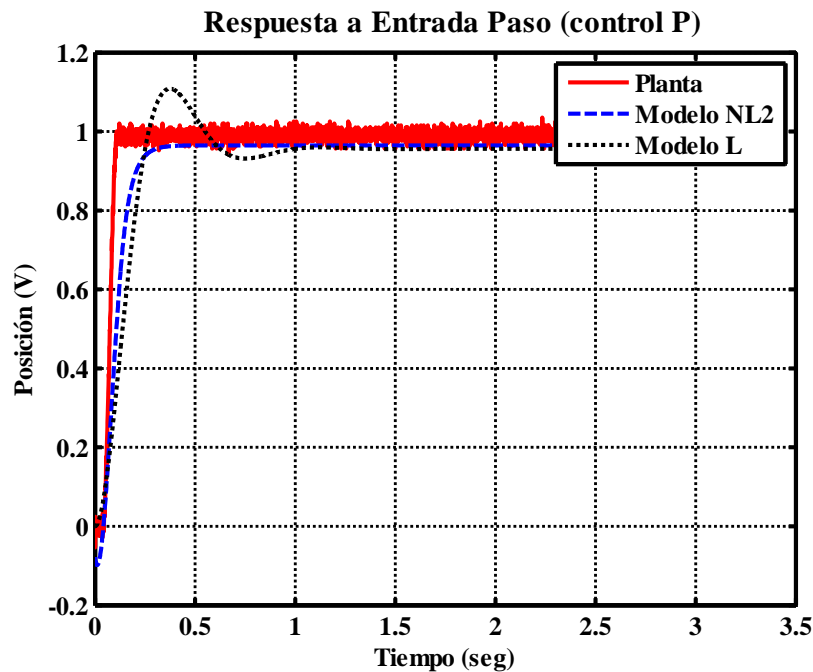


Figura 54. Respuesta del sistema al paso con controlador P en Simulink de Matlab.

3.2.3. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI) EN MATLAB

Al igual que el controlador proporcional se utiliza la herramienta Sisotool para hallar las constante K_p y K_i para el controlador PI. Para esto se agrega un integrador y un cero a nuestro compensador como se observa en la Figura 55 y se mueven las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver figura 56).

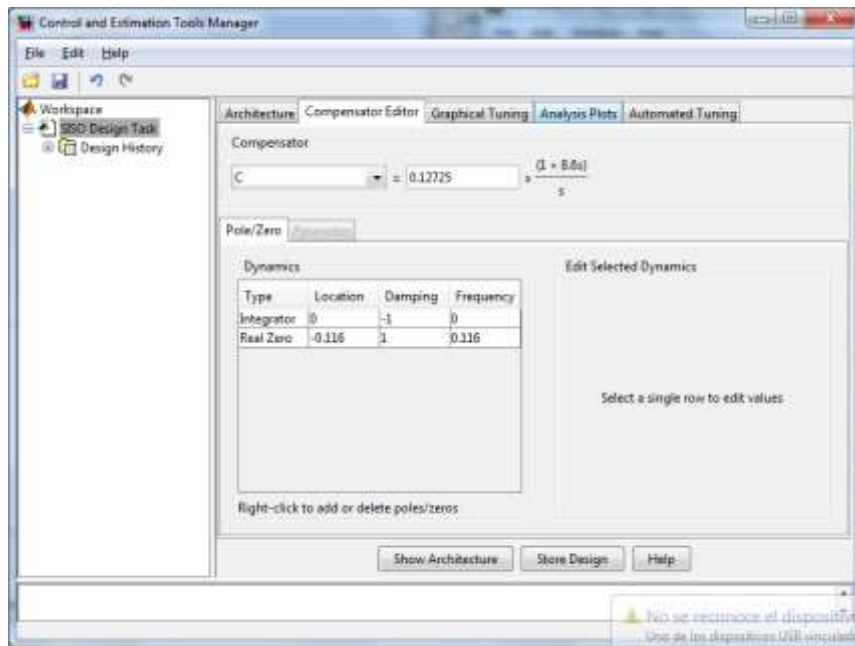


Figura 55. Ventana “Control and estimation Tools manager”, ecuación de compensador PI

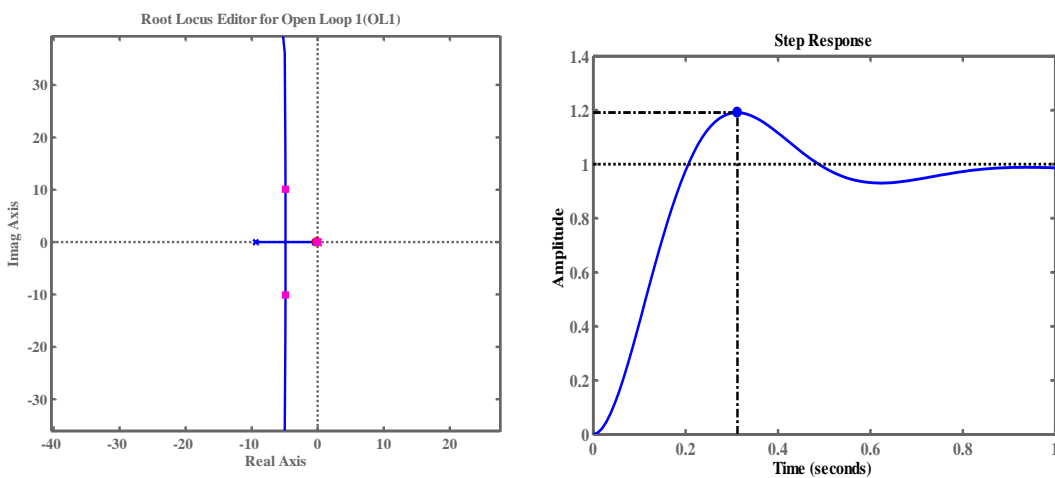


Figura 56. Compensador PI LGR – Respuesta al paso

Recordando que la función de transferencia del control PID es la suma de todas las acciones de control, que es la multiplicación de la constante proporcional K_p por el error, más la constante integral K_i por la integral del error y más la constante derivativa K_d por la tasa de cambio del error como se muestra en la ecuación (3.2). Se puede representar el controlador en el espacio s como se muestra en la ecuación (3.3).

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (3.2)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.3)$$

Conociendo que K_d es igual a 0 nos queda la ecuación (3.4).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (3.4)$$

Tomando en cuenta la ecuación (3.5) del compensador PI se halla fácilmente las constantes K_p y K_i para nuestro controlador.

$$C = 0.12725 * \frac{(1+8.6s)}{s} = \frac{1.09435s+0.12725}{s} = 1.09435 + \frac{0.12725}{s} \quad (3.5)$$

Siendo las constantes:

$$K_p = 1.09435$$

$$K_i = 0.12725$$

Estas constantes se ingresan en el bloque "PID Controller" del diagrama de control de Simulink y al ejecutar se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 52.

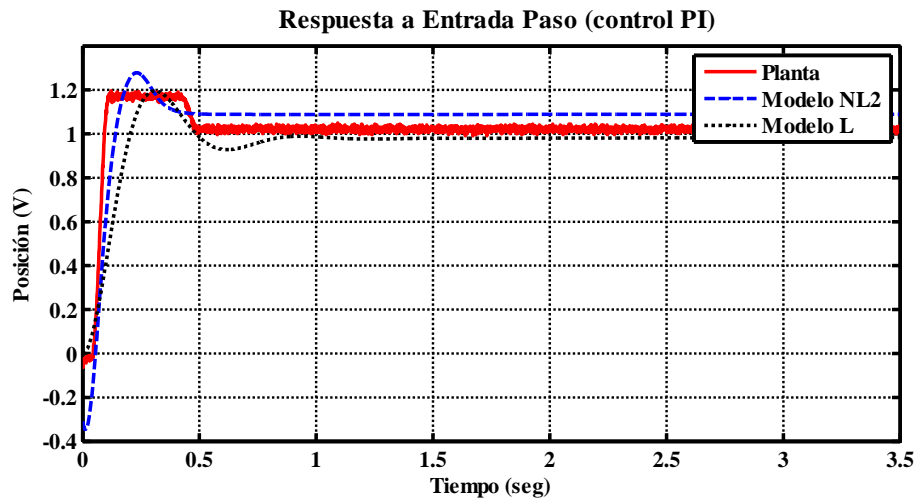


Figura 57. Respuesta del sistema al paso con controlador PI en Simulink de Matlab.

3.2.4. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO (PD) EN MATLAB

Para este controlador se agrega un cero a nuestro compensador como se observa en la Figura 58, luego se mueven las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver figura 59).

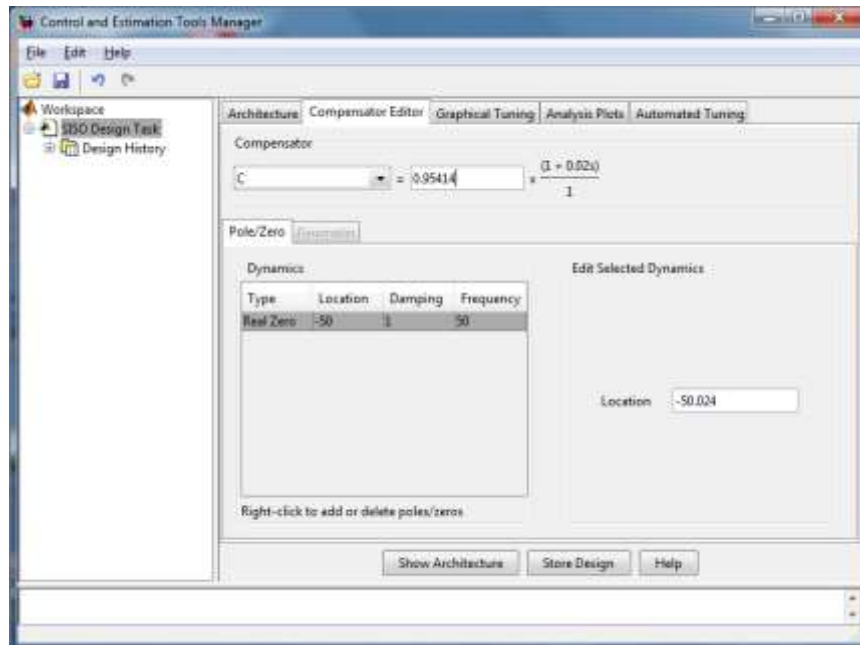


Figura 58. Ventana "Control and estimation Tools manager", ecuación de compensador PD

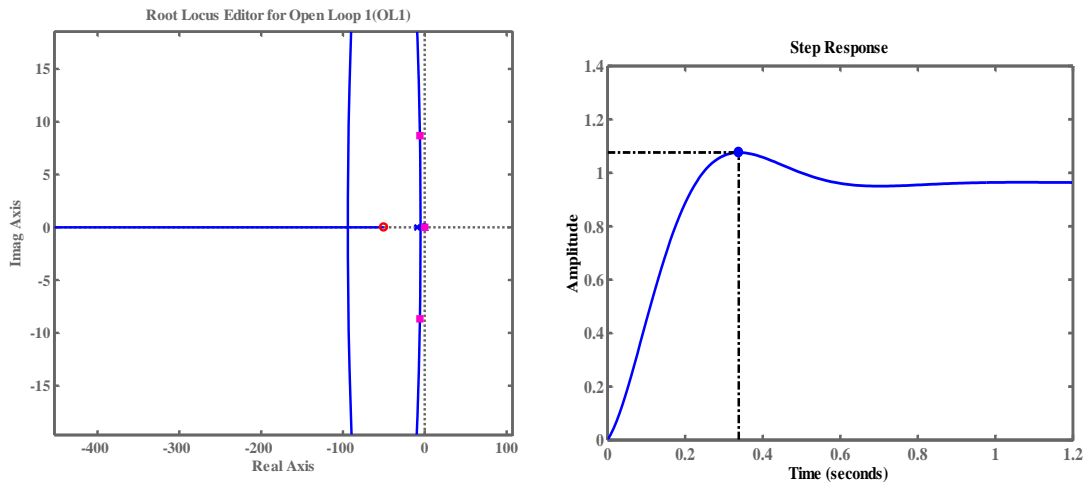


Figura 59. Compensador PD LGR – Respuesta al paso

Conociendo que esta vez K_i es igual a 0 tenemos que el controlador queda como indica la ecuación (3.6).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d s \quad (3.6)$$

Para hallar las constantes K_p y K_d del controlador se toma la ecuación (3.7) del compensador PD

$$C = 0.95414 * \frac{(1+0.02s)}{1} = 0.95414 + 0.0190828s \quad (3.7)$$

Quedando las constantes del controlador

$$K_p = 0.95414$$

$$K_d = 0.0190828$$

Estas constantes se las ingresa en el bloque "PID Controller" del diagrama de control de Simulink y al ejecutar se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 60.

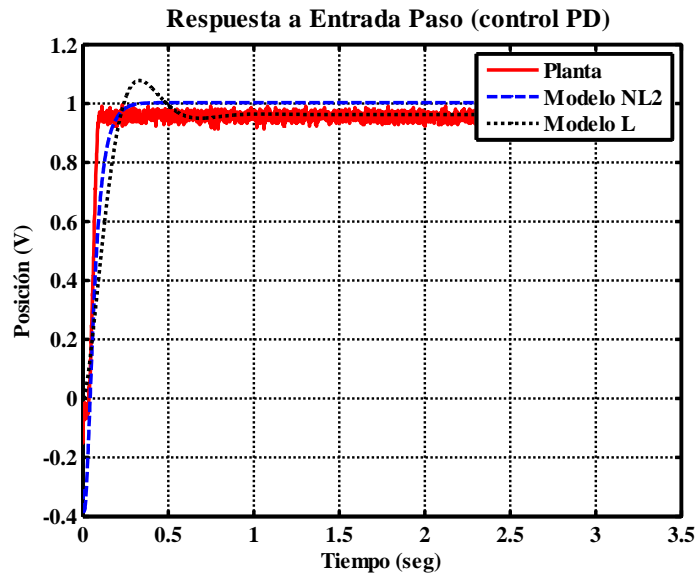


Figura 60. Respuesta del sistema al paso con controlador PD en Simulink de Matlab.

3.2.5. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO (PID) EN MATLAB

Para este controlador se agrega un Integrador y dos ceros al compensador como se observa en la Figura 61 y movemos las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver Figura 62).

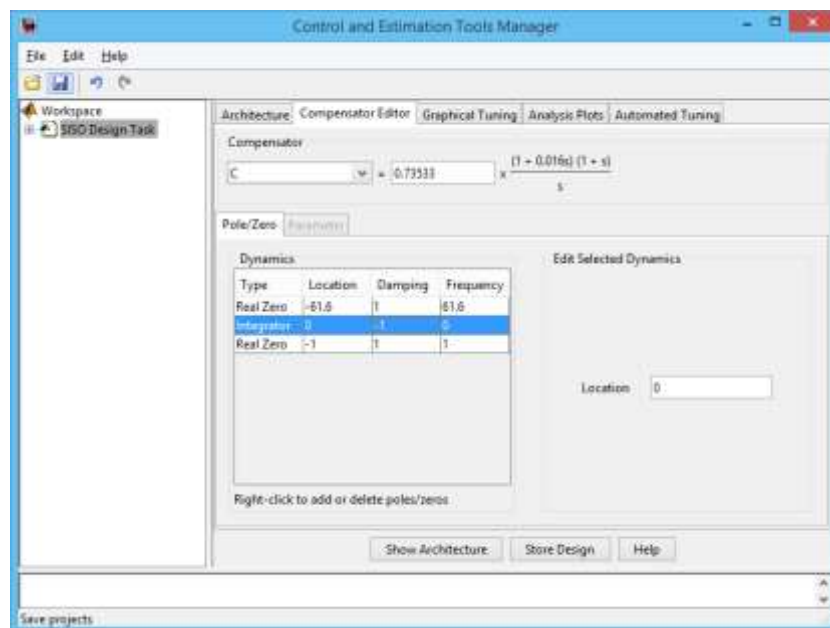


Figura 61. Ventana "Control and estimation Tools manager", ecuación de compensador PID

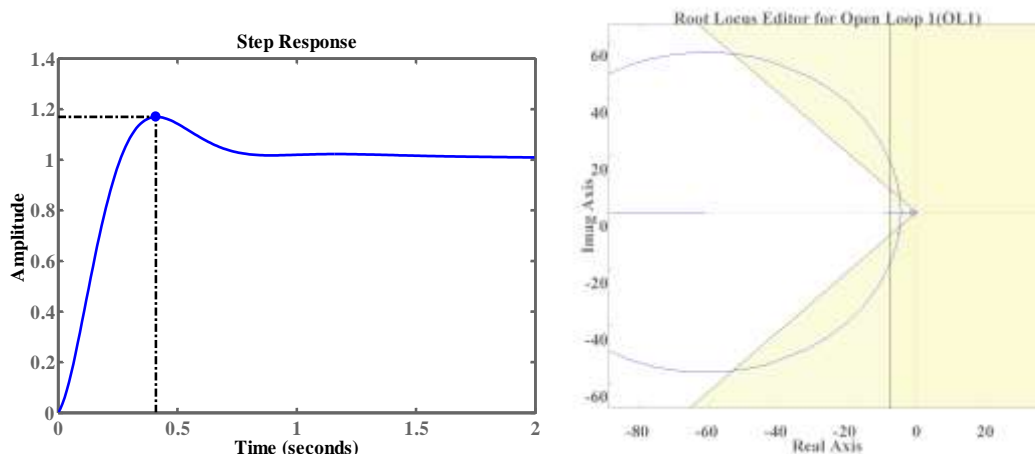


Figura 62. Compensador PID LGR – Respuesta al paso

Para hallar las constantes K_p , K_i y K_d del controlador observamos la ecuación (3.8) del compensador PID

$$C = 0.73533 * \frac{(1+0.016s)(1+s)}{s} = \frac{0.016s^2+0.75133s+0.73533}{s} \quad (3.8)$$

Y las constantes son las siguientes:

$$K_p = 0.75133$$

$$K_i = 0.73533$$

$$K_d = 0.011937$$

Estas constantes se las ingresan en el bloque “PID Controller” del diagrama de control en Simulink y al ejecutar se obtiene el resultado que se muestra en la Figura 63.

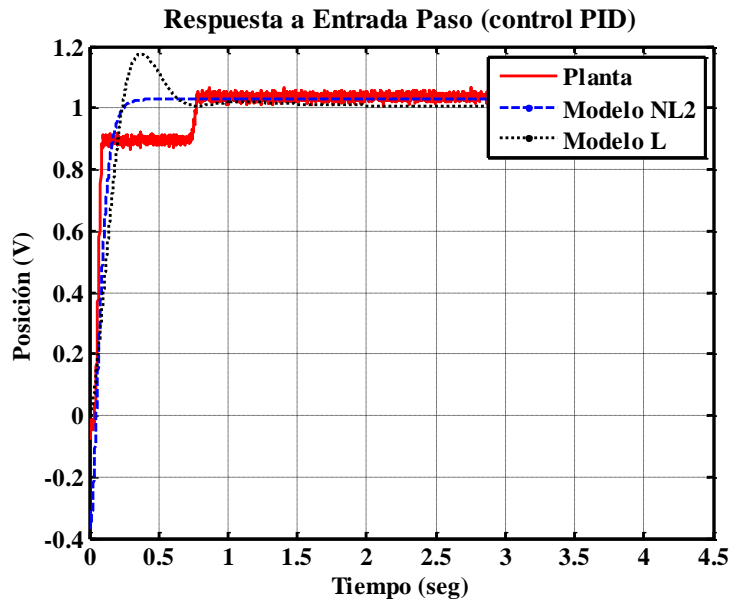


Figura 63. Respuesta del sistema al paso con controlador PD en Simulink de Matlab.

3.3. CONTROLADOR PID-CLÁSICO EN LABVIEW

En esta sección se realiza un Instrumento virtual (VI) en el software Labview que haga el control PID-clásico de un sistema, para luego implementarlo a este proyecto de control de posición del actuador lineal neumático.

3.3.1. ACCIÓN PROPORCIONAL EN LABVIEW

El primer paso es realizar un VI que realice la acción proporcional del control PID. Para esto se recuerda que la acción proporcional es el error por una ganancia proporcional.

Se empieza abriendo un nuevo VI y en el panel frontal se colocan dos controles numéricos y un indicador numérico, el primer control numérico tendrá el nombre "Error" y el segundo control numérico tendrá el nombre "Kp" y el indicador numérico tendrá el nombre "Acción proporcional" como se muestra en la Figura 64.

En la ventana diagrama de bloque se encuentran los bloques de los controles numéricos y se realiza la multiplicación del "Error" y ganancia "Kp" y el resultado se lo muestra en el indicador numérico "Acción proporcional" como se observa en la Figura 65.

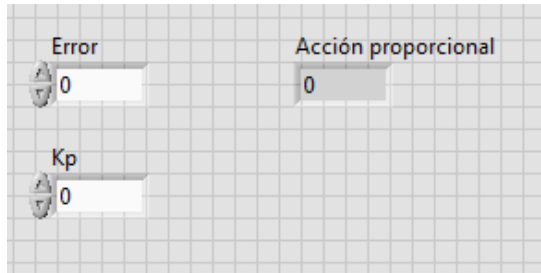


Figura 64. Ventana Front Panel Labview (Acción proporcional)



Figura 65. Diagrama de bloque Labview (Acción Proporcional)

El siguiente paso es crear un Sub-VI para que este pueda ser usado en otro. Los indicadores y controles de Sub-VI reciben datos y regresan datos al diagrama de bloques del VI que hace el llamado. Para crear un subVI, necesita desarrollar un panel conector y crear un ícono. Para esto se debe dar doble clic sobre el botón ubicado en la esquina superior derecha del VI que se muestra en la Figura 66.



Figura 66. Icono de Sub-VI

Se abrirá un editor de icono con una barra de herramientas con la que se puede dar un diseño que distinga la función del Sub-VI, como se muestra en la figura 67.

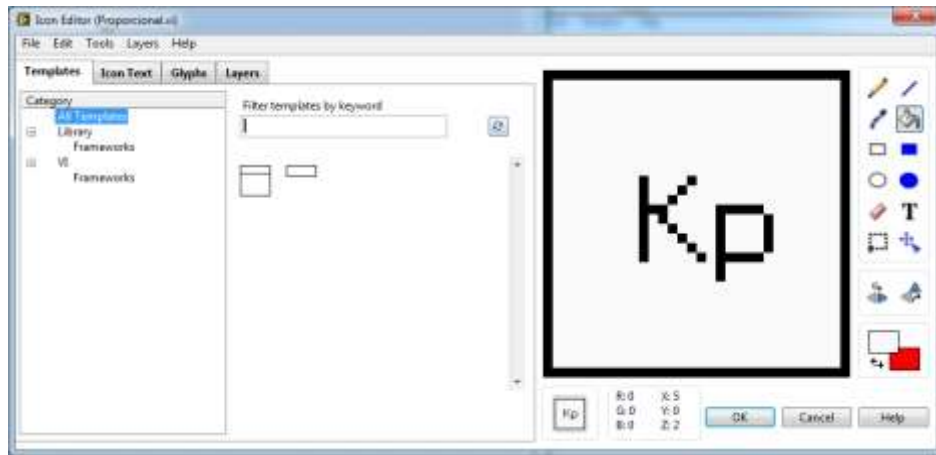


Figura 67. Ventana Editor de Icono Sub-VI.

Luego en el Icono que se encuentra junto al de Sub-VI ingresamos la opción “Patterns” y se escoge el que tenga la cantidad de entradas y salidas necesarias, que en este caso son dos entradas de control y una salida de indicación y se las conecta a cada elemento del panel frontal según corresponda como se indica en la Figura 68.

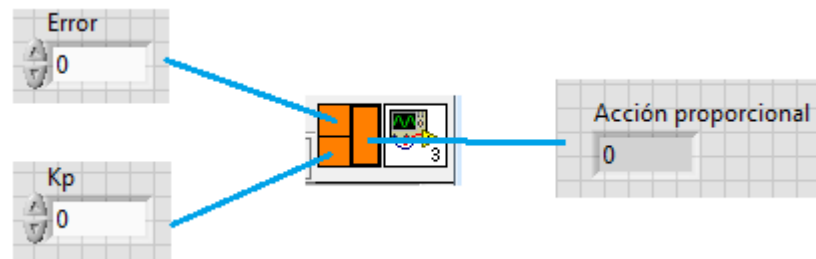


Figura 68. Conexión de Sub-VI

Por ultimo se guarda con un nombre que identifique la función que cumple el VI por ejemplo “Proporcional”

3.3.2. ACCIÓN INTEGRAL EN LABVIEW

La siguiente acción de control es la integral y al igual que la acción proporcional se realiza un VI que cumpla esta acción. Para realizar esta acción se utilizan tres controles numéricos que corresponden al error, cambio de tiempo (Dt) y a la constante integral (KI), un indicador numérico que corresponde a la acción integral

propriadamente dicha y por último un botón de tipo “Push button” booleano que será el que indique si la acción está dentro de un rango limite, todo esto en el “Front Panel” de Labview como se ve en la Figura 69.

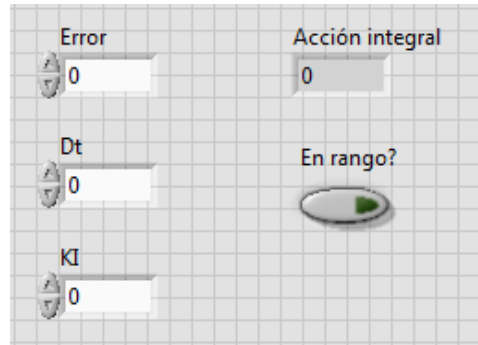


Figura 69. Ventana Front Panel Labview (Acción integral)

La acción integral consiste en determinar el área bajo la curva del error (integrar), teniendo en cuenta que estos términos se representan de forma discreta en este software, por lo que se utiliza la aproximación por el método del trapecio (Figura 70.)

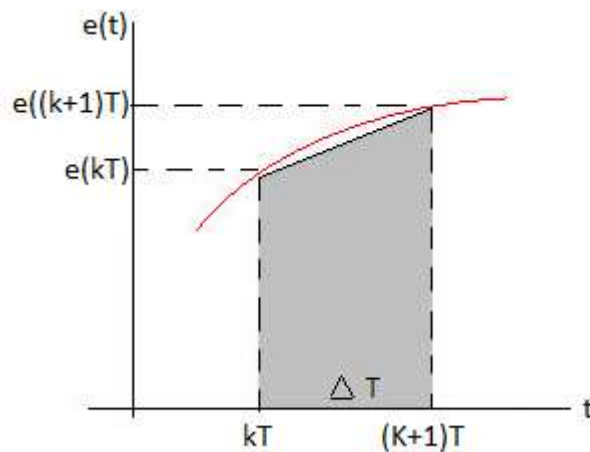


Figura 70. Representación de aproximación Método de trapecio

Este método consiste en hallar el área de un trapecio que se forma a partir de dos puntos del tramo de la curva del error como se muestra en la Figura 70 mediante la función (3.9)

$$\int_0^n e(t)dt = \sum_{k=0}^n \left(\frac{e(kT) + e((k+1)T)}{2} \right) * \Delta T \quad (3.9)$$

De esta manera podemos realizar una acción integral de forma sencilla en el diagrama de bloque como se muestra en la Figura 71 y al igual que la acción proporcional se crea un Sub-VI que se utilizará mas adelante para realizar el bloque PID.

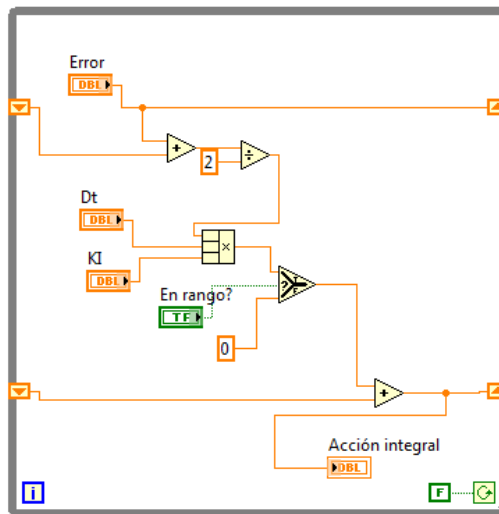


Figura 71. Diagrama de bloque Labview (Acción integral)

3.3.3. ACCIÓN DERIVATIVA EL LABVIEW

Para esta tercera acción a implementar se realiza un nuevo VI que corresponde a la parte derivativa del nuestro controlador. El panel frontal tendrá tres controles numéricos que corresponden al valor anterior, cambio de tiempo (Dt) y la constante derivativa (Kd), y un indicador numérico que corresponde a la acción derivativa como se ve en la Figura 72.

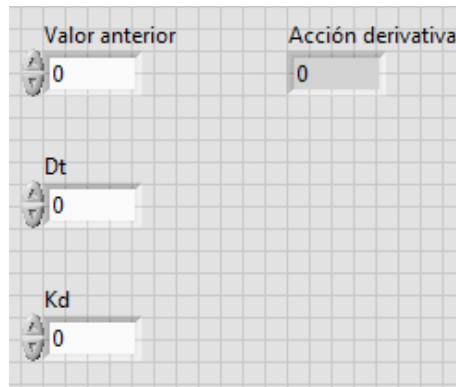


Figura 72. Ventana Front Panel Labview (Acción derivativa)

La acción derivativa se aproxima mediante el método de diferencia finita (ver Figura 73).

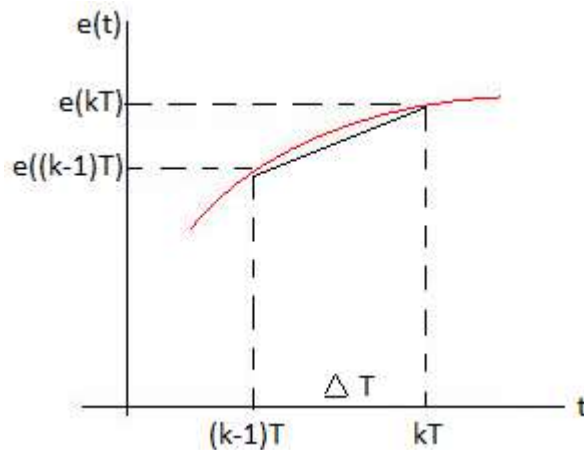


Figura 73. Representación de aproximación Método de diferencia finita

Este método consiste en calcular la pendiente entre dos puntos de la curva del error mediante la expresión de la ecuación (3.10).

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e((k-1)T)}{\Delta T} \quad (3.10)$$

Se implementa esta expresión en el block diagram como se muestra en la Figura 74 y al igual que la acción proporcional se crea un subVI que se utilizará mas adelante para realizar el bloque PID.

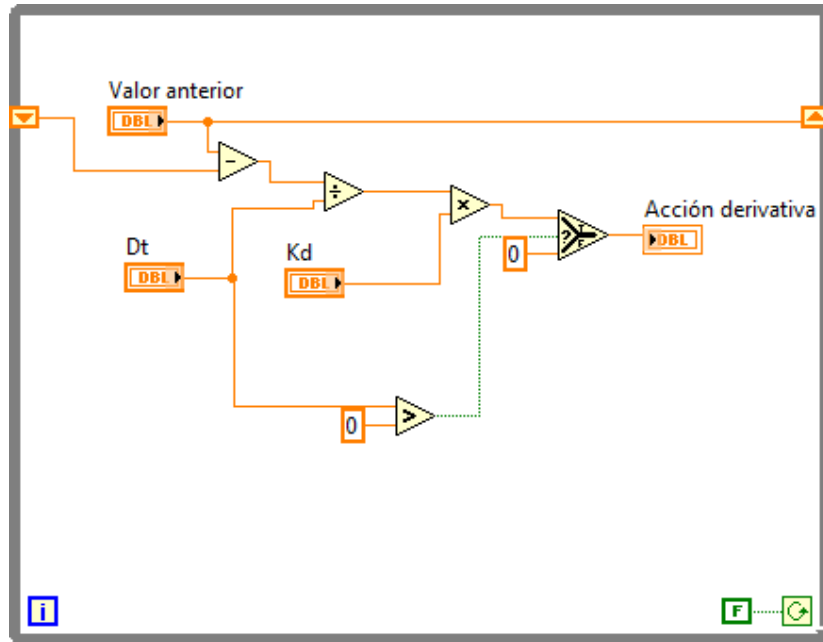


Figura 74. Diagrama de bloque Labview (Acción Derivativa)

3.3.4. INTERVALO DE TIEMPO ENTRE MUESTRAS EN LABVIEW

Como vimos en las ecuaciones (8) y (9) para las acciones Integral y derivativo se necesita del intervalo de tiempo entre muestras, por esto se implementa un VI que determine ese tiempo. En el panel frontal se coloca un indicador numérico como se muestra en la Figura 75, en el diagrama de bloques se arma la estructura que se indica en la Figura 76 y por último se guarda el SubVI con el nombre “tiempo” que se utilizará para nuestro controlador PID.

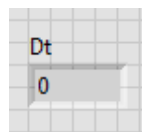


Figura 75. Ventana Front Panel Labview (Tiempo entre muestras)

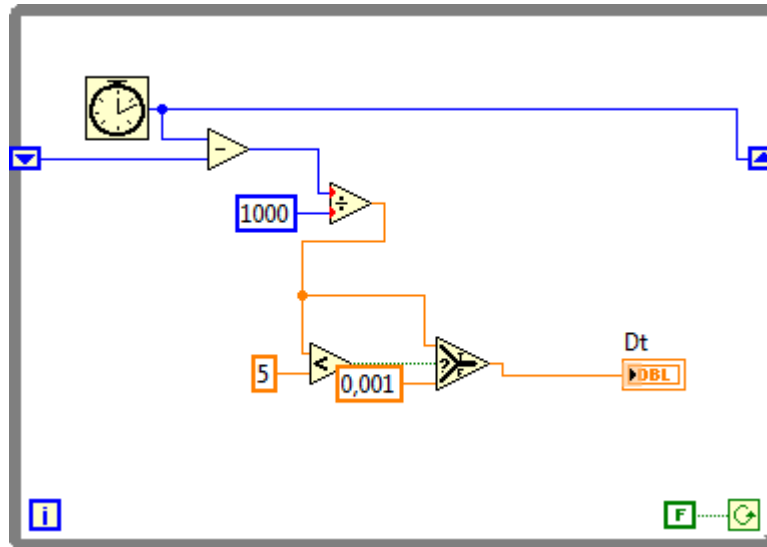


Figura 76. Diagrama de bloque Labview (Tiempo entre muestras)

3.3.5. CONTROL PID-CLÁSICO EN LABVIEW

Como se revisó anteriormente el control PID-Clásico es la suma de las tres acciones de control por lo que se realiza un VI en donde se emplean los Sub-VI de las tres acciones de control realizadas anteriormente (Acción proporcional, integral y derivativo) y el Sub-VI del tiempo entre muestras.

Como se observa en la Figura 77 en el panel frontal se ponen 5 controles numéricos de tipo “slide vertical” que corresponden al punto de consigna (SP), valor presente del sistema (PV), constantes proporcional, integral y derivativo (K_p , K_i , K_d) respectivamente, se usan también dos controles numéricos adicionales que serán para ingresar los límites superior e inferior de la salida de control, dos indicadores numéricos en donde se verá la salida de control PID (%) y el tiempo entre muestras (T) y un “waveform chart” en donde se observa de forma gráfica la señal de control.

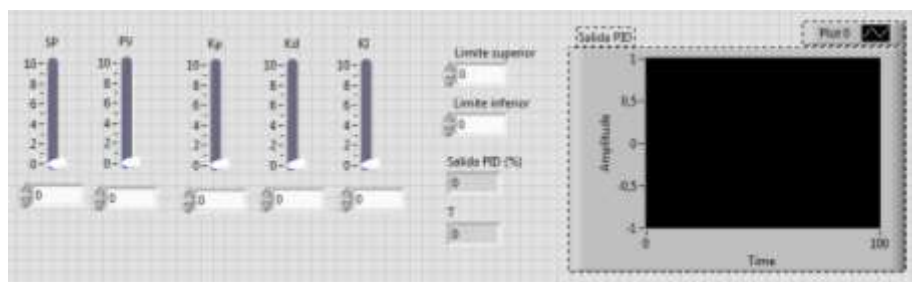


Figura 77. Ventana Front Panel Labview (Control PID-Clásico)

En el diagrama de bloques se colocan los VI's creados anteriormente. A continuación se suman sus salidas y esta nueva salida será limitada en un rango de operación. En sus entradas de error ingresará el error del sistema que es la diferencia entre el valor de consigna (SP) y el valor presente (PV) como se observa en la Figura 78 y por último se guarda el Sub-VI con el nombre "PID-Clásico" que finalmente será el que se utilice para realizar el control de posición del actuador lineal neumático.

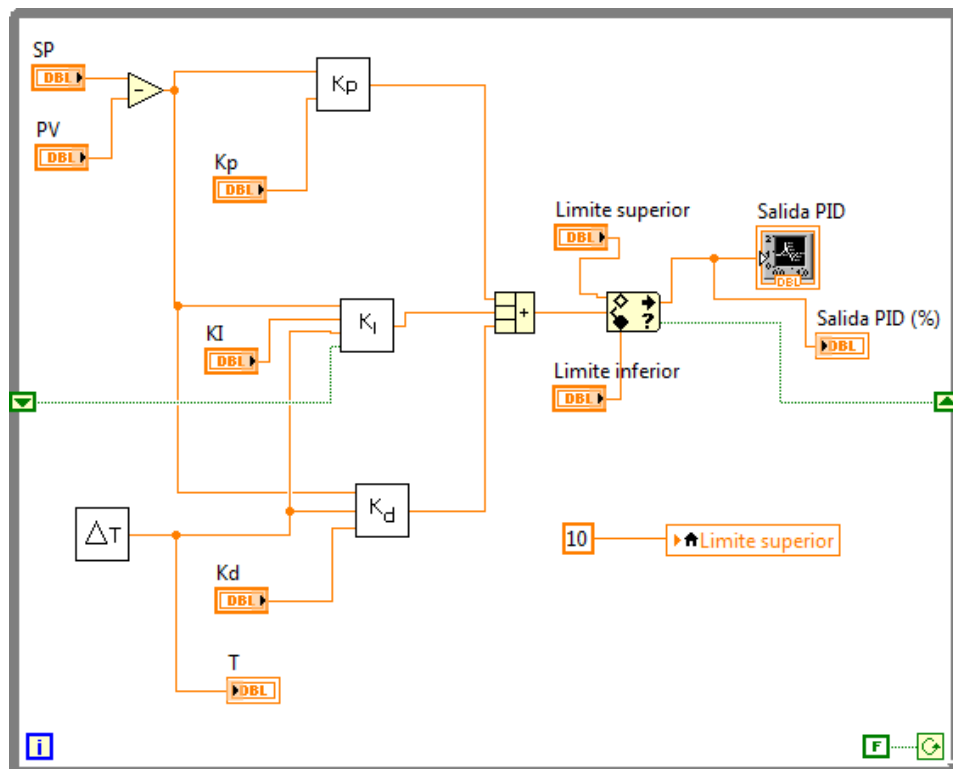


Figura 78. Diagrama de bloque Labview (Control PID-Clásico)

3.3.6. IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL Y MONITOREO DE POSICIÓN PID-CLÁSICO EN LABVIEW

Para empezar se realiza la adquisición y generación de datos mediante una Mydaq de national instruments realizando las conexiones en el sistema como se muestra en la Figura 79. y realizando en el diagrama de bloques de un nuevo VI las conexiones que se muestran en la Figura 80.

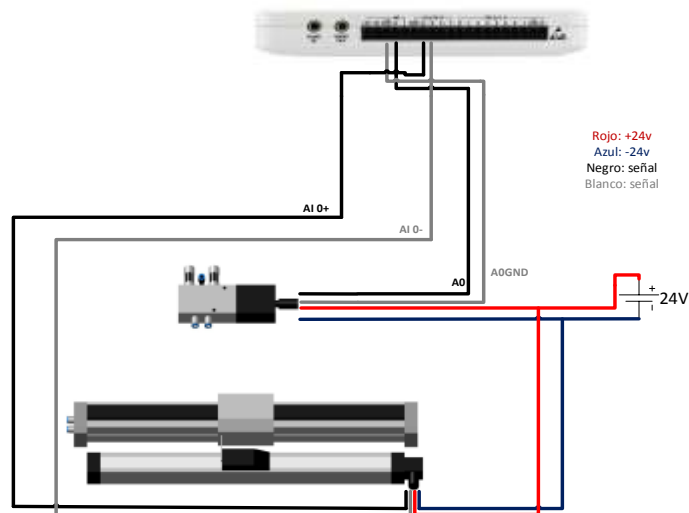


Figura 79. Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

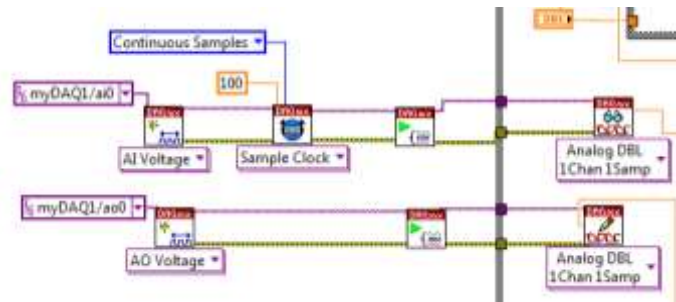


Figura 80. Diagrama de bloque Labview (Adquisición y generación de datos)

A continuación en el panel frontal se colocan los controles e indicadores necesarios para el control de posición del actuador lineal como observamos en la Figura 81.

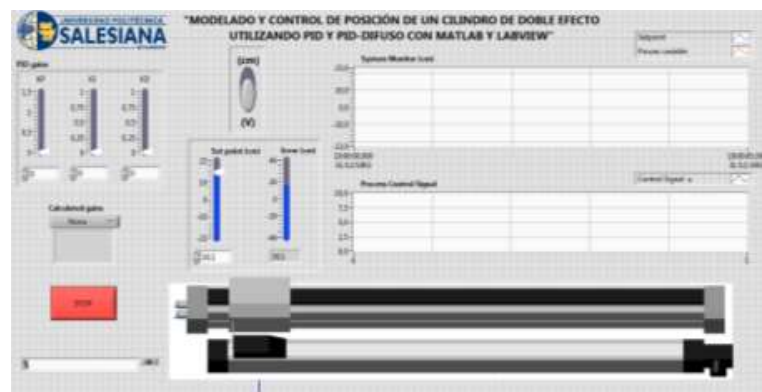


Figura 81. Panel Frontal de Labview para control PID-Clásico de posición de actuador lineal neumático.

En el diagrama de bloque se realiza las conexiones de la Figura 82 donde se observa la parte principal encerrada de verde, que es el bloque PID donde se ingresa como PV la salida del bloque “DAQmx read” y la salida del bloque PID conectado a la entrada del bloque “DAQmx write”, cabe comentar que lo que se encuentra encerrado en azul es para la conversión de voltios a centímetros y lo que está encerrado de rojo es para almacenar los datos en un archivo de excel.

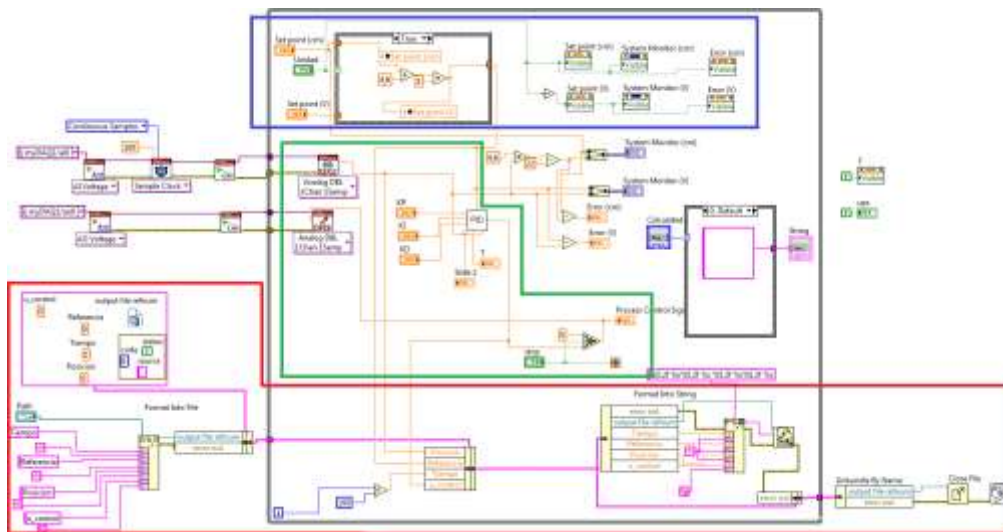


Figura 82. Diagrama de bloque de Labview para control P-Clásico de posición de actuador lineal neumático.

Una vez realizadas las conexiones y diseñado el VI de Labview se ingresan las contantes obtenidas en Sisotool para los controladores P, PI, PD y PID y se ejecuta el control obteniendo los resultados que se muestran en las gráficas de la Figura 83 que corresponden a las respuestas del sistema a la señal paso y comparados con las respuestas obtenidas en Simulink anteriormente, comprobando el buen funcionamiento del programa realizado en Labview.

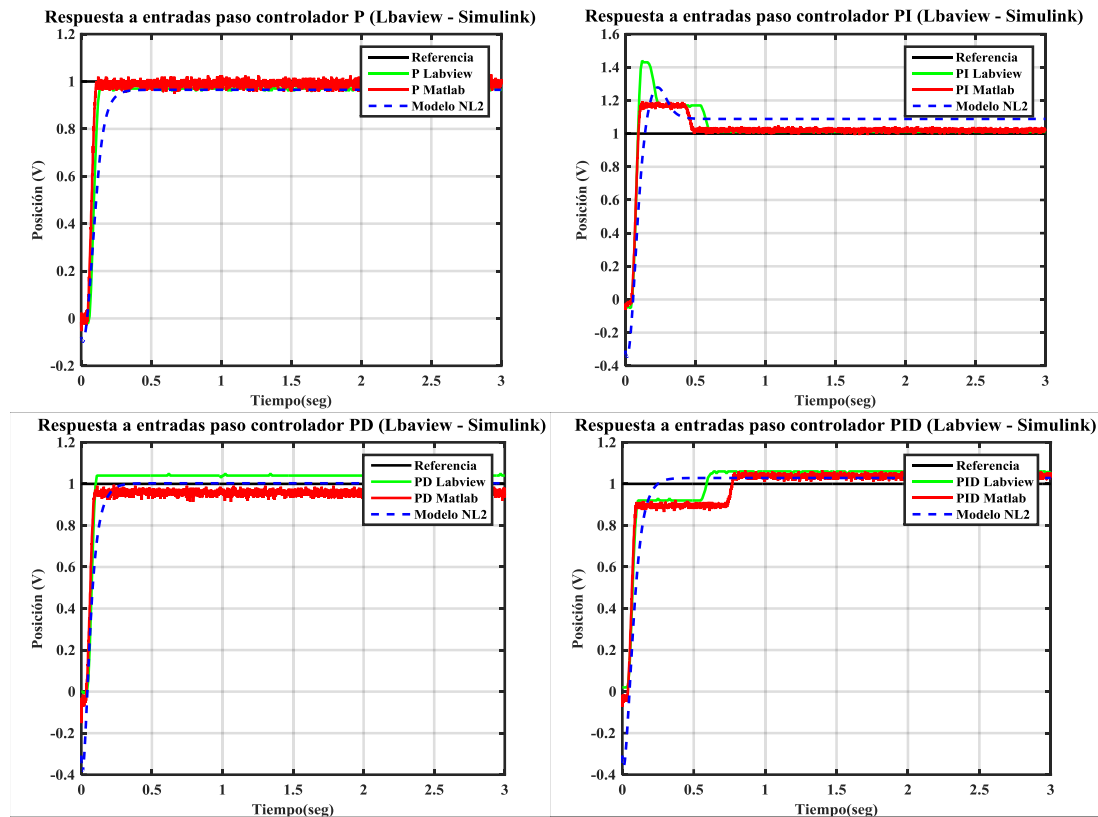


Figura 83. Gráficos de respuesta a entrada paso – Controladores P, PI, PD, PID (Labview vs Simulink)

En la Figura 83 se observa que las señales de color rojo (controles en Simulink) son más gruesas que las señales de color verde (controles en labview), esto se debe al ruido presente en la electrónica de la tarjeta PCI 1711 mas no a que la panta esté sufriendo algún tipo de desplazamiento u oscilaciones, por lo que podemos deducir que la tarjeta Mydaq en conjunto con el software Labview tienen un mejor filtrado de las señales.

3.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES PID-DIFUSO

En esta sección se realiza el diseño del control de posición del actuador lineal con la ayuda del diseñador de lógica difusa “Fuzzy logic designer” del software Matlab y luego se implementa en Labview, con VIs amigables para los usuarios, para luego comparar el comportamiento del control PID clásico con este control de tipo difuso que tiene como una de sus principales características ser un buen controlador para sistemas no lineales.

3.4.1. CONTROLADORES DIFUSOS CON FUZZY LOGIC DESIGNER DE MATLAB

El diseño de controladores difusos en Matlab se realiza en la aplicación “Fuzzy logic designer” que se muestra en la Figura 84 que puede ser abierto mediante el comando **Fuzzy**.

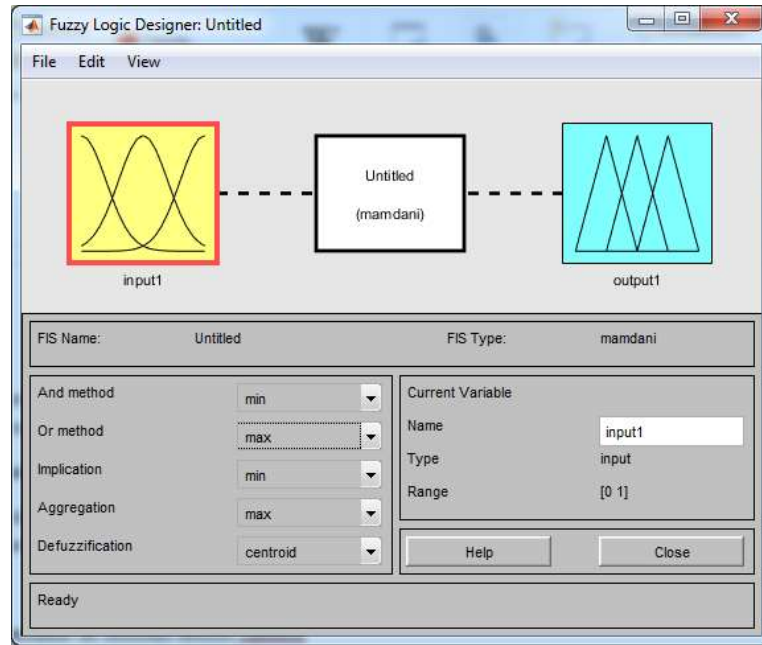


Figura 84. Ventana Fuzzy Logic designer de Matlab

Esta aplicación permite diseñar y probar sistemas de inferencia difusos para modelar comportamientos complejos del sistema.

En esta aplicación se puede diseñar sistemas de inferencia Fuzzy de Mamdani y Sugeno, manejar variables de entrada y salida, especificar funciones de pertenencia de entrada y salida, definir reglas difusas (if – then), realizar operaciones “or” y “and” para las funciones de inferencia y exportar la inferencia difusa al workspace de Matlab. [13]

3.4.2. CONTROL PROPORCIONAL DIFUSO (P-DIFUSO) EN MATLAB

Para realizar el control proporcional difuso se implementa un sistema de inferencia difusa en el “Fuzzy logic designer” con una variable de entrada correspondiente al error con tres funciones de membresía de tipo trapezoidal y una variable de salida de control con tres funciones de membresía en el “Membership Function Editor” en esta ventana se puede editar todos los parámetros de las variables como vemos en

la Figura 85 y con tres reglas que se detallan en la en la Matriz de asociación difusa de la Tabla 3. Una vez terminada la inferencia difusa, se exporta el trabajo realizado al workspace para ser utilizado en Simulink. [14]

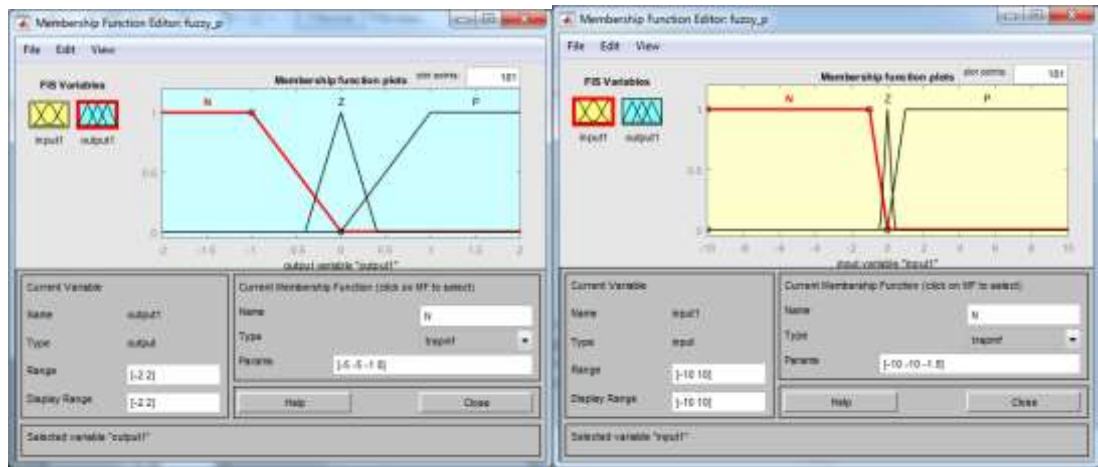


Figura 85. Membership function editor – variables de entrada y salida control P-Difuso

| | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|
| Entrada (Error) | N | Z | P |
| Salida (Corrección) | N | Z | P |

Tabla 3. Matriz de asociación difusa para controlador P

En simulink se realiza el control proporcional difuso utilizando el bloque “Fuzzy Logic Controller” (Figura 86) en donde se procede a cargar el objeto realizado y guardado en el workspace que va constar de un número de entradas y salidas de acuerdo a la cantidad de variables diseñadas, en este caso una entrada y una salida (la señal de error y la salida de control).

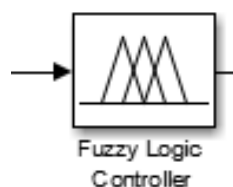


Figura 86. Bloque Fuzzy Logic Controller

Se procede a armar el resto del diagrama de bloque como se indica en la Figura 87 donde se puede observar que a la entrada del bloque **Fuzzy logic Controller** se tiene el error que corresponde a la diferencia entre la referencia y el valor de la salida multiplicado por una ganancia correspondiente a nuestra ganancia proporcional, al ejecutar el control se obtiene la respuesta que se muestra en la Figura 88.

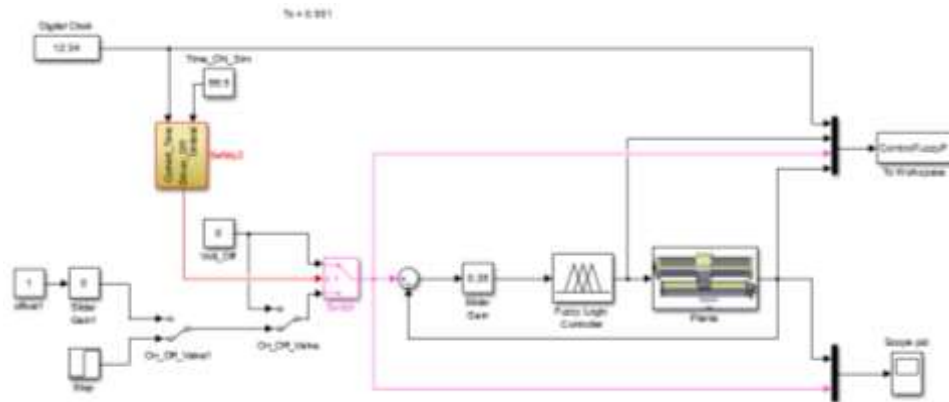


Figura 87. Diagrama de control P-difuso del sistema a lazo cerrado – Simulink.

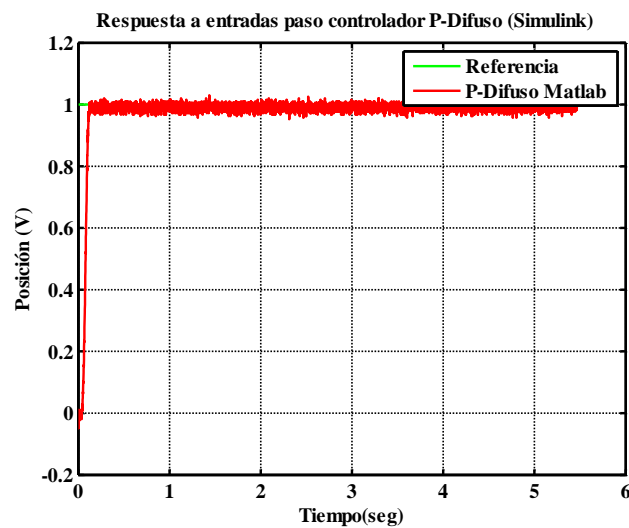


Figura 88. Respuesta del sistema al paso con controlador P-Difuso en Simulink de Matlab.

3.4.3. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DIFUSO (PI-DIFUSO) EN MATLAB

Para realizar el control proporcional integral difuso se realizan las inferencias difusas en el “Fuzzy logic designer”, esta vez con dos variables de entrada una

correspondiente al error, la otra a la integral del error y una salida que será nuestra señal de control, con tres funciones de membresía cada una como se muestra en la Figura 89 y con 9 reglas que se detallan en la matriz de asociación difusa de la Tabla 4. [15]

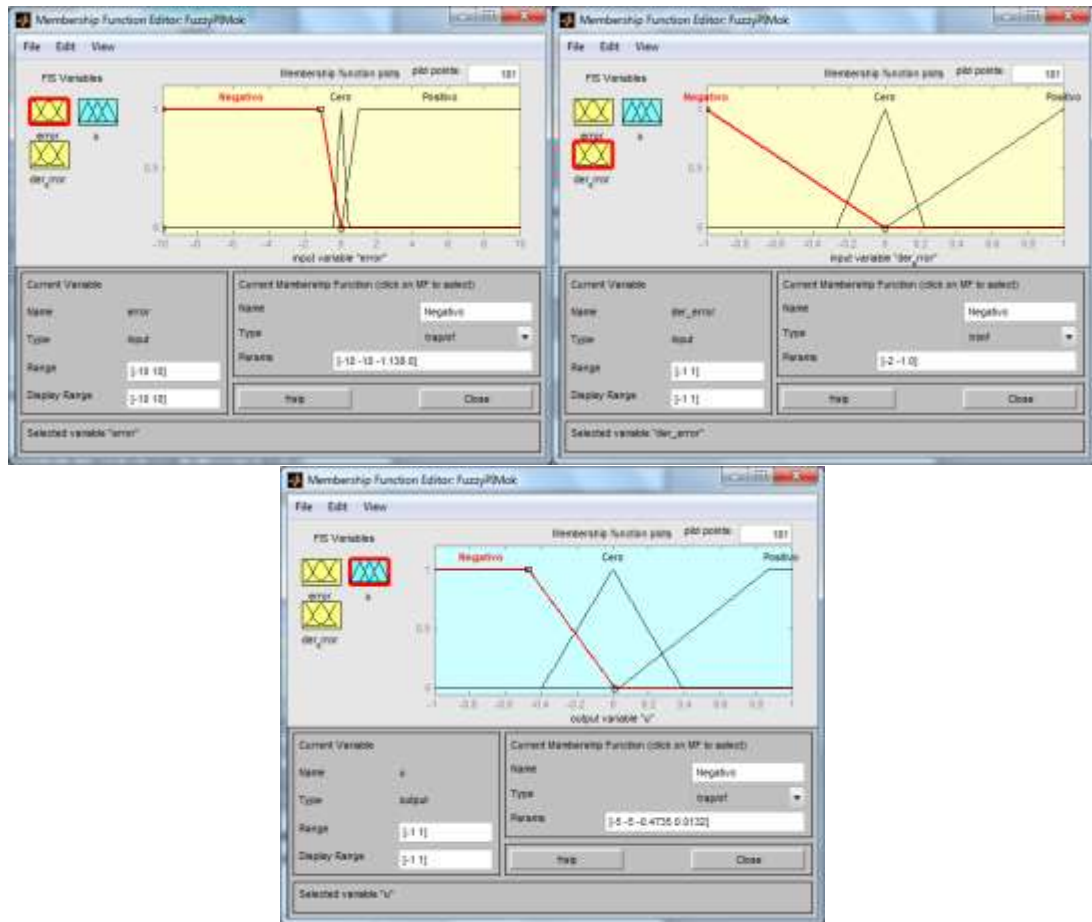


Figura 89. Membership function editor – variables de entrada y salida control PI-Difuso

| | | Error | | |
|-------------------|---|-------|---|---|
| | | N | Z | P |
| Integral de Error | N | N | N | Z |
| | Z | Z | N | P |
| | P | P | Z | P |

Tabla 4. Matriz de asociación difusa para controlador PI

El diagrama para este control se muestra en la Figura 90 donde se observa que en la entrada del bloque difuso tiene dos entradas, el error y la integral de error respectivamente, mientras la salida va directamente a la planta. La respuesta al paso del sistema bajo el control difuso se muestra en la Figura 91.

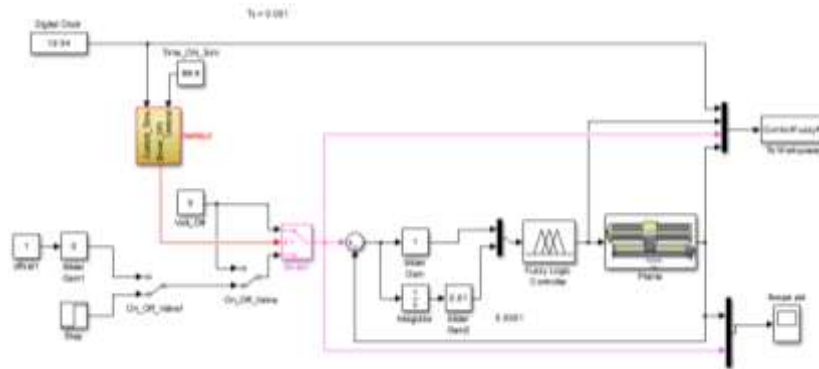


Figura 90. Diagrama de control PI-difuso del sistema a lazo cerrado – Simulink.

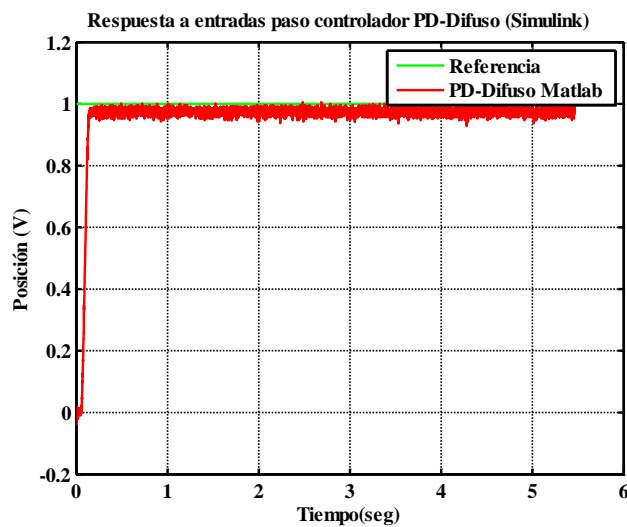


Figura 91. Respuesta del sistema al paso con controlador PI-Difuso en Simulink de Matlab.

3.4.4. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO DIFUSO (PD-DIFUSO) EN MATLAB

Para realizar este control proporcional derivativo difuso se realizan las inferencias difusas en el “Fuzzy logic designer”, esta vez con dos variables de entrada una correspondiente al error, la otra a la derivada del error y una salida que será la

señal de control, con tres funciones de membresía cada una como se muestra en la Figura 92 con 9 reglas que se detallan en la en la Matriz de asociación difusa de la Tabla 5. [14]

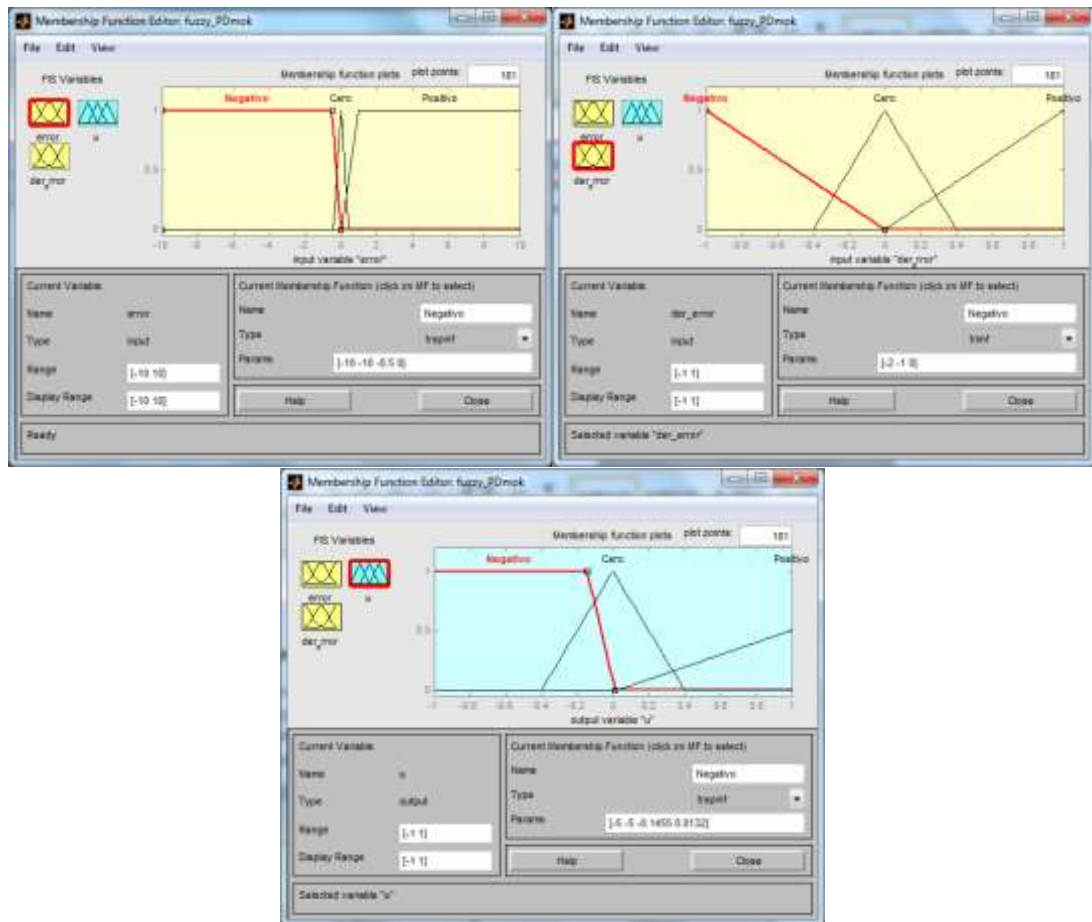


Figura 92. Membership function editor – variables de entrada y salida control PD-Difuso

| | | Error | | |
|--------------------|---|-------|---|---|
| | | N | Z | P |
| Derivada del Error | N | N | N | Z |
| | Z | N | Z | P |
| | P | Z | P | P |

Tabla 5. Matriz de asociación difusa para controlador PD

El diagrama para este control se muestra en la Figura 93 donde se evidencia lo explicado anteriormente, la entrada del bloque difuso consta de dos entradas, el error y la derivada de error respectivamente, mientras la salida va directamente a la planta. La respuesta al paso del sistema bajo el control difuso se muestra en la Figura 94.

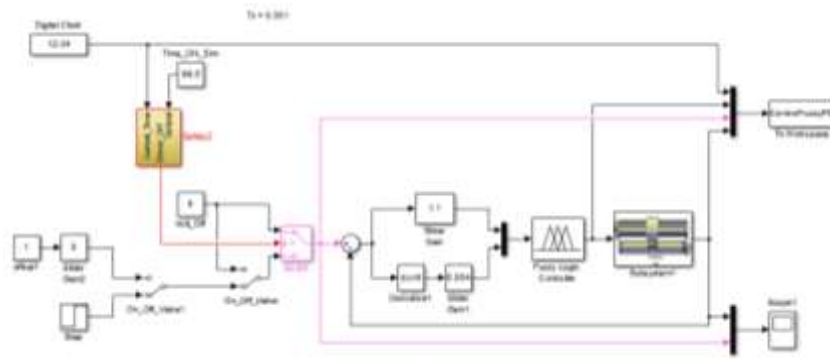


Figura 93. Diagrama de control PD-difuso del sistema a lazo cerrado – Simulink.

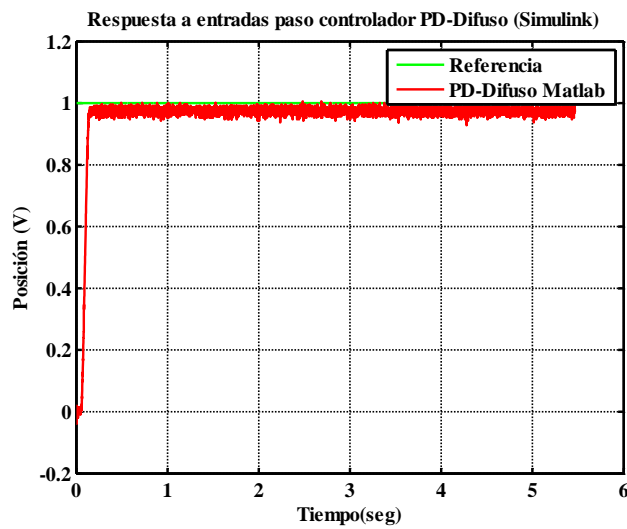


Figura 94. Respuesta del sistema al paso con controlador PD-Difuso en Simulink de Matlab.

3.4.5. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO DIFUSO (PID-DIFUSO) EN MATLAB

Para este control se utiliza la estructura propuesta en la Figura 95, el cual utiliza las mismas inferencias y reglas del control PD-Difuso sumando a su salida de control la integral del error [16]. Obteniendo la respuesta de la Figura 96.

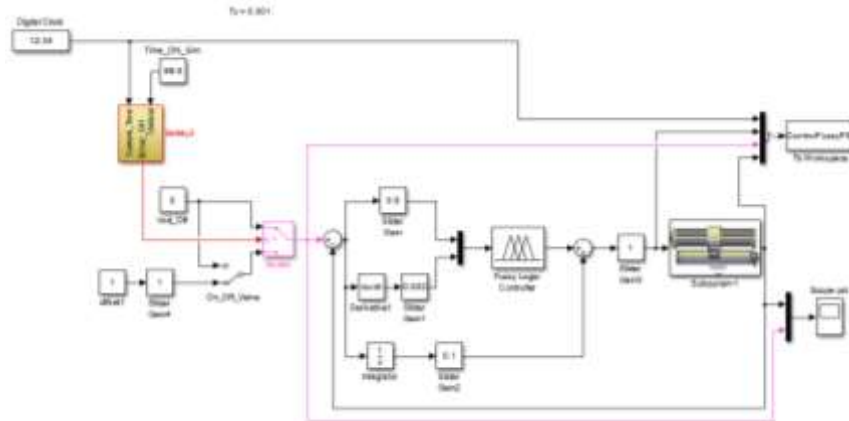


Figura 95. Diagrama de control PID-difuso del sistema a lazo cerrado – Simulink.

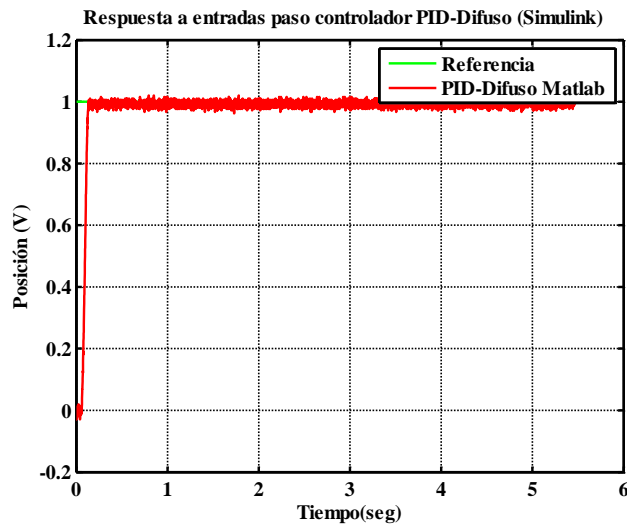


Figura 96. Respuesta del sistema al paso con controlador PID-Difuso en Simulink de Matlab.

3.5. CONTROLADORES DIFUSOS EN LABVIEW

El diseño de los controladores difusos se realiza en el diseñador de sistemas difusos de Labview (ver Figura 97) En este diseñador se puede configurar las

variables lingüísticas tanto de entrada como salida de un sistema difuso, además de configurar las reglas y los métodos de defusificación, entre otras características, que emplean en el sistema.

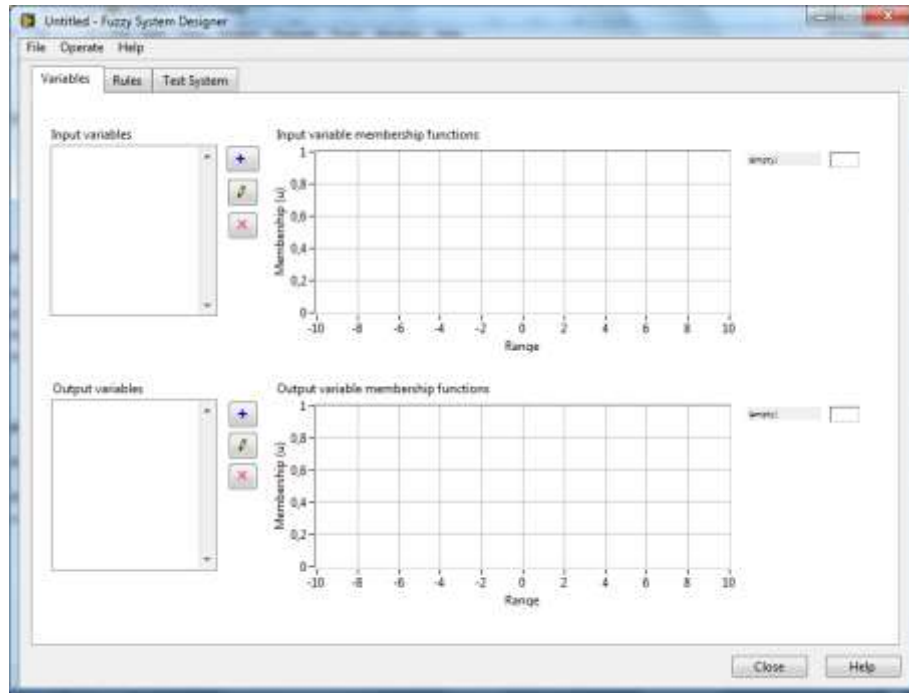


Figura 97. Ventana – Fuzzy System Designer – Labview

Para realizar los controles en Labview se utilizan las mismas estructuras, inferencias y reglas aplicadas en Matlab.

3.5.1. CONTROL PROPORCIONAL DIFUSO (P-DIFUSO) EN LABVIEW

Para el desarrollo del control difuso proporcional en Labview se realiza el sistema difuso con la herramienta “Fuzzy System Designer” como se lo realizó anteriormente en Matlab, con las mismas entradas, rangos y reglas. El “Fuzzy System Designer” para este control queda como se muestra en la Figura 98.

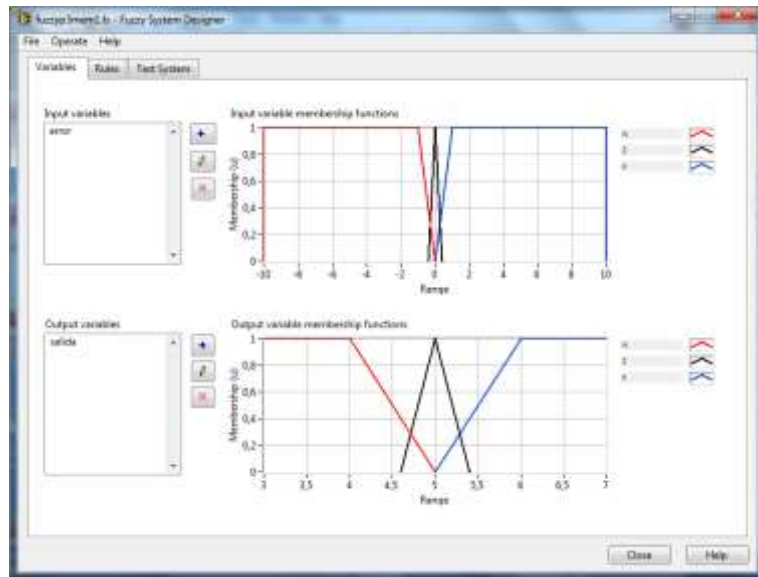


Figura 98. Ventana – Fuzzy System Designer control Proporcional – Labview

Una vez concluido el sistema difuso se guarda en un archivo que luego se lo vincula en el VI de Labview. El siguiente paso es el diseño del programa en el panel frontal y diagrama de bloque de Labview para el control difuso. El panel frontal se basa en el diseño anteriormente realizado en el control PID-Clásico y queda como se muestra en la Figura 99.

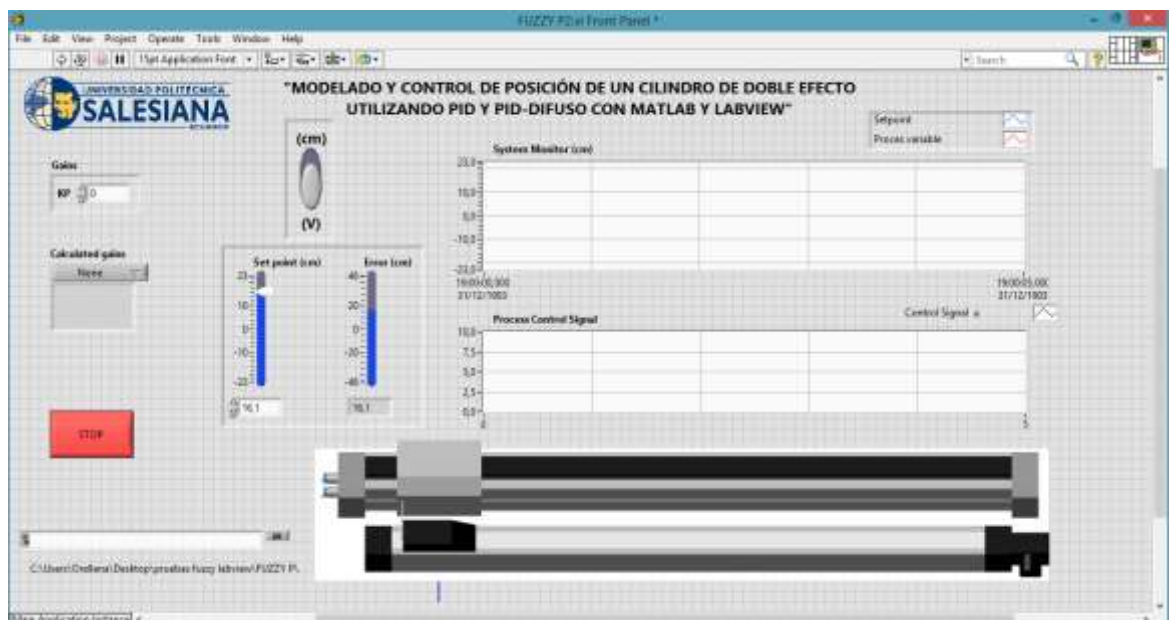


Figura 99. Panel Frontal de Labview para control PID-Difuso de posición de actuador lineal neumático.

El diagrama de bloque se muestra en la Figura 102 y fue agrupado en tres secciones. La primera sección que se encuentra encerrada en azul es para realizar la conversión de Voltaje a centímetros, la siguiente sección encerrada en verde es la parte principal del diagrama la cual realiza el control difuso de la planta y en donde se puede observar el bloque “FL Load Fuzzy System” que se muestra en la Figura 100, el cual es el encargado de cargar el sistema difuso creado anteriormente con extensión “.fs”, luego observamos el bloque “FL Fuzzy Controller” que se muestra en la Figura 101 encargado de implementar un controlador lógico difuso del sistema, especificado en el bloque “FL Load Fuzzy System”. Se puede apreciar que a la entrada de este bloque ingresa el error del sistema multiplicado por una ganancia proporcional y la salida va directamente a la planta. La tercera sección encerrada en rojo es para almacenar los datos para el posterior análisis.

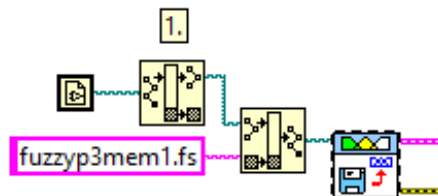


Figura 100. Bloque FL Load Fuzzy System

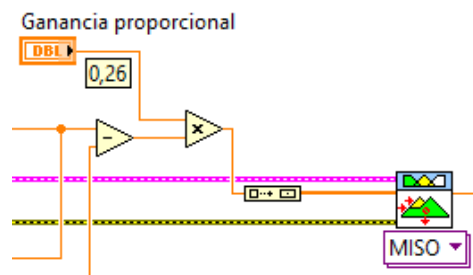


Figura 101. Bloque FL Fuzzy Controller

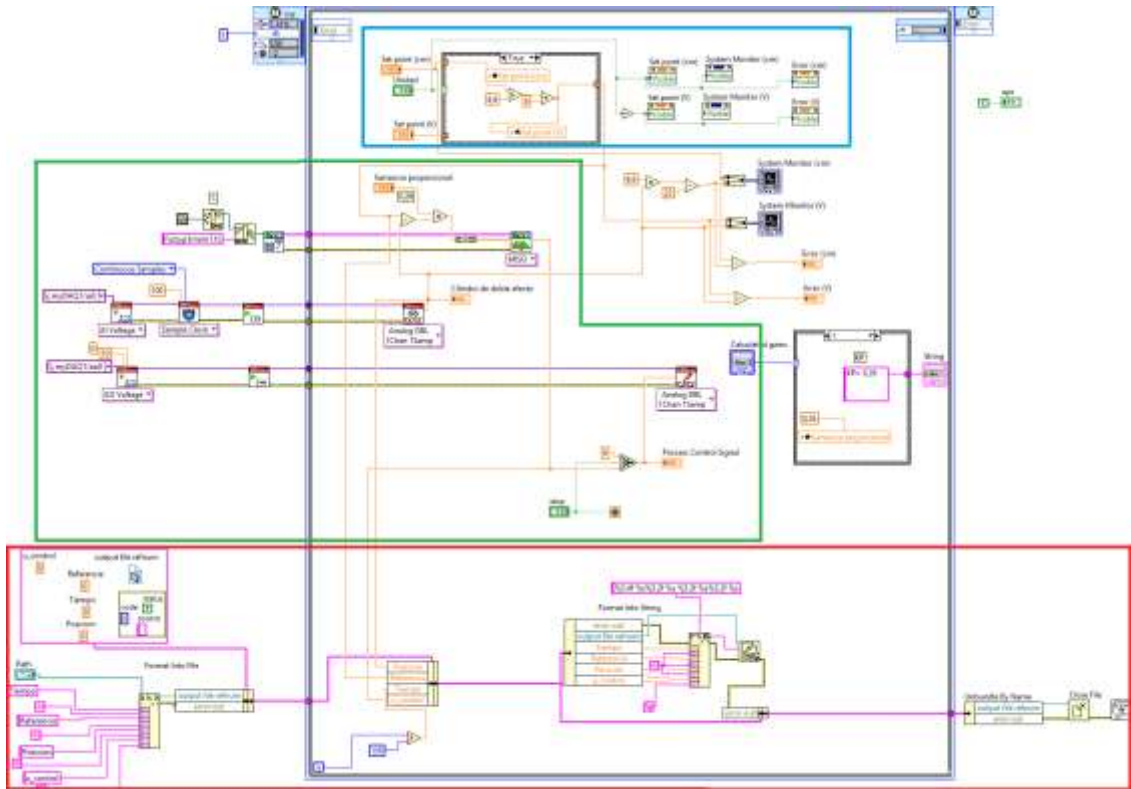


Figura 102. Diagrama de bloque de Labview para control P-Difuso de posición de actuador lineal neumático.

Al ejecutar este VI de Labview se observa la respuesta del sistema bajo la acción de control proporcional difuso con una señal de referencia de tipo paso como se muestra en la Figura 103.

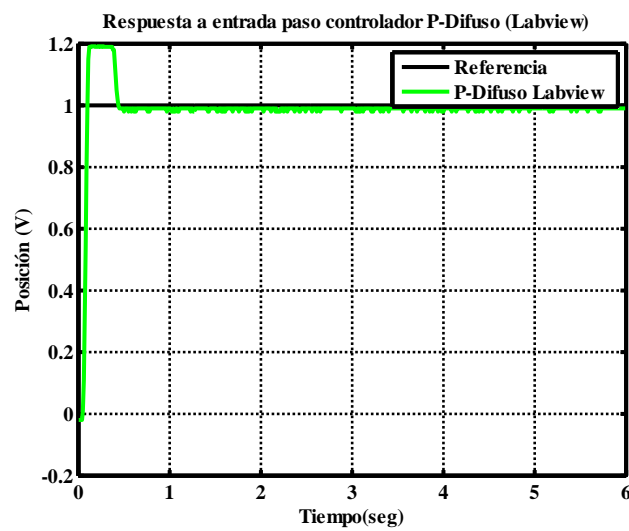


Figura 103. Respuesta del sistema al paso con controlador P-Difuso en Labview

3.5.2. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DIFUSO (PI-DIFUSO) EN LABVIEW

Para la implementación de este control en Labview se realiza el mismo sistema difuso realizado en Matlab. El panel frontal de Labview será el mismo que fue usado para el control P-Difuso con la diferencia de que se agrega un control numérico adicional correspondiente a la ganancia integral. El diagrama de bloque de este control se muestra en la Figura 104 donde se observa que a la entrada del sistema difuso ingresan dos señales, el error y la integral de error. La integral del error se obtiene con el método de aproximación del trapecio como se realizó con la acción integral del controlador clásico. La respuesta al paso del sistema se muestra en la figura 105.

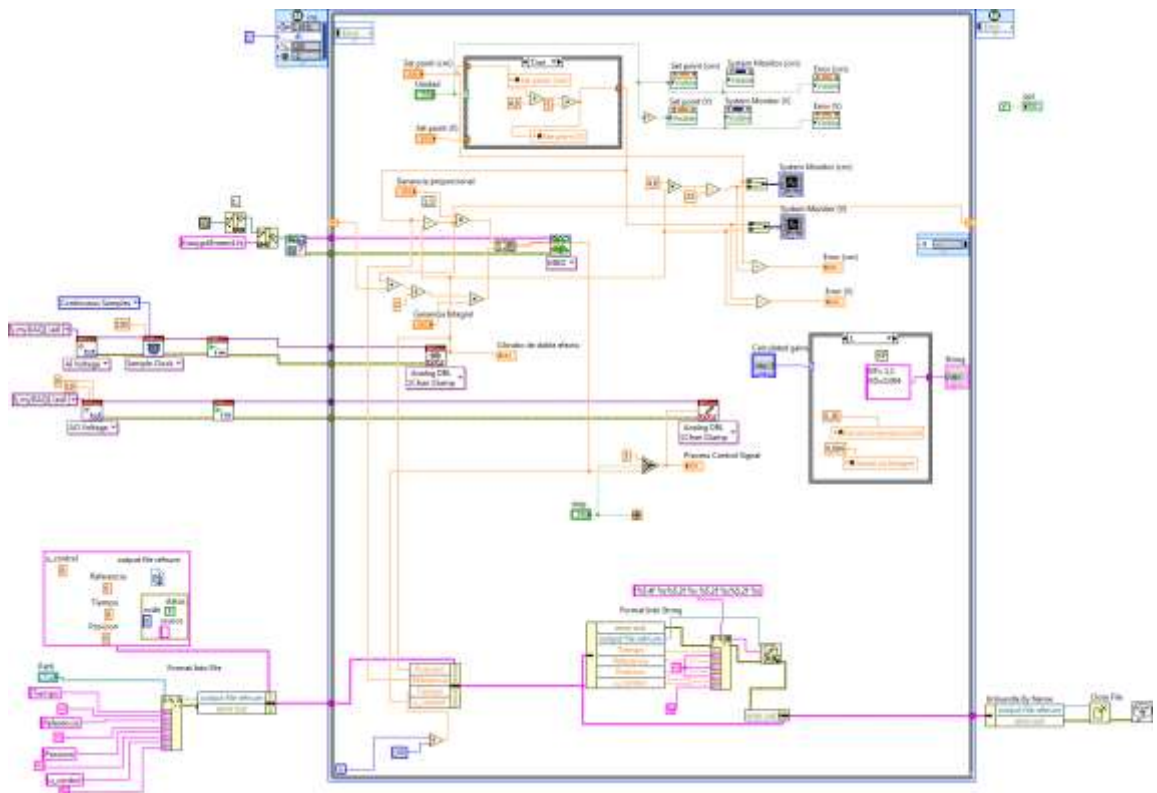


Figura 104. Diagrama de bloque de Labview para control PI-Difuso de posición de actuador lineal neumático.

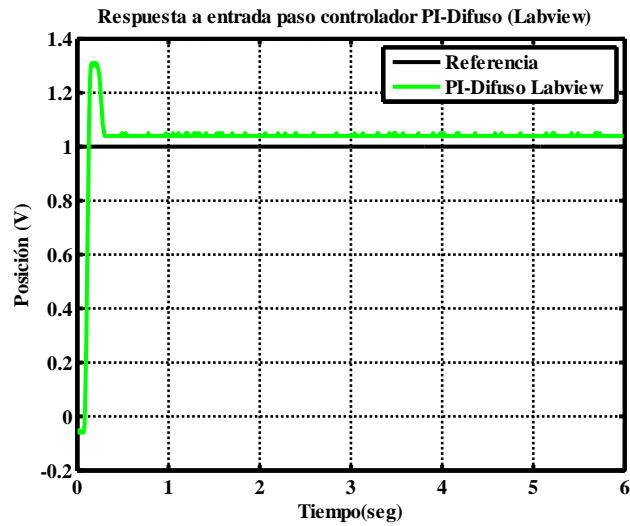


Figura 105. Respuesta del sistema al paso con controlador PI-Difuso en Labview

3.5.3. CONTROL PROPORCIONAL DERIVATIVO DIFUSO (PD-DIFUSO) EN LABVIEW

Para este controlador difuso se utiliza la misma estructura realizada anteriormente en Matlab y el panel frontal de Labview utilizado en el control PI-Difuso. La estructura de diagrama de bloque también es parecida a la del control PI-Difuso, pero en las entradas del controlador difuso se tiene el error y la derivada del error como se muestra en la Figura 106 la respuesta de este control se la observa en la Figura 107.

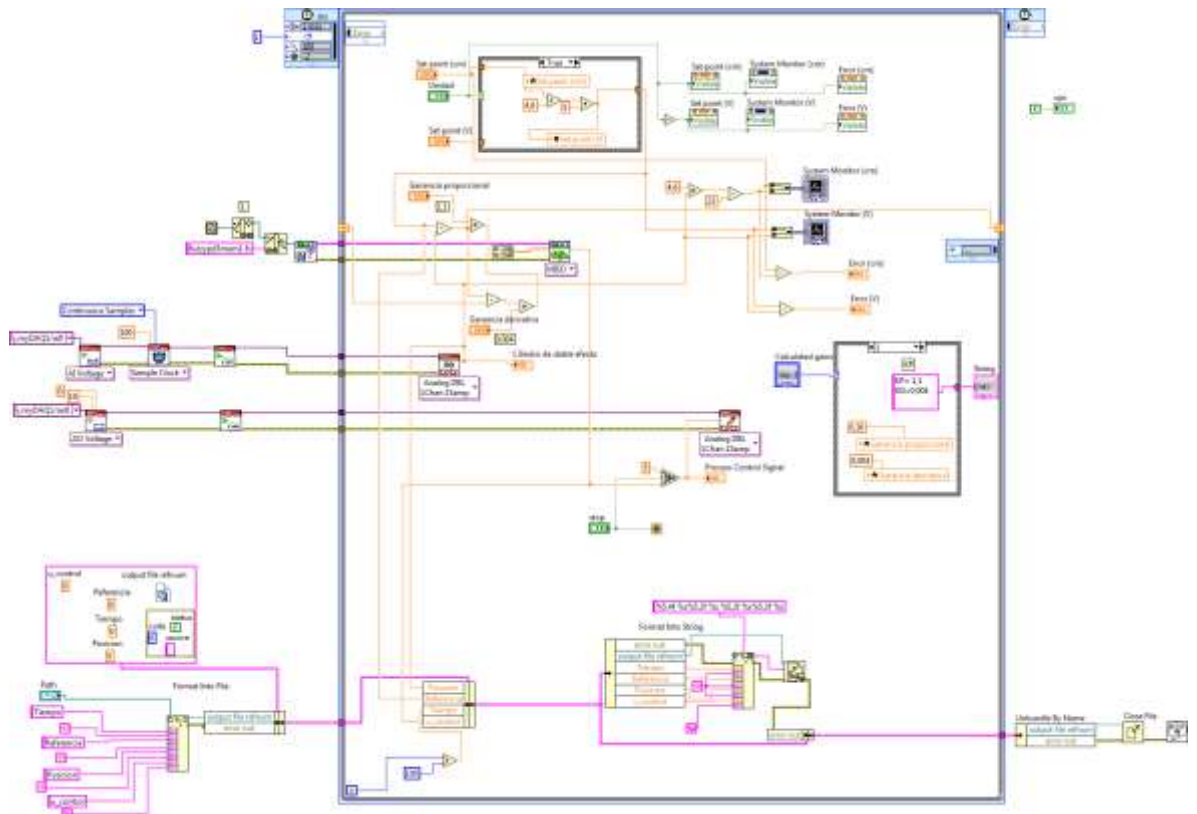


Figura 106. Diagrama de bloque de Labview para control PD-Difuso de posición de actuador lineal neumático.

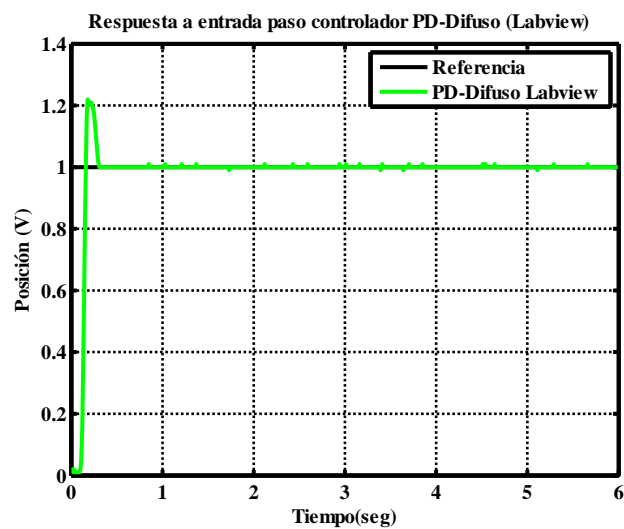


Figura 107. Respuesta del sistema al paso con controlador PD-Difuso en Labview

3.5.4. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO DIFUSO (PID-DIFUSO) EN LABVIEW

Para la estructura de este controlador se utiliza un control PD-difuso más I [5x], ya que con esto se trata de eliminar el error de estado estacionario y es equivalente a un control PID. La estructura es la misma del control PD-difuso con la diferencia que a la salida se le suma la acción integral del error como se lo realizó en Matlab, por lo que el panel frontal tendrá 3 controles numéricos correspondientes a las ganancias proporcional, integral y derivativa. El diagrama de bloque lo podemos observar en la Figura 108 y la respuesta de este control lo vemos en la Figura 109.

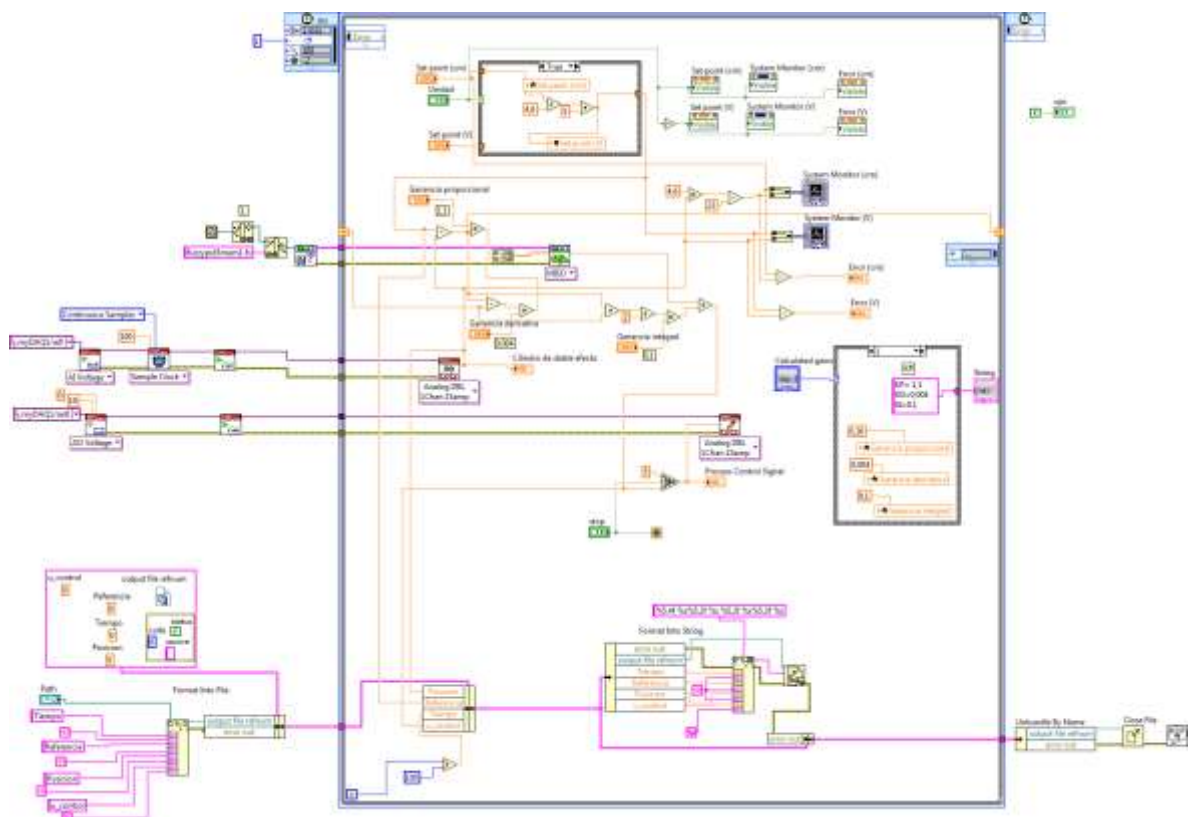


Figura 108. Diagrama de bloque de Labview para control PID-Difuso de posición de actuador lineal neumático.

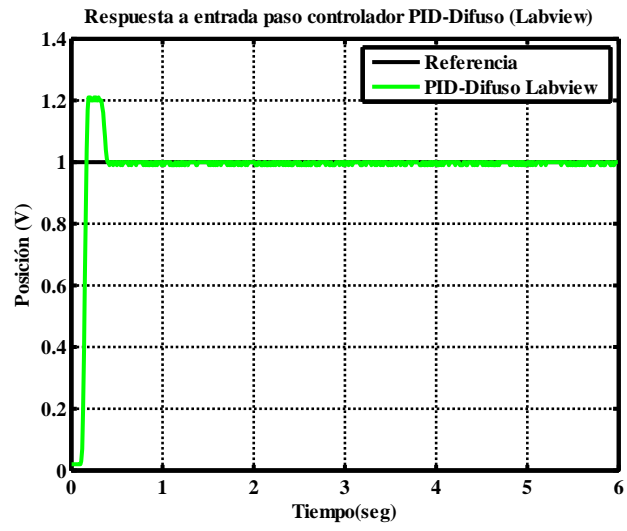


Figura 109. Respuesta del sistema al paso con controlador PID-Difuso en Labview

CAPÍTULO # 4

4. ANÁLISIS RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la comparación de ambos métodos de control implementados en este proyecto. Para determinar el índice de rendimiento se implementa error integral absoluto y desviación integral de la señal de control cuadrada IAE e ISU [17] respectivamente utilizando el código en Matlab que se muestra en la Figura 110 y que cumple con las ecuaciones (4.1 – 4.2).

$$IAE = Je = \sum_{k=1}^n |r_k - y_k| \quad (4.1)$$

$$ISU = Ju = \sum_{k=0}^N (u(k) - u_{ss})^2 \quad (4.2)$$

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%IAE%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
IAE_Fuzzy = sum(abs(desempenofuzzy(:,2)-desempenofuzzy(:,3)))
IAE_PID = sum(abs(desempenopid(:,2)-desempenopid(:,3)))

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%ISU%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ISU_Fuzzy=sum((desempenofuzzy(:,4)-5).^2)
ISU_PID=sum((desempenopid(:,4)-5).^2)
```

Figura 110. Código para calcular IAE e ISU.

La prueba se realiza en Labview por ser el programa diseñado para ser utilizado por usuarios en procesos industriales o de control reales.

Para realizar el análisis se realiza una prueba en el sistema que consiste en variar los niveles de la señal de referencia o SP, esta señal de referencia debe ser igual para ambos controladores, obteniendo las respuestas que se muestran en la Figura 111.

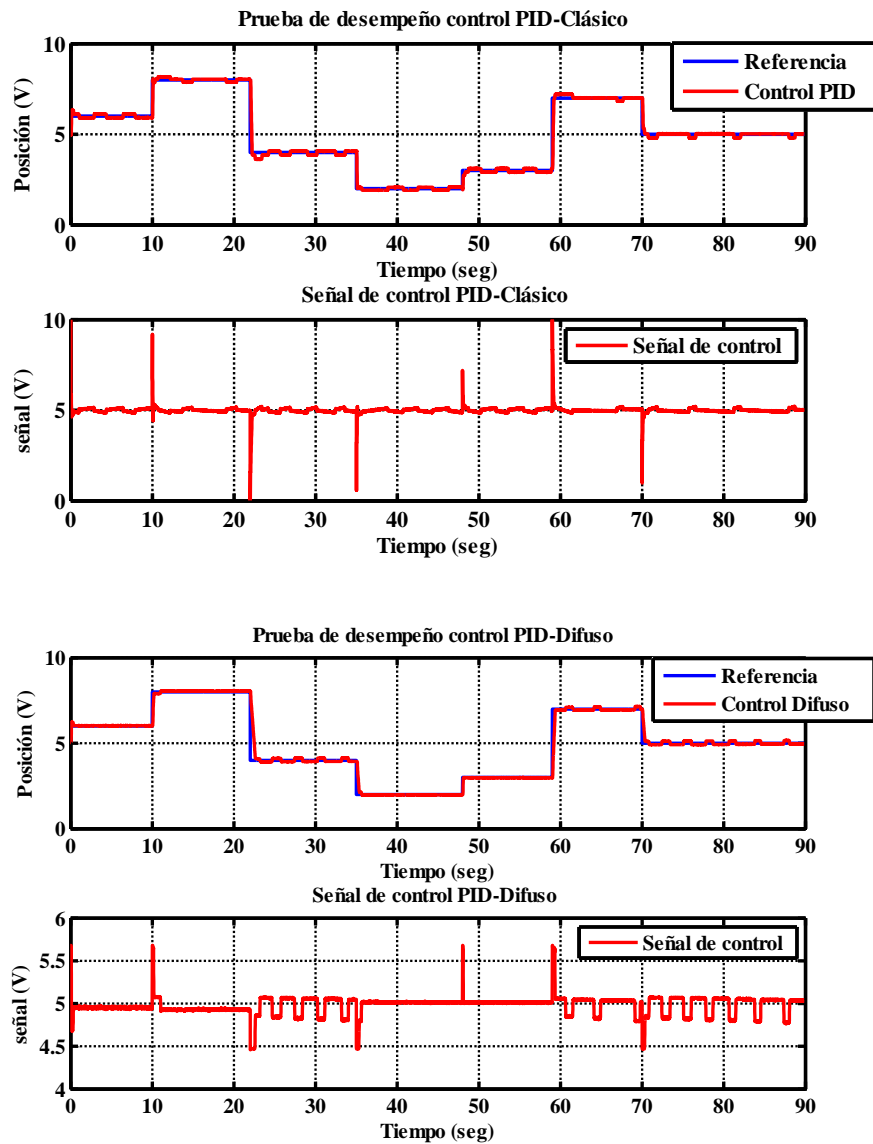


Figura 111. Respuestas de controladores a varios niveles de referencia

Los resultados IAE e ISU de cada controlador se muestran en la Tabla 6, donde se puede observar un valor considerablemente bajo por parte del control difuso con respecto al control PID-Clásico indicando un mejor rendimiento energético del control difuso y una ligera ventaja por parte del control difuso en el posicionamiento del actuador comprobando que este tipo de controladores responden de mejor forma a sistemas no lineales.

| Controlador | Posición IAE | Señal de control ISU |
|-------------|--------------|----------------------|
| PID-Clásico | 875,91 | 431,25 |
| PID-Difuso | 827,4 | 121,23 |

TABLA 6. Índice de rendimiento obtenido de los controladores.

En la Figura 111 se puede observar que para realizar el mismo desplazamiento el control PID-Clásico envía una señal de control con amplitudes cercanas o iguales a ± 5 V mientras que el PID-Difuso envía amplitudes cercanas a $\pm 0,5$ V y a pesar de esta diferencia de amplitudes el actuador alcanza el valor de consigna con ambos controles en un tiempo menor a 0,5 seg, esto se debe a la naturaleza de la Válvula proporcional 5/3 vías que se muestra en la Figura 112 donde se puede observar la relación entre el Voltaje de entrada de la válvula y la presión en las vías de la misma. La válvula obtiene aperturas proporcionales al voltaje de entrada, pero la presión (que es el fenómeno que genera el desplazamiento sobre el actuador) se satura a niveles de voltaje de $\pm 0,7$ V aproximadamente. [18]

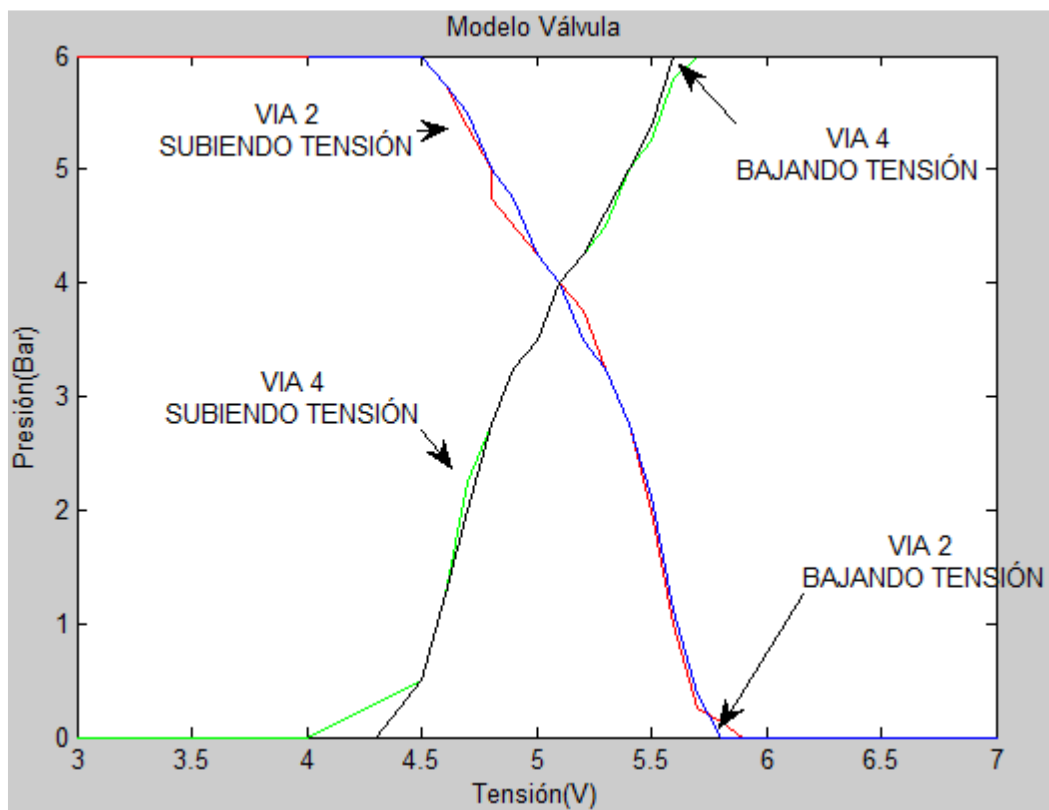


Figura 112. Datos experimentales de la válvula proporcional. [18]

Para observar mejor la diferencia entre las respuestas de ambos controles la Figura 113 muestra un acercamiento de las gráficas y las señales de control de la Figura 111 (segundo 22) donde se aprecia que la señal de control del PID-Clásico tiene mayor amplitud que la señal de control del PID-Difuso pero su duración es mucho menor con una diferencia aproximada de 0,35 seg por lo que el tiempo que tarda el actuador en llegar al punto de consigna bajo el control PID-Cásico es de 0,2 seg mientras que con el control PID-Difuso es de 0,6 seg.

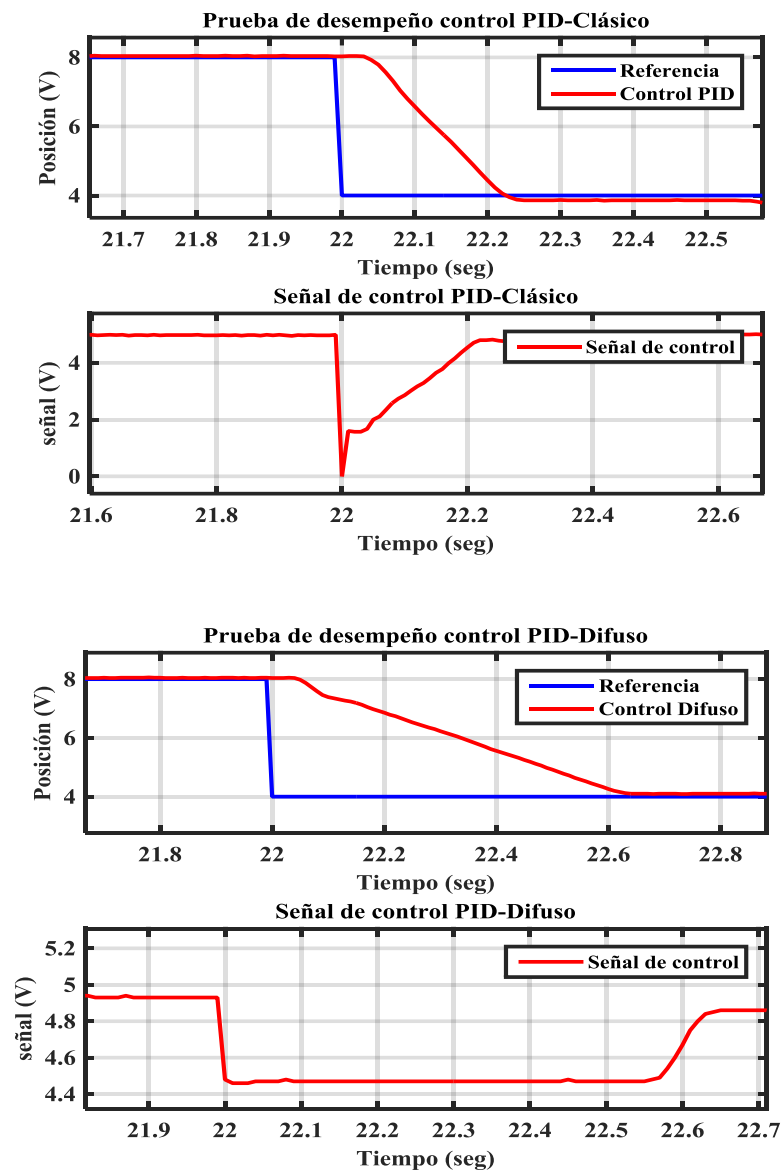


Figura 113. Respuesta del sistema y señal de control PID-Clásico y PID-Difuso

Conclusiones

A lo largo de este proyecto se logró demostrar las ventajas que ofrece la herramienta Ident de Matlab para obtener modelos a partir de la identificación de sistemas de caja negra (black box model).

Para realizar la identificación fue necesario excitar el sistema a lazo abierto con una señal de entrada de tipo PRBS donde se evidenció que la amplitud y duración de esta señal era de mucha consideración para que el sistema no llegue a zonas de saturación y mantener en un punto de equilibrio.

Al validar los modelos lineales obtenidos por la herramienta Ident se observó que la planta tiene características de sistemas no lineales, por lo que fue necesario realizar una identificación no lineal obteniendo mejores resultados que las identificaciones lineales.

A pesar de obtener un modelo no lineal se tiene que aproximar el modelo a uno lineal para trabajar el diseño de controladores PID-Clásicos en la herramienta Sisotool de Matlab, que luego fueron simulados con el modelo no lineal para ver su respuesta, y al ser implementados en el sistema real se evidenció que cumple de manera aceptable con la rapidez de respuesta y alcance de referencia aunque suele presentar pequeñas oscilaciones por fricciones en el sistema y otras no linealidades que no fueron consideradas en este trabajo.

Para el diseño del controlador difuso fue necesario conocer el comportamiento del sistema para crear los grupos de reglas que permitan cumplir con los requerimientos exigidos respondiendo de muy buena forma.

Al ser ambos controladores implementados en Labview fueron comparados con los ejecutados en Simulink demostrando comportamientos similares concluyendo que el comportamiento de los controladores diseñados es aplicable a cualquier plataforma, siendo Labview un software muy amigable y manejable para diferentes usuarios


Luego al realizar el índice de desempeño de ambos controladores se evidencia una ventaja en el control difuso, afirmando una de sus principales características, ser buen controlador para sistemas lineales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Manual de trabajo TP-111 (festo)
- [2] PEARCE, Michael. "Is there an alternative to fluid power?", [Electrically driven linear motion technology], *IEEE Journal of Computing & Control Engineering*, Vol. 16, abril-mayo, 2005, pp. 8-11.
- [3] CREUS, Solé. *Instrumentación Industrial*, 8va Edición, Alfaomega, 2011.
- [4] JCMG, *Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*, 3ra Edición, 2012, pp. 31-32.
- [5] INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA (ISA), *Dynamic response testing of process control instrumentation*. ISA-S26-1968, (1968).
- [6] ELLIS, George. *Guía de diseño del sistema de control Uso del equipo para comprender y diagnosticar los controladores de realimentación (4)*. St. Louis, EEUU.: Butterworth-Heinemann, 2012.
- [7] SUNG, Su Whan y otros. *Identificación del proceso y control PID (1)*. Hoboken, SG: Prensa Wiley-IEEE, 2009.
- [8] OGATA, Katsuhiko. *Ingeniería de control moderna*, 4ta Edición. Pearson educación, 2003.
- [9] LÓPEZ, Kenneth. *Control Systems - Digital Systems*, Global Media, 1era Edición, Delhi, 2006.
- [10] LOTFI, A, Zadeh. *From circuit theory to system*. In Proc. IRE 50, pp 856-865, 1962
- [11] ALVARADO, Pablo. *Señales y sistemas, fundamentos matemáticos*, Editorial CMDB, Costa Rica, 1er Edición, 2013
- [12] mathworks.com (2017). *To Workspace*. Recuperado de <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/toworkspace.html?requestedDomain=www.mathworks.com>
- [13] mathworks.com (2017). *Fuzzy logic designer*. Recuperado de <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzylogicdesigner-app.html>
- [14] PONCE, Pedro. *Inteligencia artificial con aplicaciones a la Ingeniería*. 1era Edición, Alfaomega, México, 2010.

- [15] HAYTHAM, Fayek y ELAMVAZUTHI I. *Type-2 Fuzzy Logic PI (T2FLPI) Based DC Servomotor Control*, Journal of Applied Sciences Research, 8(5): 2564-2574, Malaysia, 2012.
- [16] BONG, Joo Kim y CHUNG, Choo Chung. *Design of Fuzzy PD + I Controller for Tracking Control*, Proceedings of the American Control Conference, Anchorage, AK, Mayo 8-10, 2002.
- [17] A. RODRÍGUEZ, Mariano. *Análisis del Desempeño de Controladores Lineales Sintonizados en Diferentes Estados Estacionarios del Biorreactor de Cholette Mediante Técnicas de Decisión Multi-criterio*, Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol.14 No.1, México, 2015, pp 167-204.
- [18] FUENTES, Manuel. *Modelado y Control Robusto de un Cilindro Neumático*, Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, Madrid, 2009.

ANEXOS

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 1 de 9</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMÁTICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 1

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“ADQUISICIÓN DE DATOS”

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 9</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica la adquisición y generación de datos con el software Labview.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Conocer los bloques de adquisición de datos del software labview.
- ✓ Implementar la adquisición y generación de datos con la tarjeta Mydaq de National Instruments.
- ✓ Observar el funcionamiento de adquisición y generación de datos en el software Labview.


3. MARCO TEÓRICO.

A continuación se describe los bloques de la librería “NI-DAQmx” utilizados para la adquisición de datos en Labview



Figura 1. Librería NI-DAQmx.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 9 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Bloque “DAQmx Create Virtual Channel.vi”.- Este bloque crea un canal virtual y los agrega a una tarea. Uno de los parámetros más relevante para crear el canal es “physical channel” que especifica los nombres de los canales físicos que se utilizarán para crear canales virtuales.

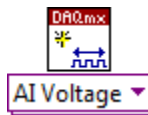


Figura 2. Bloque DAQmx Create Virtual Channel.vi.

Bloque “DAQmx Timing.vi”.- Configura el número de muestras a adquirir o generar y crea un buffer cuando es necesario. Los parámetros relevantes para cumplir con la práctica son “Rate” que especifica la velocidad de muestreo en muestras por canal por segundo, y “Sample Mode” que especifica si la tarea adquiere o genera muestras continuamente o si adquiere o genera un número finito de muestras.

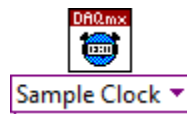



Figura 3. Bloque DAQmx Timing.vi.

Bloque “DAQmx Start Task.vi”.- Inicia la ejecución de la tarea de medición o generación.



Figura 4. Bloque DAQmx Start Task.vi.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 4 de 9</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Bloque “DAQmx Read.vi”.- Lee las muestras de las tareas o de canales virtuales que se especifique y las muestra en el pin “Data”.

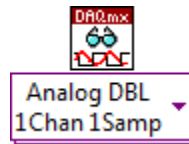


Figura 5. Bloque DAQmx Read.vi.

Bloque “DAQmx Write.vi”.- Escribe las muestras en la tarea o en canales virtuales que se especifique. Y las envía por el pin “Data”.

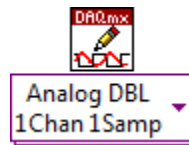



Figura 6. Bloque DAQmx Write.vi.

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. Abra un nuevo VI de Labview y en el panel frontal coloque un control numérico de tipo Slide con una escala de 4,5 a 5,5.
2. En el panel frontal coloque el indicador proporcionado por el docente o en su defecto un indicador de tipo Slide como se muestra en la Figura 7.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 9 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

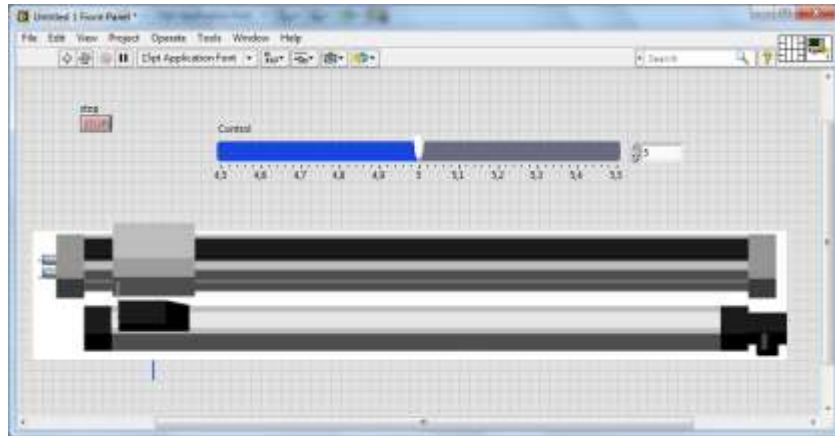



Figura 7. Panel frontal

3. En el diagrama de bloques colocamos una estructura while loop y al botón de paro le agregamos un switch de control.
4. Armamos el diagrama de la Figura 8 con los bloques de la librería “NI-DAQmx.vi” Al bloque “DAQmx Create Virtual Channel.vi” que está conectado al “DAQmx Timing.vi” le configuramos el parámetro “physical channel” con la entrada analógica 0.
5. EL segundo bloque “DAQmx Create Virtual Channel.vi” se configura el parámetro “physical channel” como salida analógica 0.
6. El “Sample Mode” del “DAQmx Timing.vi” se lo configura como muestras continuas, mientras el “Rate” en 100 ya que está dado en muestras por segundo, equivalente a un tiempo de muestreo de 10 ms.
7. El bloque “DAQmx Read.vi” se lo configura como un canal simple analógico, de muestras simples y de tipo DBL, al igual que bloque “DAQmx Write.vi”.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 6 de 9</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

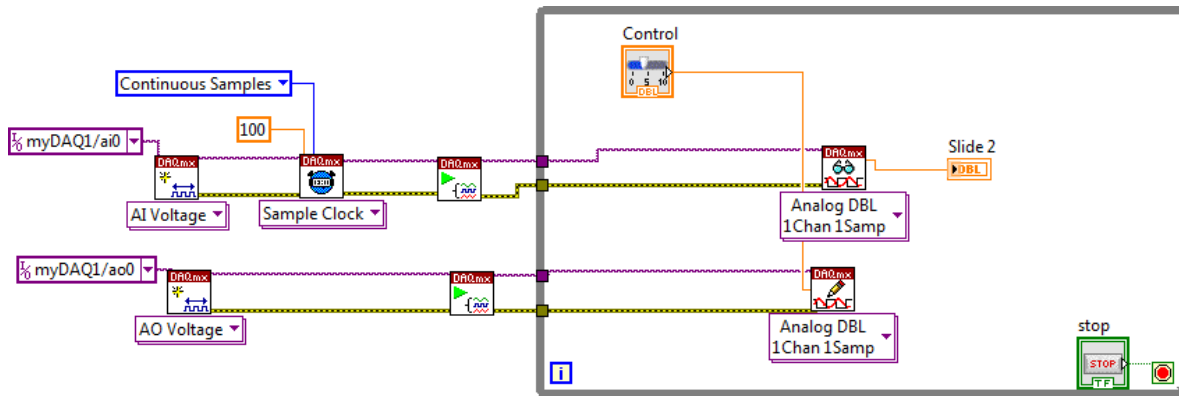


Figura 8 Diagrama de bloque.

8. En el sistema neumático se realizan las conexiones con la tarjeta mydaq que se muestran en la Figura 9

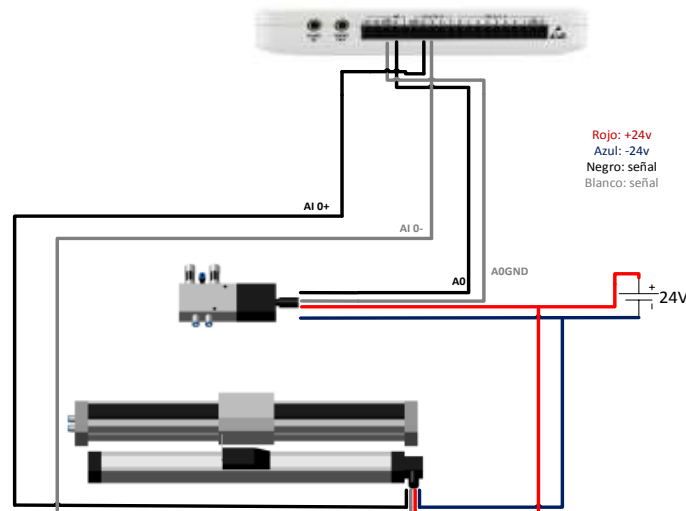



Figura 9. Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

9. Se ejecuta el Vi en donde podemos observar que el actuador lineal se desplaza hacia un sentido cuando el controlador tipo Slide está en valores menores a 5, cuando es igual

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 7 de 9 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

a 5 el actuador no se desplaza y cuando son valores mayores a 5 se desplaza hacia el otro sentido.

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

6. RESULTADOS

Cuando el control de tipo SLIDE es menor a 5 el actuador se desplaza en un sentido como se observa en la Figura 10.

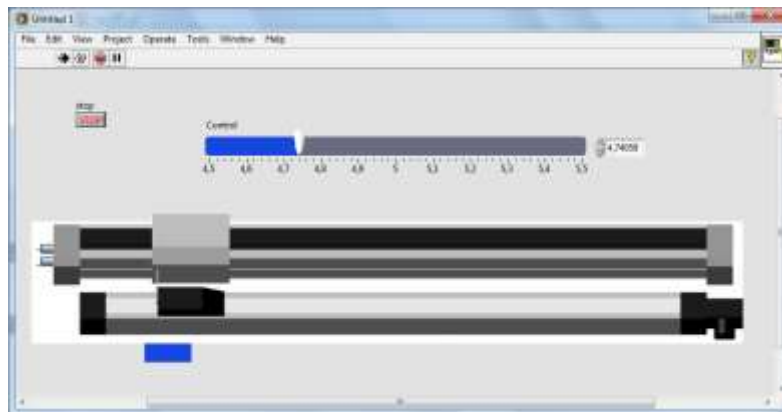



Figura 10. Desplazamiento del sistema con señal menor a 5 v.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 8 de 9 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Cuando el control de tipo SLIDE es igual a 5 el actuador no se desplaza en un ningún sentido Como se observa en la Figura 11.

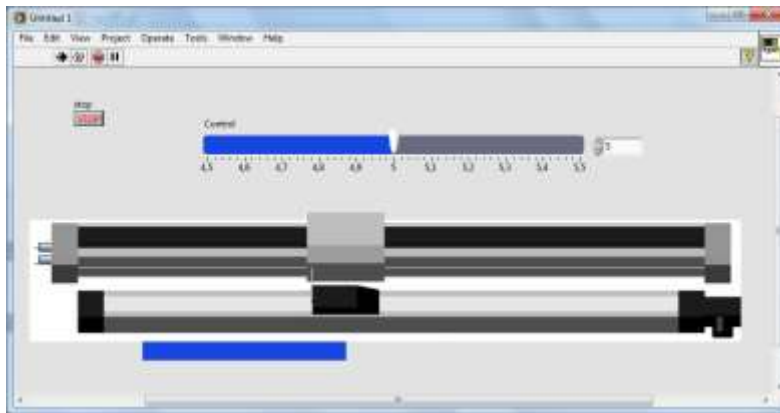


Figura 11. Desplazamiento del sistema con señal igual a 5 v.

Cuando el control de tipo SLIDE es menor a 5 el actuador se desplaza hacia el otro sentido como se observa en la Figura 12.

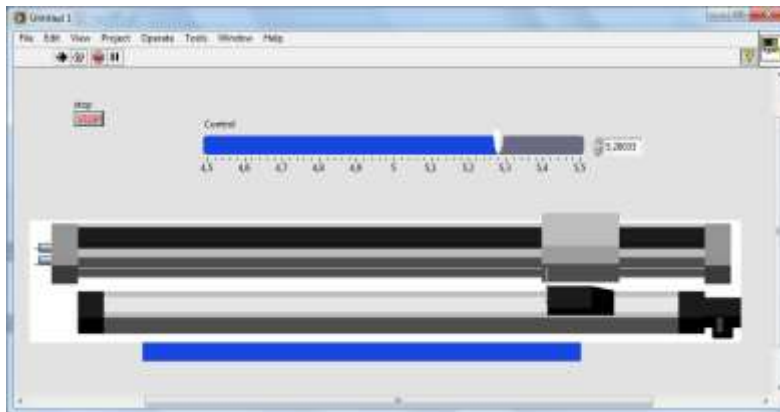



Figura 12. Desplazamiento del sistema con señal mayor a 5 v.


| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 9 de 9</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ Bishop, R. H.: “LabVIEW 8 Student Edition, 1/e”, National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 1 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 2

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR PROPORCIONAL (P)”

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Encontrar la constante proporcional mediante el lugar geométrico de las raíces en la aplicación Sisotool de Matlab.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional.

3. MARCO TEÓRICO.


Sisotool.- La herramienta de diseño SISO es una interfaz gráfica de usuario (GUI) para diseñar compensadores.

La herramienta de diseño SISO tiene los siguientes componentes:

El nodo de tareas de diseño de SISO en el Administrador de herramientas de control y estimación, una interfaz de usuario (UI) que facilita el diseño de compensadores para una sola entrada, una sola salida de realimentación bucles a través de una serie de paneles interactivos.

La ventana gráfica de ajuste, una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar y manipular el lugar geométrico de las raíces para el controlador que se está diseñando actualmente.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 3 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Control P.- La acción proporcional entrega una señal a la planta correspondiente al error multiplicada por una ganancia proporcional que puede ser ajustada (K_p) pero esta acción de control es limitada y puede poseer un error de offset.

$$u = K_p e$$

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. El diseño del controlador P se realiza sobre la función de transferencia lineal del sistema (G) con la herramienta Sisotool de Matlab mediante el comando Sisotool (G).

$$G = \frac{0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673}{s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s}$$

2. Abrimos la ventana Sisotool

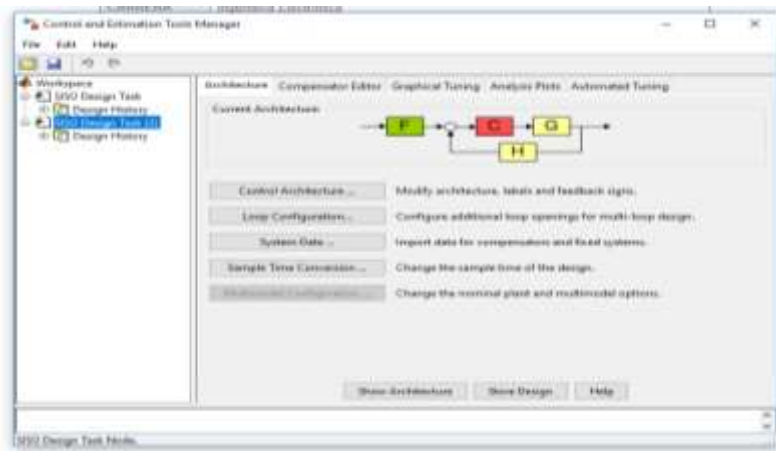



Figura 1: Control and Estimation Tools Manager

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 7 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

3. Seleccionamos la opción “Compensator Editor”

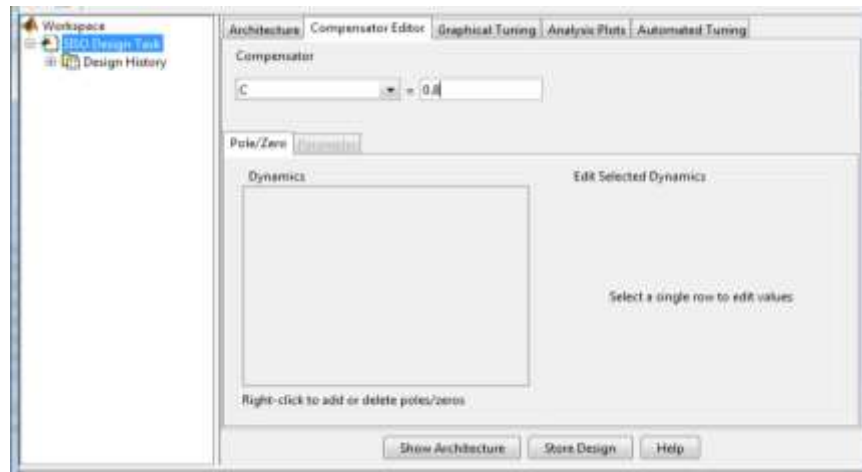



Figura 2: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

4. Para el control proporcional (P) solo se tiene que mover las raíces ya que con esto se consigue variar la ganancia hasta que la respuesta del sistema quede con un error de estado estable de 0, un tiempo de respuesta menor a 0.5 seg y un nivel de overshoot bajo. Con una ganancia del compensador de 0.8 se logra la respuesta esperada, siendo la ganancia del compensador la constante Proporcional.

$$k_p = 0.8$$

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 5 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

5. Se realizan las conexiones en el sistema neumático que se muestran en la Figura 3

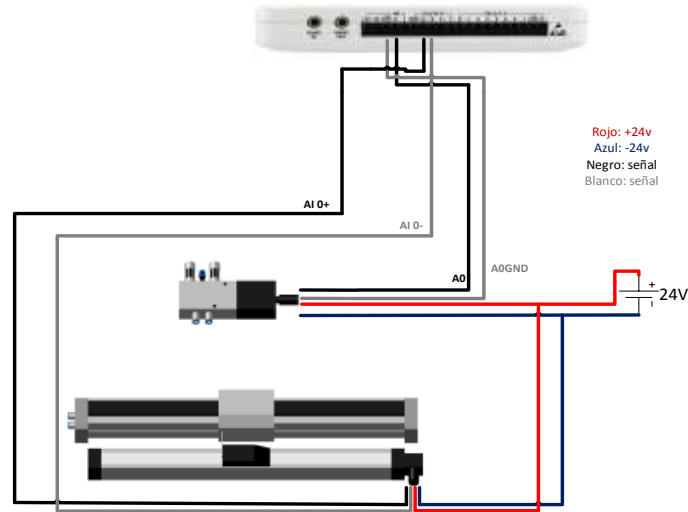



Figura 3: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

6. Para este paso tenemos que abrir el VI de Labview que nos facilita el docente para poder probar el resultado obtenido en el paso anterior



Figura 2: Panel Frontal de Labview para el control P

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 6 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE MATLAB
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

6. REGISTRO DE RESULTADOS

Al ejecutar el Programa de control Proporcional de Labview e ingresar una señal de referencia de tipo paso podemos observar la respuesta del sistema que se muestra en la Figura 3 donde observamos que se encuentra aproximada a la señal de referencia.

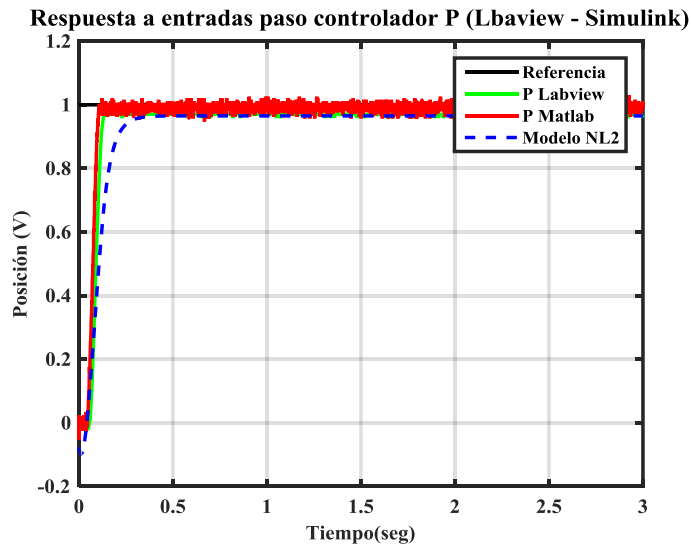



Figura 3: Respuesta a entrada paso controlador P


| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 7 de 7</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 3

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR PROPORCIONAL + INTEGRAL (PI)”

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional + integral de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Encontrar la constante proporcional + integral mediante el lugar geométrico de las raíces en la aplicación Sisotool de Matlab.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional + integral de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional + integral.

3. MARCO TEÓRICO.


Sisotool.- La herramienta de diseño SISO es una interfaz gráfica de usuario (GUI) para diseñar compensadores.

La herramienta de diseño SISO tiene los siguientes componentes:

El nodo de tareas de diseño de SISO en el Administrador de herramientas de control y estimación, una interfaz de usuario (UI) que facilita el diseño de compensadores para una sola entrada, una sola salida de realimentación bucles a través de una serie de paneles interactivos.

La ventana gráfica de ajuste, una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar y manipular el lugar geométrico de las raíces para el controlador que se está diseñando actualmente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Control PI.- El segundo tipo de control es el PI que junta dos acciones, tanto la proporcional como la integral. Debido a la acción integral un error pequeño ya sea positivo o negativo dará una señal de control creciente o decreciente, haciendo que el error se haga cero y el sistema busque la referencia. Muchos sistemas en la industria usan controles PI que permiten cumplir con las necesidades siempre y cuando se de una dinámica del sistema de primer orden.

$$u = Kp e + Ki \int e dt$$

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. El diseño del controlador PI se realiza sobre la función de transferencia lineal del sistema (G) con la herramienta Sisotool de Matlab mediante el comando Sisotool (G).

$$G = \frac{0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673}{s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s}$$

2. Abrimos la ventana Sisotool

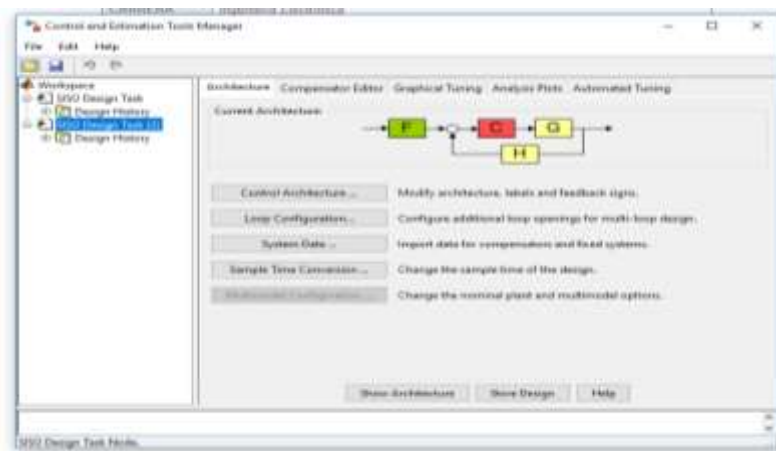



Figura 1: Control and Estimation Tools Manager

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

3. Seleccionamos la opción "Compesator Editor"

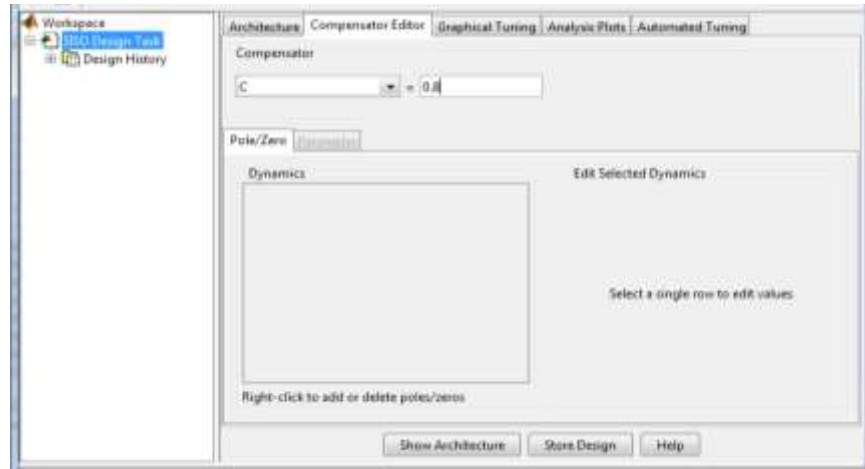


Figura 2: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

4. Al igual que el controlador proporcional se utiliza la herramienta Sisotool para hallar las constante K_p y K_i para el controlador PI. Para esto se agrega un integrador y un cero a nuestro compensador como se observa en la Figura 3 y se mueven las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver figura 4).

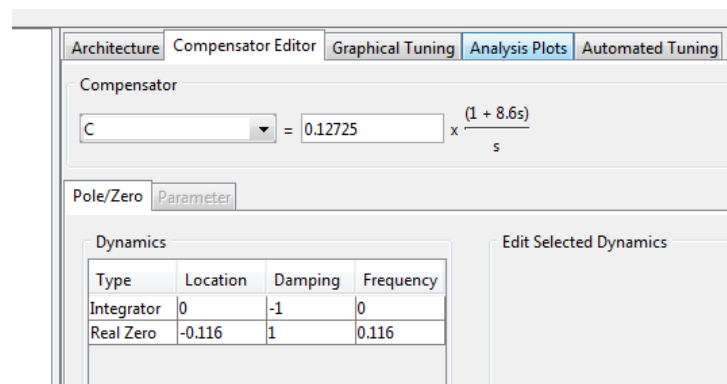



Figura 3. Ventana "Control and estimation Tools manager", ecuación de compensador PI

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 5 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

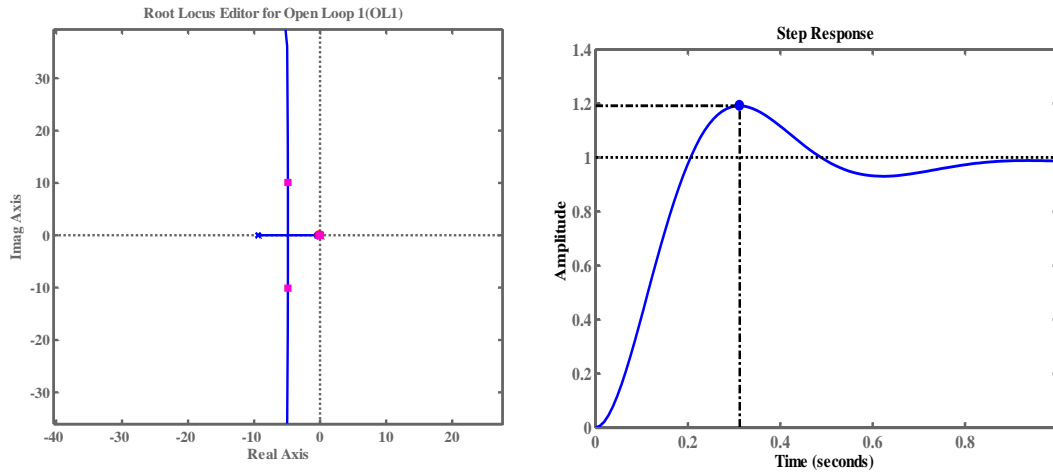


Figura 4. Compensador PI LGR – Respuesta al paso

5. Recordando que la función de transferencia del control PID es la suma de todas las acciones de control, que es la multiplicación de la constante proporcional K_p por el error, más la constante integral K_i por la integral del error y más la constante derivativa K_d por la tasa de cambio del error como se muestra en la ecuación (3.2). Se puede representar el controlador en el espacio s como se muestra en la ecuación (3.3).


$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (3.2)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (3.3)$$

Conociendo que K_d es igual a 0 nos queda la ecuación (3.4).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (3.4)$$

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 6 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Tomando en cuenta la ecuación (3.5) del compensador PI se halla fácilmente las constantes K_p y K_i para nuestro controlador.

$$C = 0.12725 * \frac{(1+8.6s)}{s} = \frac{1.09435s+0.12725}{s} = 1.09435 + \frac{0.12725}{s} \quad (3.5)$$

Siendo las constantes:

$$K_p = 1.09435$$

$$K_i = 0.12725$$

6. En el sistema neumático se realizan las conexiones que se muestran en la Figura 3

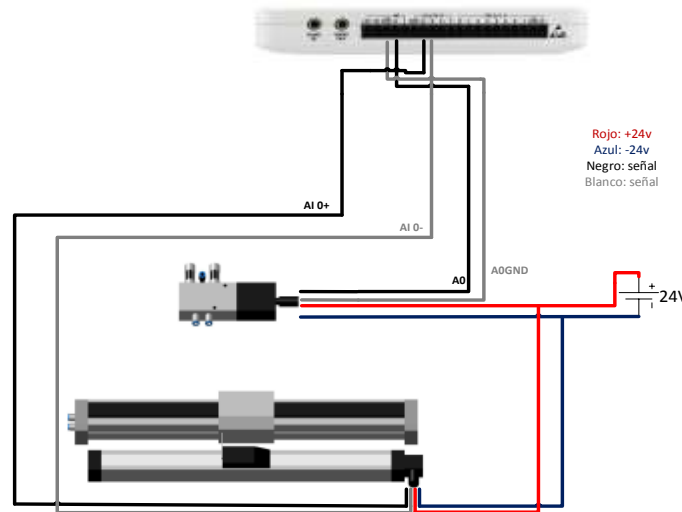


Figura 5: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

7. Para este paso tenemos que abrir el software Labview y abrimos el VI que nos facilita el docente para poder probar el resultado obtenido en el paso anterior

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 7 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |




Figura 6: Panel Frontal de Labview para el control PI

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW
- ✓ SOFTWARE MATLAB

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 8 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. REGISTRO DE RESULTADOS

A continuación se muestra la gráfica obtenida en el software Labview:

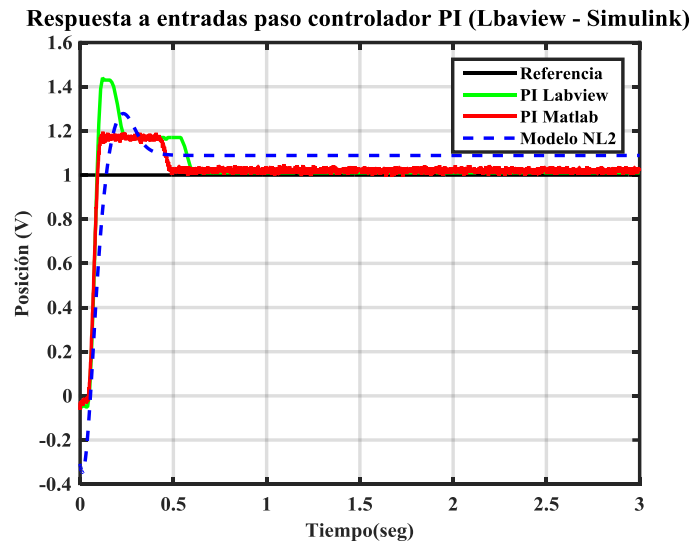



Figura 7: Respuesta a entrada pasó controlador PI

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 4

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

**“CONTROLADOR PROPORCIONAL+ DERIVATIVO
(PD)”**

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional + derivado de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Encontrar la constante proporcional + derivado mediante el lugar geométrico de las raíces en la aplicación Sisotool de Matlab.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional + derivado de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional + derivado.

3. MARCO TEÓRICO.


Sisotool.- La herramienta de diseño SISO es una interfaz gráfica de usuario (GUI) para diseñar compensadores.

La herramienta de diseño SISO tiene los siguientes componentes:

El nodo de tareas de diseño de SISO en el Administrador de herramientas de control y estimación, una interfaz de usuario (UI) que facilita el diseño de compensadores para una sola entrada, una sola salida de realimentación bucles a través de una serie de paneles interactivos.

La ventana gráfica de ajuste, una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar y manipular el lugar geométrico de las raíces para el controlador que se está diseñando actualmente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 3 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Control PD.- En el control PD interviene la acción derivativa donde por la acción derivativa existe una relación lineal entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control, por lo que se dice que esta acción es proporcional a la pendiente de la variable [3].

$$u = Kpe + Kd \frac{de}{dt}$$

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. El diseño del controlador PI se realiza sobre la función de transferencia lineal del sistema (G) con la herramienta Sisotool de Matlab mediante el comando Sisotool (G).

$$G = \frac{0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673}{s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s}$$

2. Abrimos la ventana Sisotool

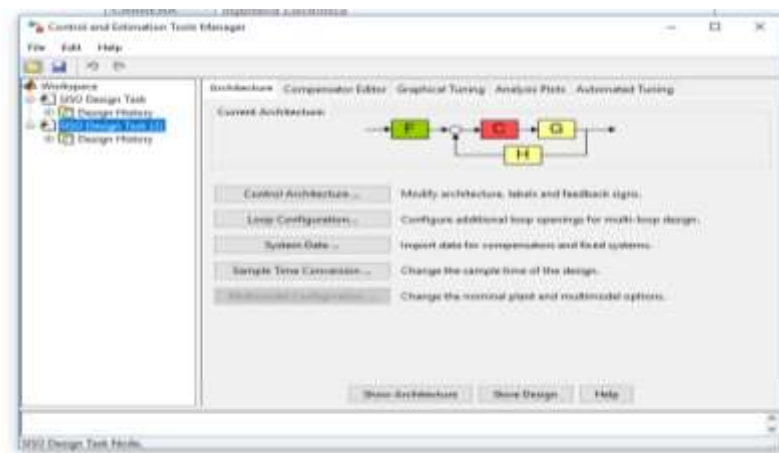



Figura 1: Control and Estimation Tools Manager

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

3. Seleccionamos la opción "Compesator Editor"



Figura 2: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

4. Para este controlador se agrega un cero a nuestro compensador como se observa en la Figura 2, luego se mueven las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver figura 3).

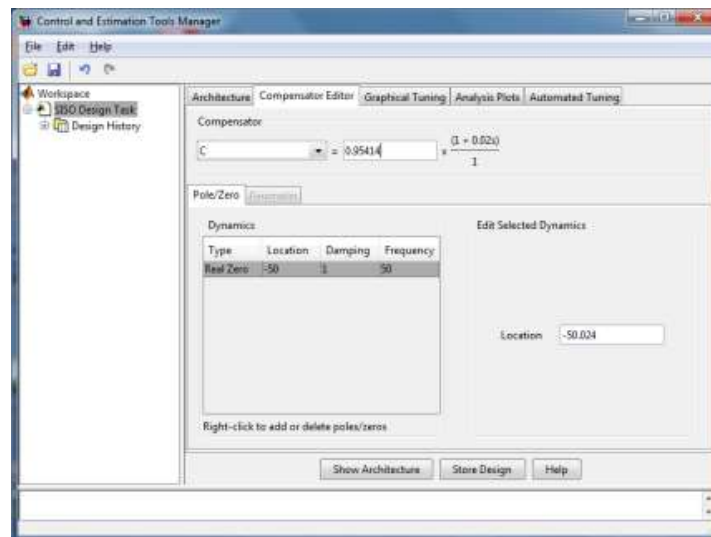



Figura 3. Ventana "Control and estimation Tools manager", ecuación de compensador PD

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

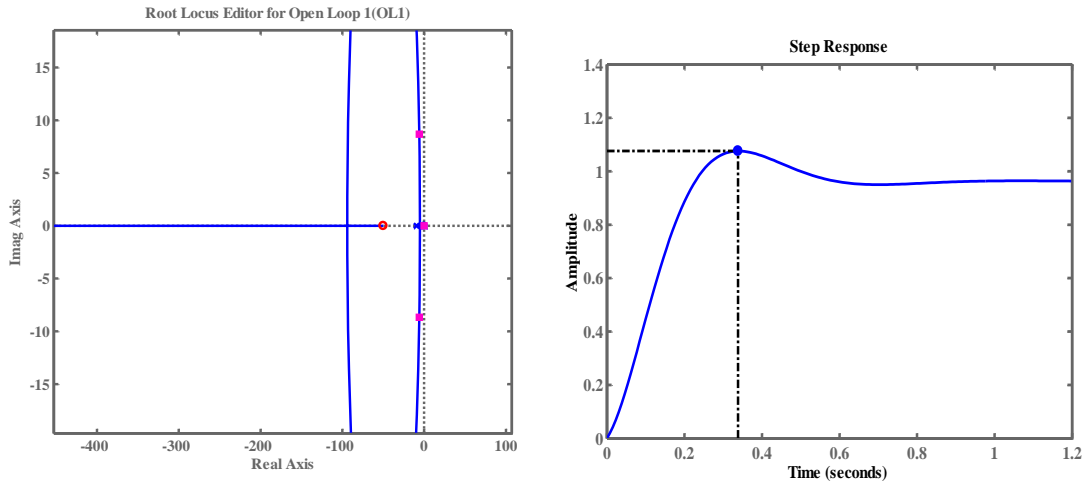


Figura 4. Compensador PD LGR – Respuesta al paso

5. Conociendo que esta vez K_i es igual a 0 tenemos que el controlador queda como indica la ecuación (3.6).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p + K_d s \quad (3.6)$$

Para hallar las constantes K_p y K_d del controlador se toma la ecuación (3.7) del compensador PD


$$C = 0.95414 * \frac{(1+0.02s)}{1} = 0.95414 + 0.0190828s \quad (3.7)$$

Quedando las constantes del controlador

$$K_p = 0.95414$$

$$K_d = 0.0190828$$

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 6 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. En el sistema neumático se realizan las conexiones que se muestran en la Figura 4.

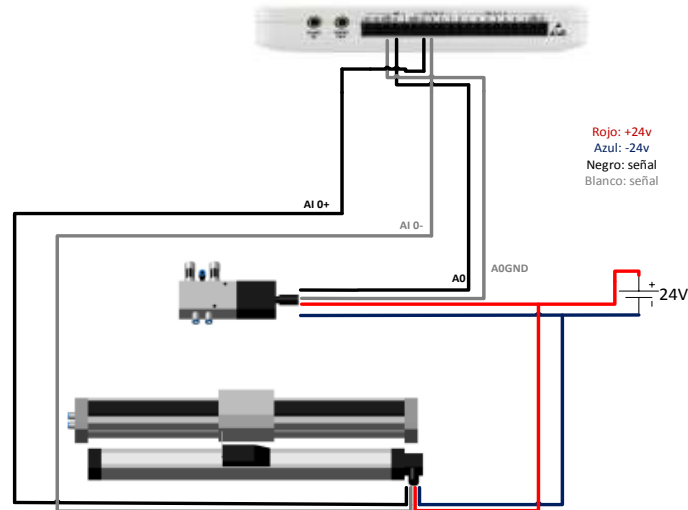



Figura 5: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

7. Para este paso tenemos que abrir el software Labview y abrimos el VI que nos facilita el docente para poder probar el resultado obtenido en el paso anterior



Figura 6: Panel Frontal de Labview para el control PD

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 7 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW
- ✓ SOFTWARE MATLAB

6. REGISTRO DE RESULTADOS

A continuación se muestra la gráfica obtenida en el software Labview:

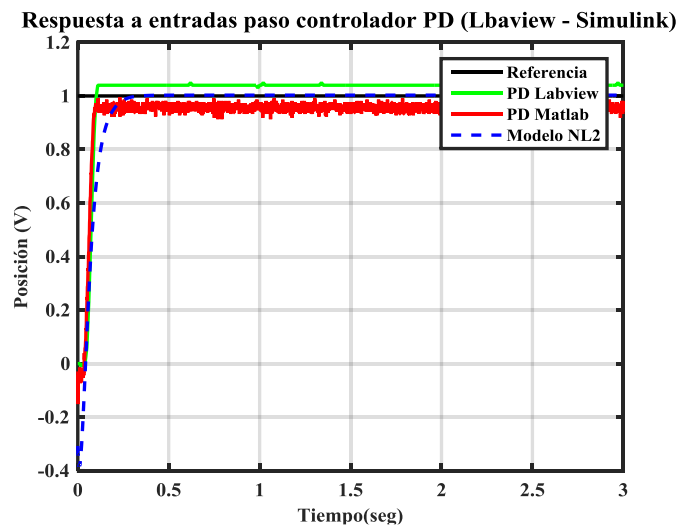



Figura 7: Respuesta a entrada pasó controlador PD


| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 8 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ Bishop, R. H.: “LabVIEW 8 Student Edition, 1/e”, National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 5

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

**“CONTROLADOR PROPORCIONAL + INTEGRAL +
DERIVADO (PID)”**

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional + integral + derivado de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Encontrar la constante proporcional + integral + derivado mediante el lugar geométrico de las raíces en la aplicación Sisotool de Matlab.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional + integral + derivado de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional + integral + derivado.

3. MARCO TEÓRICO.


Sisotool.- La herramienta de diseño SISO es una interfaz gráfica de usuario (GUI) para diseñar compensadores.

La herramienta de diseño SISO tiene los siguientes componentes:

El nodo de tareas de diseño de SISO en el Administrador de herramientas de control y estimación, una interfaz de usuario (UI) que facilita el diseño de compensadores para una sola entrada, una sola salida de realimentación bucles a través de una serie de paneles interactivos.

La ventana gráfica de ajuste, una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar y manipular el lugar geométrico de las raíces para el controlador que se está diseñando actualmente.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 3 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Control PID.- El control PID es la combinación de tres acciones de control, la acción Proporcional, la acción integral y la acción derivativa donde estas acciones pueden derivar en controles P, PI, PD y PID.

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. El diseño del controlador PI se realiza sobre la función de transferencia lineal del sistema (G) con la herramienta Sisotool de Matlab mediante el comando Sisotool (G).

$$G = \frac{0.02292 s^2 + 112.2 s - 0.001673}{s^3 + 9.822 s^2 + 4.132 s}$$

2. Abrimos la ventana Sisotool

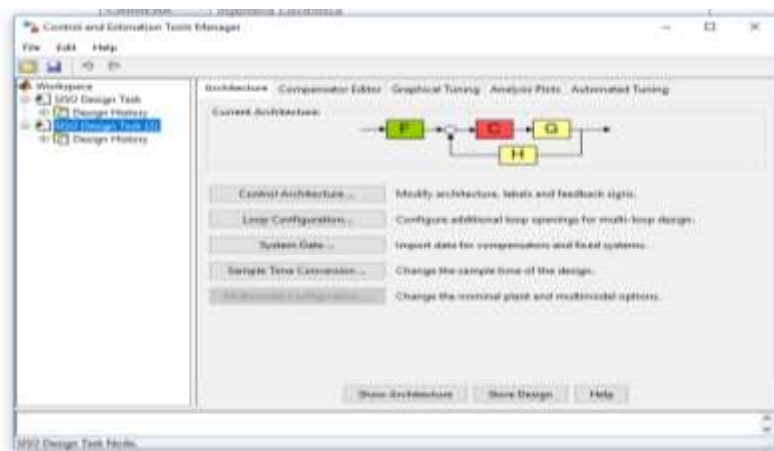



Figura 1: Control and Estimation Tools Manager

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |


3. Seleccionamos la opción "Compesator Editor"



Figura 2: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

4. Para este controlador se agrega un Integrador y dos ceros al compensador como se observa en la Figura 3 y movemos las raíces para lograr una buena respuesta del sistema (ver Figura 4).

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 8 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

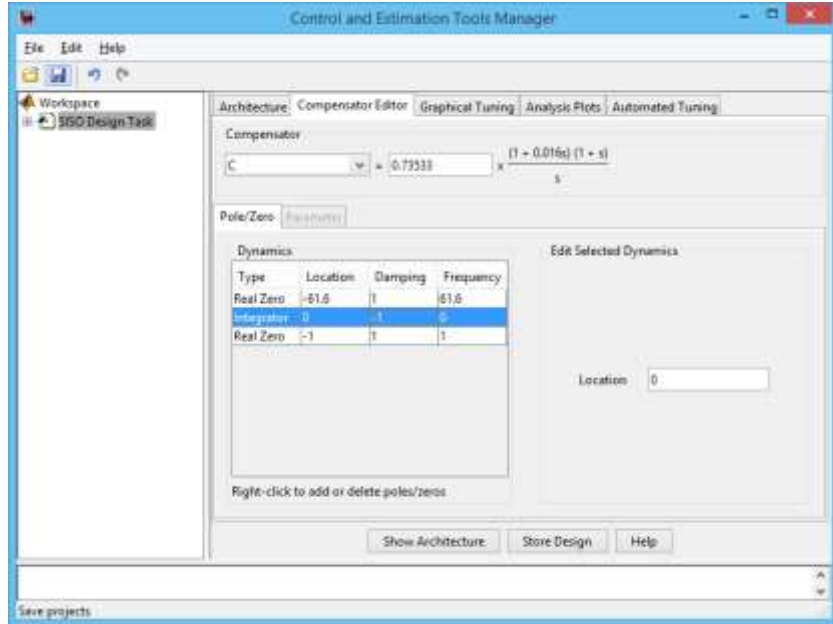


Figura 3. Ventana “Control and estimation Tools manager”, ecuación de compensador PID

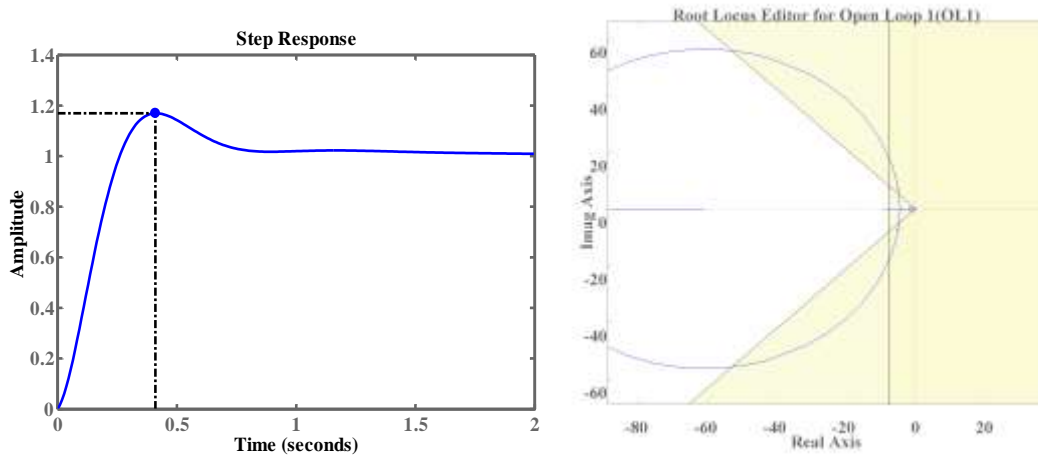



Figura 4. Compensador PID LGR – Respuesta al paso

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 6 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| | | LABORATORIO | Fabricación Flexible |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

5. Para hallar las constantes K_p , K_i y K_d del controlador observamos la ecuación (3.8) del compensador PID

$$C = 0.73533 * \frac{(1+0.016s)(1+s)}{s} = \frac{0.016s^2+0.75133s+0.73533}{s} \quad (3.8)$$

Y las constantes son las siguientes:

$$K_p = 0.75133$$

$$K_i = 0.73533$$

$$K_d = 0.011937$$

6. En el sistema neumático se realizan las conexiones que se muestran en la Figura 5.

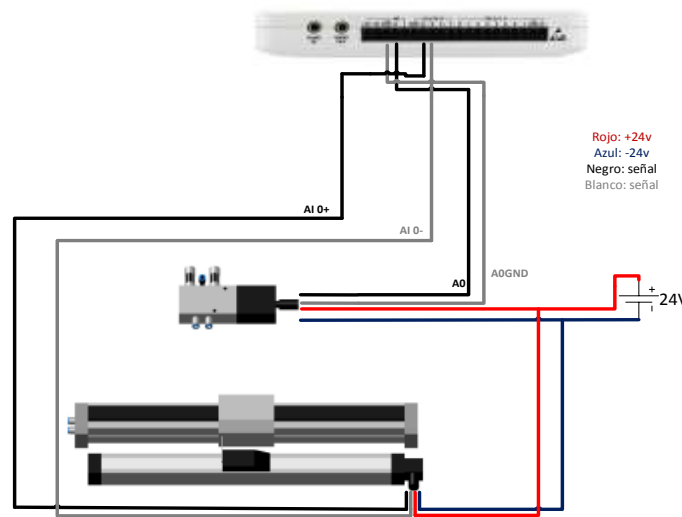


Figura 5: Editor de compensador de la herramienta de control y estimación

7. Para este paso tenemos que abrir el software Labview y abrimos el VI que nos facilita el docente para poder probar el resultado obtenido en el paso anterior

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 7 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |




Figura 6: Panel Frontal de Labview para el control PID

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW
- ✓ SOFTWARE MATLAB

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 8 de 8</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. REGISTRO DE RESULTADOS

A continuación se muestra la gráfica obtenida en el software Labview:

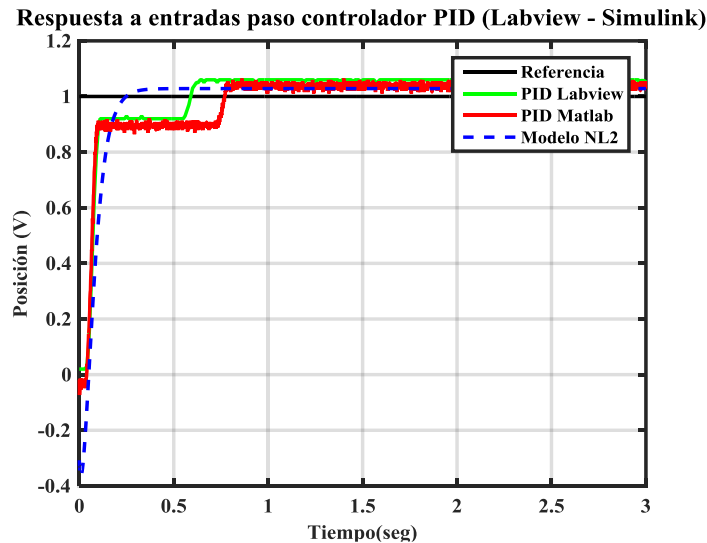



Figura 7: Respuesta a entrada pasó controlador PID

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 1 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 6

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR P-DIFUSO”

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 2 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional difuso (P-Difuso) de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.


2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Diseñar un sistema de inferencias difusas para un control P-Difuso.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional difuso de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional difuso (P-Difuso).

3. MARCO TEÓRICO

La lógica difusa consta de tres etapas, la primera de ellas es la fusificación que consiste en pasar de un 0 y 1 booleano o binario a un rango de valores entre 0 y 1 donde se busca determinar en qué grado de valor que se está adquiriendo pertenece a un conjunto difuso. La segunda etapa es la de inferencia donde se proponen un conjunto de reglas lingüísticas que son la guía para que el sistema se comporte correctamente. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia caracterizando la salida, la tercera etapa se la conoce como defusificación donde se determinan los valores óptimos de salida y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de pertenencia, a un valor real.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Tipo de Funciones de membresía.- Existen varios tipos de funciones de membresía, las más utilizadas en la práctica son la triangular, trapezoidal o PI, forma de campana, Gaussiana y función sigmoïdal.

Fuzzy System Designer - Labview.- El diseño de los controladores difusos se realiza en el diseñador de sistemas difusos de Labview que se muestra en la Figura 1. En este diseñador se puede configurar las variables lingüísticas tanto de entrada como salida de un sistema difuso, además de configurar las reglas y los métodos de defusificación, entre otras características, que emplean en el sistema.

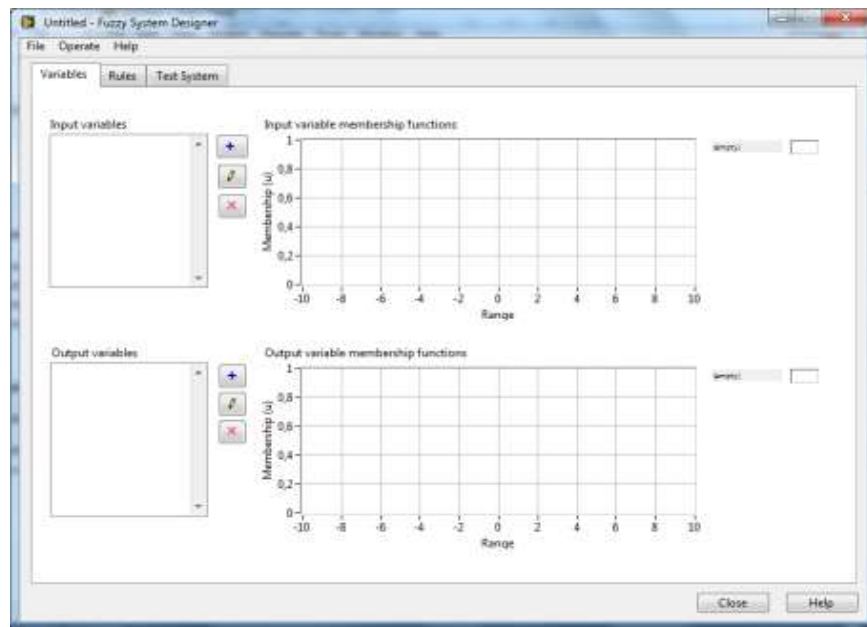


Figura 1. Fuzzy System designer – Labview.

A continuación se describe los bloques de la librería “Fuzzy Logic” de “control design & Simulation” utilizados para el desarrollo de esta practica

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |



Figura 2. Librería Fuzzy Logic.

Bloque “Load Fuzzy System.vi.”- Este bloque carga un sistema difuso desde un archivo .fs creado previamente. El parámetro “File path” Especifica la ruta de acceso al archivo .fs.




Figura 3. Bloque “Load Fuzzy System.vi”

Bloque “Fuzzy Controller (MISO).vi.”- Implementa un controlador de lógica difusa para el sistema difuso que especifique. Especifica los valores de las variables de entrada en el sistema difuso. El controlador de lógica difusa evalúa el valor o valores de salida de acuerdo con los valores de entrada y las reglas del sistema difuso. El parámetro “Inputs Value” es la entrada de controlador mientras el parámetro “Output Value” entrega la señal de control del sistema Difuso.



Figura 4. Bloque “Fuzzy Controller.vi”

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |


4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. Para abrir el diseñador de sistemas de inferencias difusas de Labview damos clic en “Tool” que se encuentra sobre la barra de menú, luego en “Control Design and Simulation” y a “Fuzzy System Designer”. Lo que abre la ventana de la Figura 1.

2. Agregamos una variable de entrada correspondiente al error con tres funciones de membresía con un rango de -10 a 10 como se observa en la Figura 5, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de -10, -10, -1 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0.4, 0 y 0.4. y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 0, 1, 10, 10.

3. Agregamos una variable de salida correspondiente a la señal de control con tres funciones de membresía con un rango de -3 a 7 como se observa en la Figura 5, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de 0, 0, 4 y 5. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -4.6, 5 y 5.4. y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 5, 6, 10, 10.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 6 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

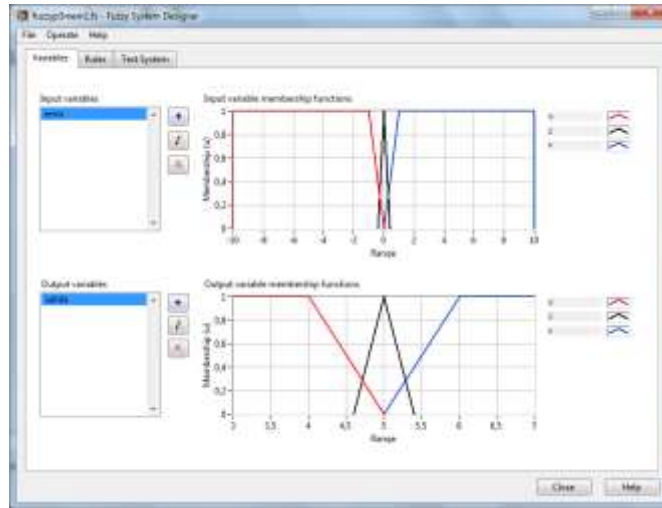


Figura 5. Funciones de membresía para control P-Difuso.

4. Se crean un conjunto de reglas con operador lógico and que se muestra en la Figura 6.

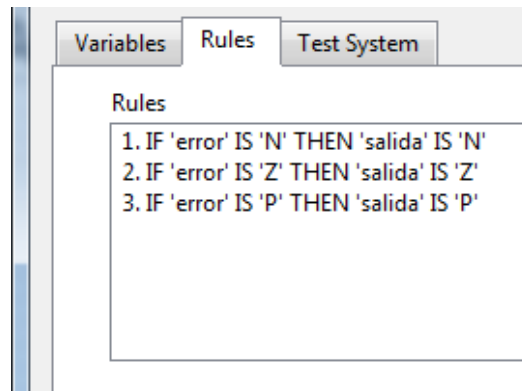



Figura 6. Reglas para controlador P-Difuso.

5. Guardamos el archivo con extensión .Fs para luego ser cargado en un VI.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 7 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. Abrimos el VI de control P-Difuso proporcionado por el docente que se muestra en la Figura 7 donde observamos que hay una ganancia proporcional que en este caso es de 0,26.

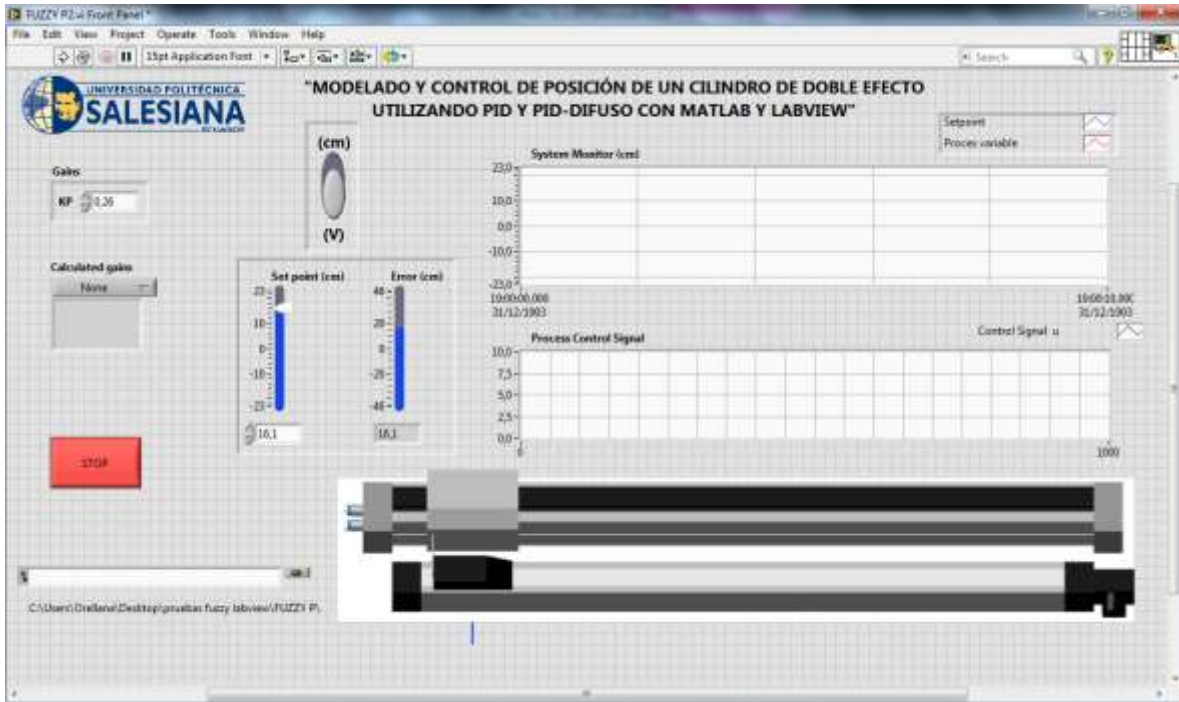



Figura 7. Panel Frontal de control P-Difuso

7. El diagrama de bloque se muestra en la Figura 8. Donde se puede observar que a la entrada del bloque “Fuzzy Controller.vi” ingresa la diferencia entre el estado actual o PV y el valor de referencia o SV.

8. El siguiente paso es cargar el sistema de inferencias difusas para el control P-Difuso, por lo que tenemos que llenar el “file path” con el nombre del archivo .fs que guardamos anteriormente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|----------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 8 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

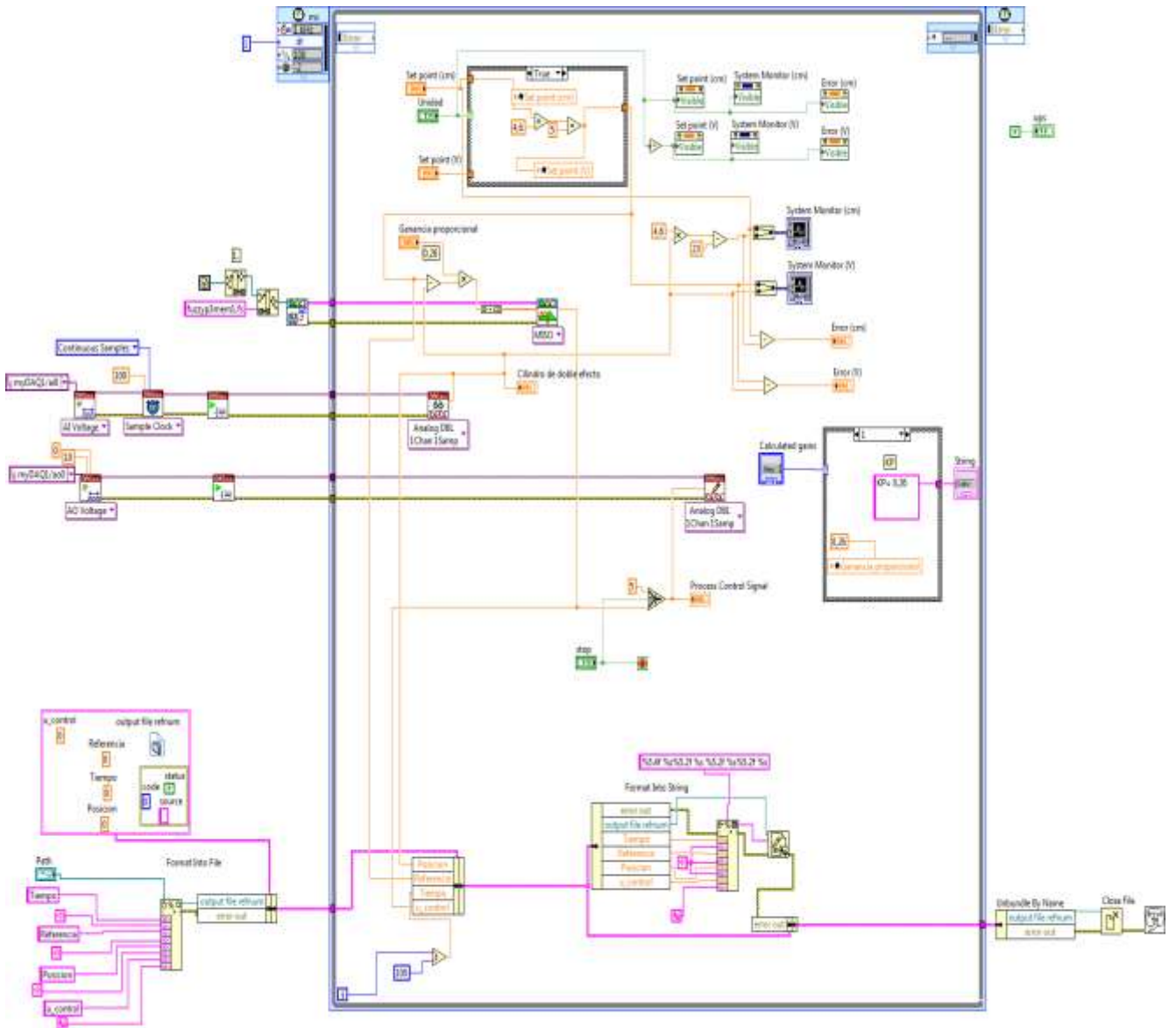



Figura 8. Diagrama de bloque De control P-Difuso – Labview.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 9 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

9. En el sistema neumático se realizan las conexiones con la tarjeta Mydaq que se muestran en la Figura 9

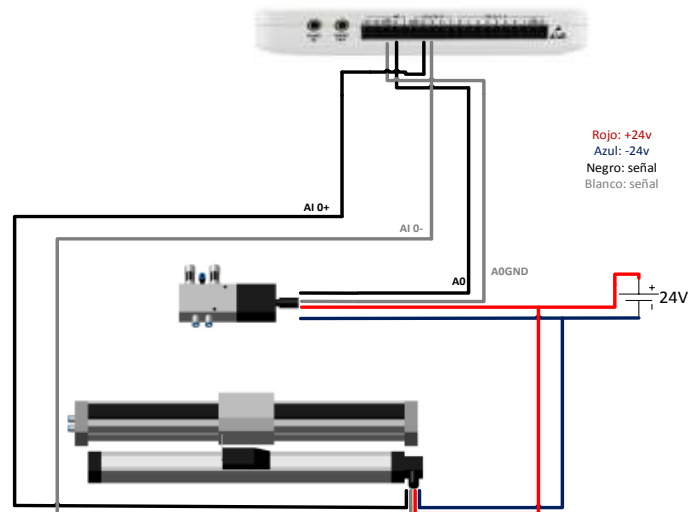



Figura 9 Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

10. una vez realizada la conexión se procede a ejecutar el control y se observa como realiza el cambio de posición el actuador lineal.

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 10 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. RESULTADOS

Al ejecutar el Programa de control Proporcional de Labview e ingresar una señal de referencia de tipo paso podemos observar la respuesta del sistema que se muestra en la Figura 10 donde observamos que se encuentra aproximada a la señal de referencia.

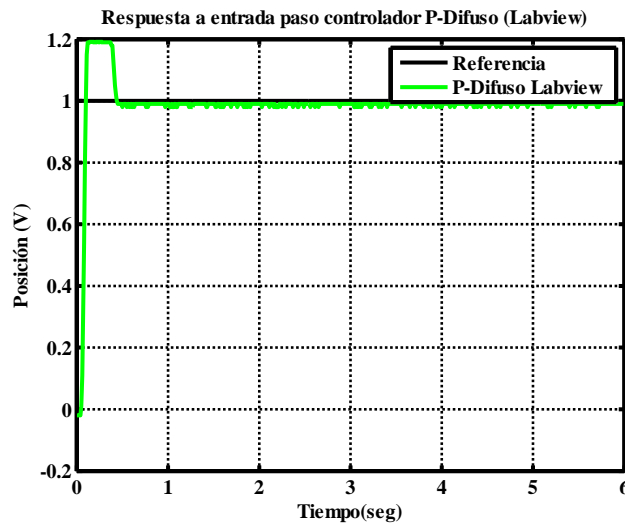



Figura 10: Respuesta a entrada paso controlador P-Difuso

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ PONCE, Pedro. Inteligencia artificial con aplicaciones a la Ingeniería. 1era Edición, Alfaomega, México, 2010.
- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 7

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR PI-DIFUSO”

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional Integral difuso (PI-Difuso) de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.


2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Diseñar un sistema de inferencias difusas para un control PI-Difuso.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional integral difuso de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional Integral difuso (PI-Difuso).

3. MARCO TEÓRICO

La lógica difusa consta de tres etapas, la primera de ellas es la fusificación que consiste en pasar de un 0 y 1 booleano o binario a un rango de valores entre 0 y 1 donde se busca determinar en qué grado de valor que se está adquiriendo pertenece a un conjunto difuso. La segunda etapa es la de inferencia donde se proponen un conjunto de reglas lingüísticas que son la guía para que el sistema se comporte correctamente. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia caracterizando la salida, la tercera etapa se la conoce como defusificación donde se determinan los valores óptimos de salida y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de pertenencia, a un valor real.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Tipo de Funciones de membresía.- Existen varios tipos de funciones de membresía, las más utilizadas en la práctica son la triangular, trapezoidal o PI, forma de campana, Gaussiana y función sigmoïdal.

Fuzzy System Designer - Labview.- El diseño de los controladores difusos se realiza en el diseñador de sistemas difusos de Labview que se muestra en la Figura 1. En este diseñador se puede configurar las variables lingüísticas tanto de entrada como salida de un sistema difuso, además de configurar las reglas y los métodos de defusificación, entre otras características, que emplean en el sistema.

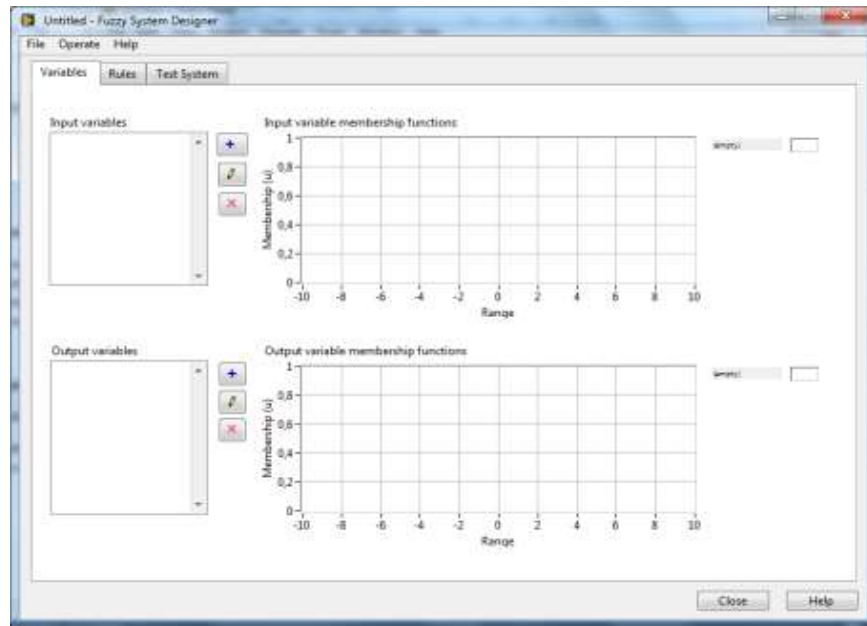


Figura 1. Fuzzy System designer – Labview.

A continuación se describe los bloques de la librería “Fuzzy Logic” de “control design & Simulation” utilizados para el desarrollo de esta practica

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |



Figura 2. Librería Fuzzy Logic.

Bloque “Load Fuzzy System.vi.”- Este bloque carga un sistema difuso desde un archivo .fs creado previamente. El parámetro “File path” Especifica la ruta de acceso al archivo .fs.



Figura 3. Bloque “Load Fuzzy System.vi”

Bloque “Fuzzy Controller (MISO).vi.”- Implementa un controlador de lógica difusa para el sistema difuso que especifique. Especifica los valores de las variables de entrada en el sistema difuso. El controlador de lógica difusa evalúa el valor o valores de salida de acuerdo con los valores de entrada y las reglas del sistema difuso. El parámetro “Inputs Value” es la entrada de controlador mientras el parámetro “Output Value” entrega la señal de control del sistema Difuso.




Figura 4. Bloque “Fuzzy Controller.vi”

Bloque Tiempo entre muestras.- Este bloque fue creado por los autores y entrega el valor correspondiente al tiempo de muestreo del Vi en ejecución.



Figura 5. Tiempo entre muestras.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

4. MARCO PROCEDIMENTAL


1. Para abrir el diseñador de sistemas de inferencias difusas de Labview damos clic en “Tool” que se encuentra sobre la barra de menú, luego en “Control Design and Simulation” y a “Fuzzy System Designer”. Lo que abre la ventana de la Figura 1.

2. Agregamos una variable de entrada correspondiente al error con tres funciones de membresía con un rango de -10 a 10 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de -10, -10, -1.138 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0,4 0 y 0,4 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 0, 1, 10, 10.

3. Agregamos otra variable de entrada correspondiente a la integral de error con tres funciones de membresía con un rango de -1 a 1 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo triangular con nombre “N” y con puntos de -2, -1 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0.272, 0 y 0.2249 y por ultimo otra función de membresía de tipo triangular con nombre “P” con puntos de 0, 1 y 2.

4. Agregamos una variable de salida correspondiente a la señal de control con tres funciones de membresía con un rango de 4 a 6 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de 0, 0, 4.5265 y 5,0132. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -4.6005, 5 y 5,389 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 5.0291, 5.8704, 10, 10.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 6 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

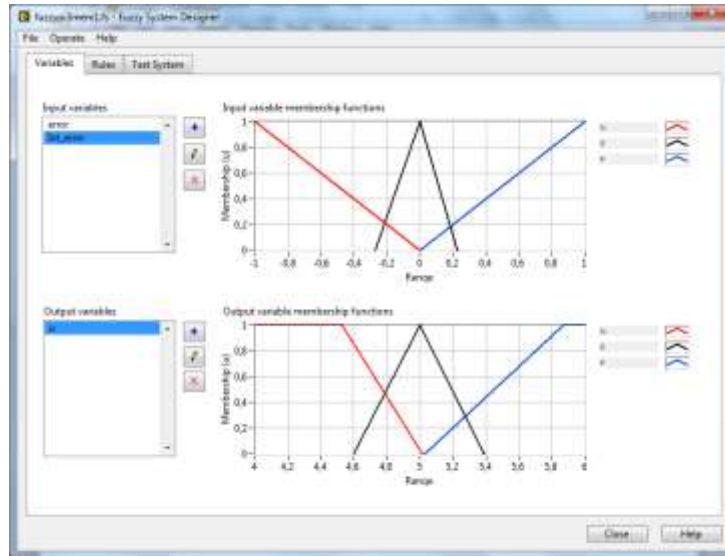


Figura 6. Funciones de membresía para control PI-Difuso.

5. Se crean un conjunto de reglas con operador lógico and que se muestra en la Figura 7.

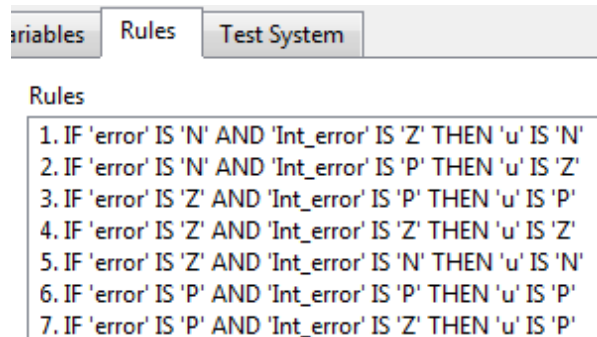



Figura 7. Reglas para controlador PI-Difuso.

6. Guardamos el archivo con extensión .Fs para luego ser cargado en un VI.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 7 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

7. Abrimos el VI de control PI-Difuso proporcionado por el docente que se muestra en la Figura 8 donde observamos que hay una ganancia proporcional de 1 y una ganancia integral de 0.01.

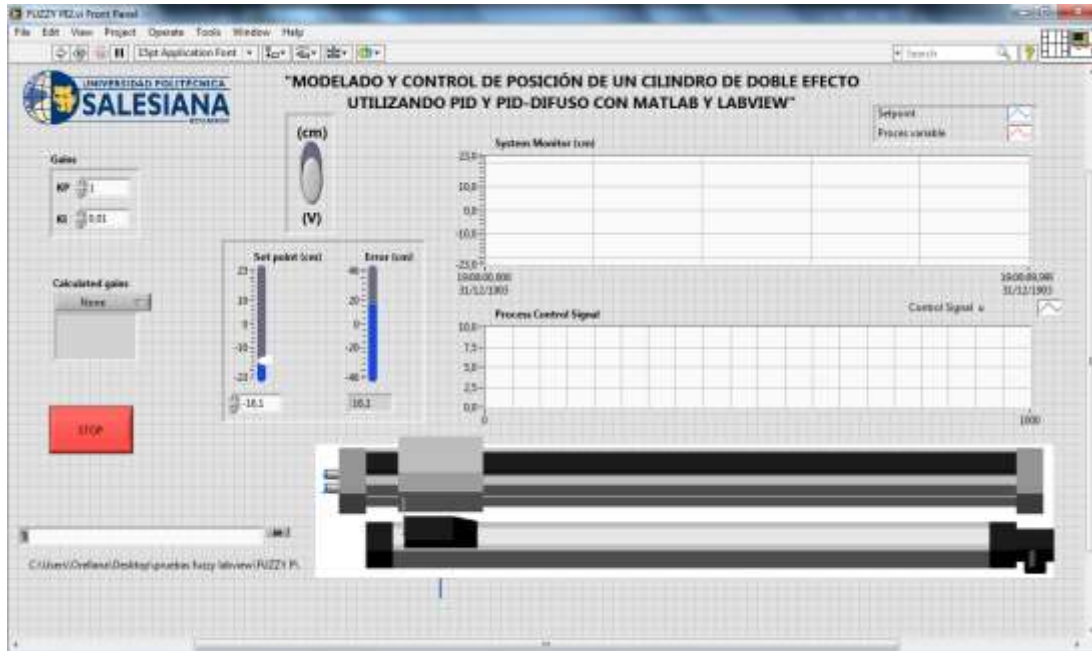



Figura 8. Panel Frontal de control PI-Difuso

8. El diagrama de bloque se muestra en la Figura 9. Donde se puede observar que a la entrada del bloque “Fuzzy Controller.vi” ingresan dos entradas una que corresponde al error y la otra que corresponde a la integral del error.

9. El siguiente paso es cargar el sistema de inferencias difusas para el control PI-Difuso, por lo que tenemos que llenar el “file path” con el nombre del archivo .fs que guardamos anteriormente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 8 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

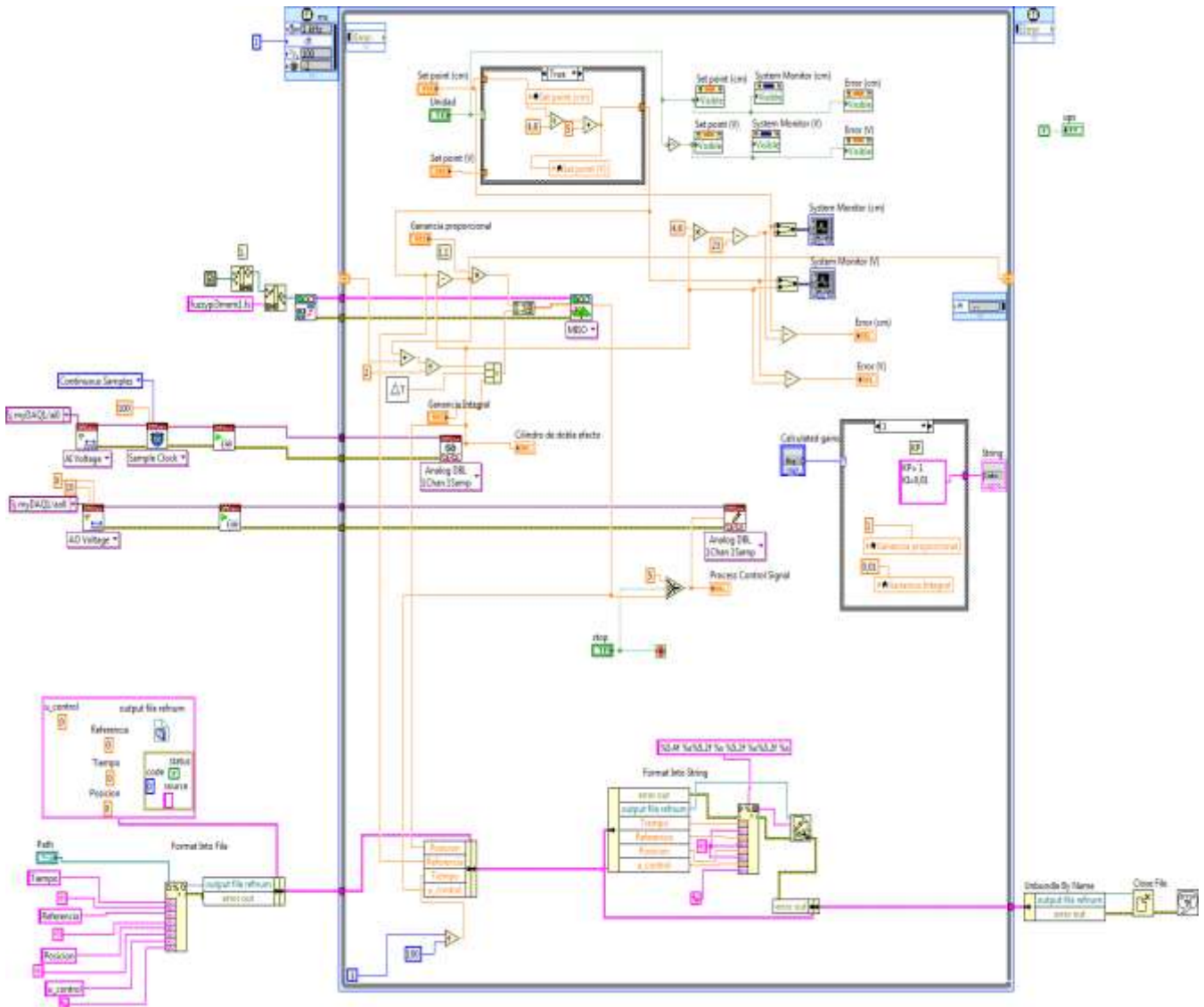



Figura 9. Diagrama de bloque De control PI-Difuso – Labview.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 9 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

10. En el sistema neumático se realizan las conexiones con la tarjeta Mydaq que se muestran en la Figura 10

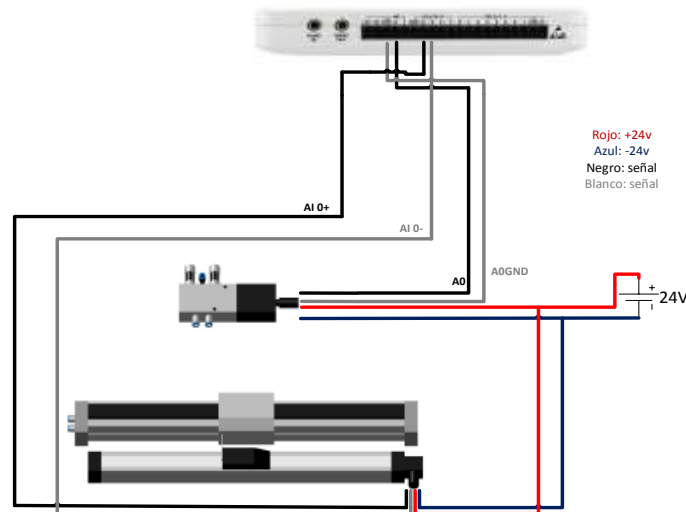



Figura 10. Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

11. una vez realizada la conexión se procede a ejecutar el control y se observa como realiza el cambio de posición el actuador lineal.

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 10 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. RESULTADOS

Al ejecutar el Programa de control Proporcional Integral de Labview e ingresar una señal de referencia de tipo paso podemos observar la respuesta del sistema que se muestra en la Figura 10 donde observamos que se encuentra aproximada a la señal de referencia.

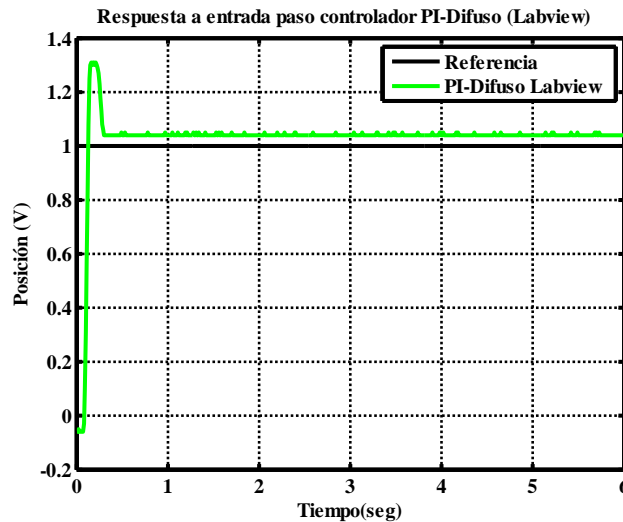



Figura 10: Respuesta a entrada paso controlador PI-Difuso

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ HAYTHAM, Fayek y ELAMVAZUTHI I. *Type-2 Fuzzy Logic PI (T2FLPI) Based DC Servomotor Control*, Journal of Applied Sciences Research, 8(5): 2564-2574, Malaysia, 2012.
- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 8

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR PD-DIFUSO”

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 2 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional Derivativo difuso (PD-Difuso) de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.


2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Diseñar un sistema de inferencias difusas para un control PD-Difuso.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional Derivativo difuso de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional Derivativo difuso (PD-Difuso).

3. MARCO TEÓRICO

La lógica difusa consta de tres etapas, la primera de ellas es la fusificación que consiste en pasar de un 0 y 1 booleano o binario a un rango de valores entre 0 y 1 donde se busca determinar en qué grado de valor que se está adquiriendo pertenece a un conjunto difuso. La segunda etapa es la de inferencia donde se proponen un conjunto de reglas lingüísticas que son la guía para que el sistema se comporte correctamente. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia caracterizando la salida, la tercera etapa se la conoce como defusificación donde se determinan los valores óptimos de salida y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de pertenencia, a un valor real.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Tipo de Funciones de membresía.- Existen varios tipos de funciones de membresía, las más utilizadas en la práctica son la triangular, trapezoidal o PI, forma de campana, Gaussiana y función sigmoïdal.

Fuzzy System Designer - Labview.- El diseño de los controladores difusos se realiza en el diseñador de sistemas difusos de Labview que se muestra en la Figura 1. En este diseñador se puede configurar las variables lingüísticas tanto de entrada como salida de un sistema difuso, además de configurar las reglas y los métodos de defusificación, entre otras características, que emplean en el sistema.

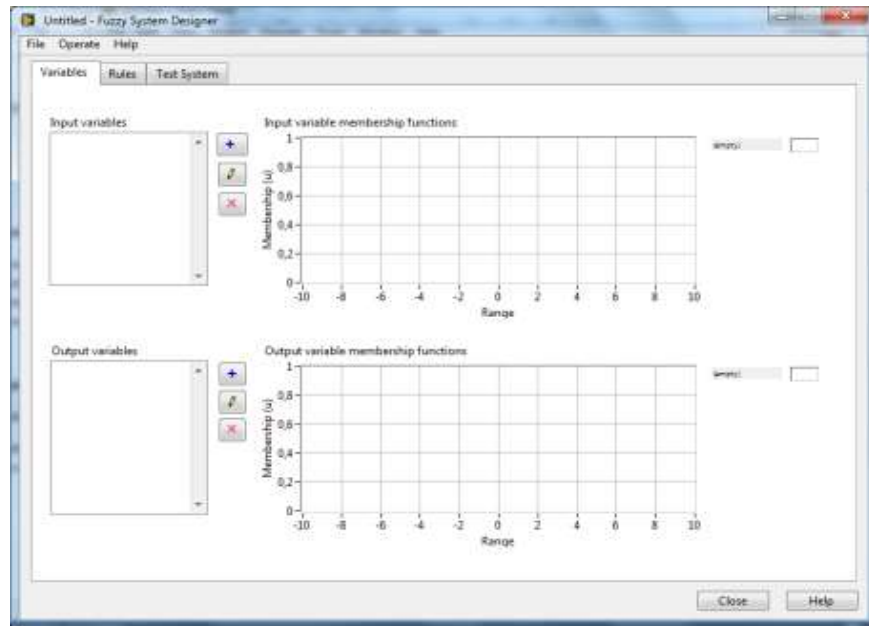


Figura 1. Fuzzy System designer – Labview.

A continuación se describe los bloques de la librería “Fuzzy Logic” de “control design & Simulation” utilizados para el desarrollo de esta practica

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |



Figura 2. Librería Fuzzy Logic.

Bloque “Load Fuzzy System.vi.”- Este bloque carga un sistema difuso desde un archivo .fs creado previamente. El parámetro “File path” Especifica la ruta de acceso al archivo .fs.



Figura 3. Bloque “Load Fuzzy System.vi”

Bloque “Fuzzy Controller (MISO).vi.”- Implementa un controlador de lógica difusa para el sistema difuso que especifique. Especifica los valores de las variables de entrada en el sistema difuso. El controlador de lógica difusa evalúa el valor o valores de salida de acuerdo con los valores de entrada y las reglas del sistema difuso. El parámetro “Inputs Value” es la entrada de controlador mientras el parámetro “Output Value” entrega la señal de control del sistema Difuso.




Figura 4. Bloque “Fuzzy Controller.vi”

Bloque Tiempo entre muestras.- Este bloque fue creado por los autores y entrega el valor correspondiente al tiempo de muestreo del Vi en ejecución.



Figura 5. Tiempo entre muestras.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

4. MARCO PROCEDIMENTAL


1. Para abrir el diseñador de sistemas de inferencias difusas de Labview damos clic en “Tool” que se encuentra sobre la barra de menú, luego en “Control Design and Simulation” y a “Fuzzy System Designer”. Lo que abre la ventana de la Figura 1.

2. Agregamos una variable de entrada correspondiente al error con tres funciones de membresía con un rango de -10 a 10 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de -10, -10, -0.5 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0,4 0 y 0,4 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 0, 1, 10, 10.

3. Agregamos otra variable de entrada correspondiente al cambio o derivada de error con tres funciones de membresía con un rango de -1 a 1 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo triangular con nombre “N” y con puntos de -2, -1 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0.4, 0 y 0.4 y por ultimo otra función de membresía de tipo triangular con nombre “P” con puntos de 0, 1 y 2.

4. Agregamos una variable de salida correspondiente a la señal de control con tres funciones de membresía con un rango de 4 a 6 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de 0, 0, 4.8545 y 5,0132. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -4.6, 5 y 5,4 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 5.0291, 6.96, 10, 10.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 6 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

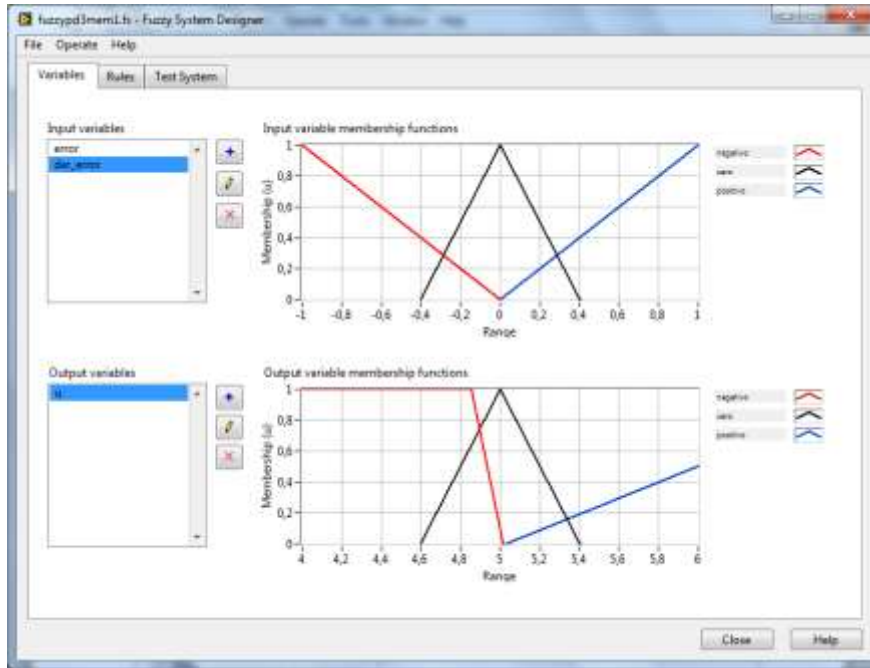


Figura 6. Funciones de membresía para control PD-Difuso.

5. Se crea un conjunto de reglas con operador lógico and que se muestra en la Figura 7.

```

Rules
Test System


Reglas
1. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'negativo' THEN 'u' IS 'negativo'
2. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'cero' THEN 'u' IS 'negativo'
3. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'cero'
4. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'positivo'
5. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'cero' THEN 'u' IS 'cero'
6. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'negativo' THEN 'u' IS 'negativo'
7. IF 'error' IS 'positivo' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'positivo'

```

Figura 7. Reglas para controlador PD-Difuso.

6. Guardamos el archivo con extensión .Fs para luego ser cargado en un VI.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 7 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

7. Abrimos el VI de control PD-Difuso proporcionado por el docente que se muestra en la Figura 8 donde observamos que hay una ganancia proporcional de 1 y una ganancia integral de 0.01.

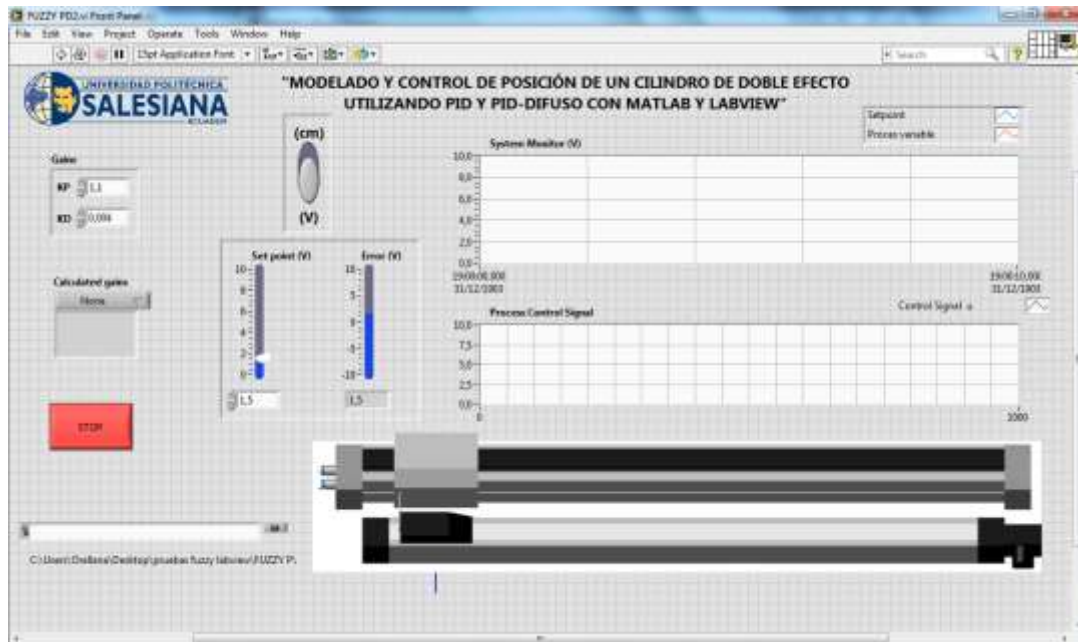



Figura 8. Panel Frontal de control PD-Difuso

8. El diagrama de bloque se muestra en la Figura 9. Donde se puede observar que a la entrada del bloque "Fuzzy Controller.vi" ingresan dos entradas una que corresponde al error y la otra que corresponde a la derivada del error.

9. El siguiente paso es cargar el sistema de inferencias difusas para el control PD-Difuso, por lo que tenemos que llenar el "file path" con el nombre del archivo .fs que guardamos anteriormente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 8 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

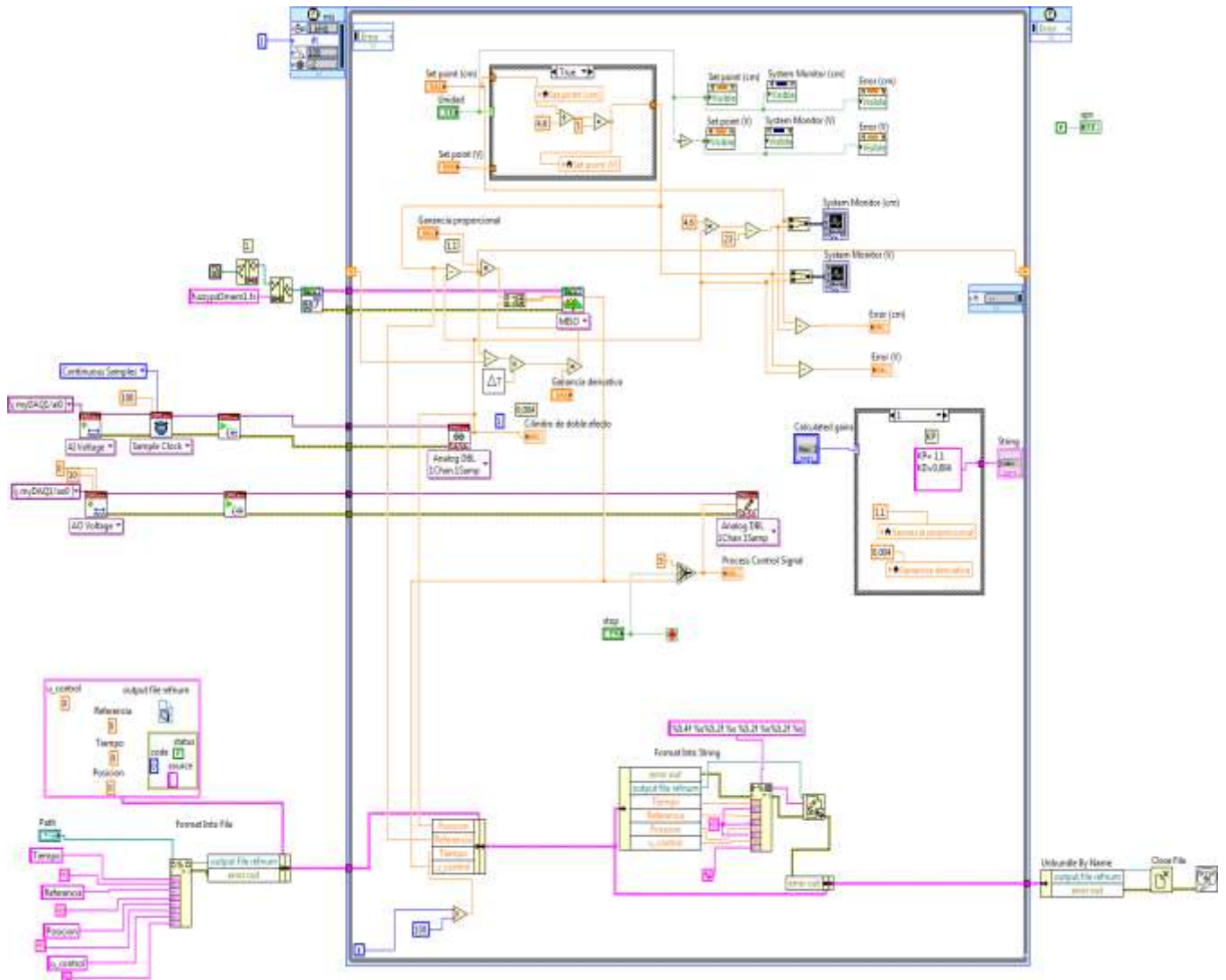



Figura 9. Diagrama de bloque De control PD-Difuso – Labview.

10. En el sistema neumático se realizan las conexiones con la tarjeta Mydaq que se muestran en la Figura 10

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 9 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

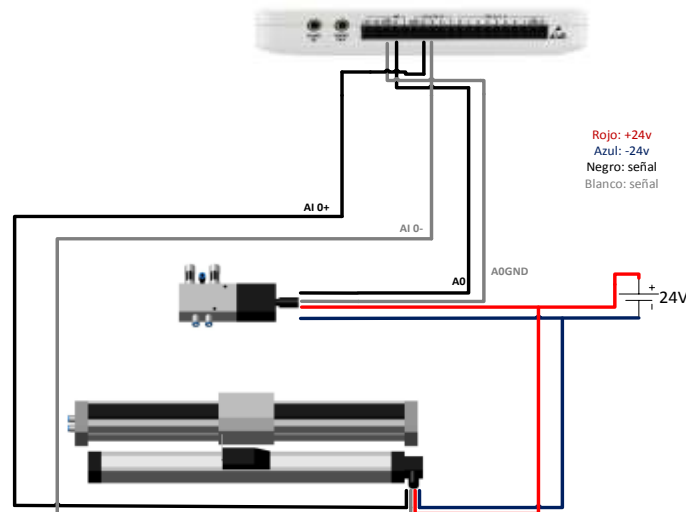



Figura 10. Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

11. Una vez realizada la conexión se procede a ejecutar el control y se observa como realiza el cambio de posición el actuador lineal.

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 10 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. RESULTADOS

Al ejecutar el Programa de control Proporcional Derivativo de Labview e ingresar una señal de referencia de tipo paso podemos observar la respuesta del sistema que se muestra en la Figura 11 donde observamos que se encuentra aproximada a la señal de referencia.

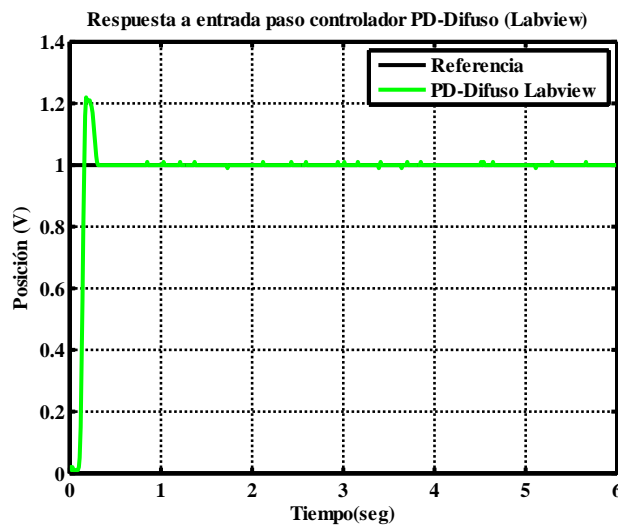



Figura 11: Respuesta a entrada paso controlador PD-Difuso

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ PONCE, Pedro. Inteligencia artificial con aplicaciones a la Ingeniería. 1era Edición, Alfaomega, México, 2010.
- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 1 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

INFORMATICA INDUSTRIAL

PRÁCTICA # 9

NÚMERO DE ESTUDIANTES 20


ING. BYRON LIMA C.

TIEMPO ESTIMADO 2 HORAS

TEMA:

“CONTROLADOR PID-DIFUSO”

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|----------------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 2 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

1. OBJETIVO GENERAL.

- ✓ Implementar a través de la práctica un control proporcional Integral Derivativo difuso (PID-Difuso) de posición sobre un sistema neumático de desplazamiento.


2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Diseñar un sistema de inferencias difusas para un control PID-Difuso.
- ✓ Implementar en el software Labview un control proporcional integral difuso de posición al sistema neumático.
- ✓ Observar la respuesta del sistema en lazo cerrado con el control proporcional Integral difuso (PID-Difuso).

3. MARCO TEÓRICO

La lógica difusa consta de tres etapas, la primera de ellas es la fusificación que consiste en pasar de un 0 y 1 booleano o binario a un rango de valores entre 0 y 1 donde se busca determinar en qué grado de valor que se está adquiriendo pertenece a un conjunto difuso. La segunda etapa es la de inferencia donde se proponen un conjunto de reglas lingüísticas que son la guía para que el sistema se comporte correctamente. El conjunto de reglas de inferencia determina una consecuencia caracterizando la salida, la tercera etapa se la conoce como defusificación donde se determinan los valores óptimos de salida y que consiste en pasar el grado de pertenencia, proveniente de la consecuencia de la regla de pertenencia, a un valor real.

| | | |
|--|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 3 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

Tipo de Funciones de membresía.- Existen varios tipos de funciones de membresía, las más utilizadas en la práctica son la triangular, trapezoidal o PI, forma de campana, Gaussiana y función sigmoïdal.

Fuzzy System Designer - Labview.- El diseño de los controladores difusos se realiza en el diseñador de sistemas difusos de Labview que se muestra en la Figura 1. En este diseñador se puede configurar las variables lingüísticas tanto de entrada como salida de un sistema difuso, además de configurar las reglas y los métodos de defusificación, entre otras características, que emplean en el sistema.

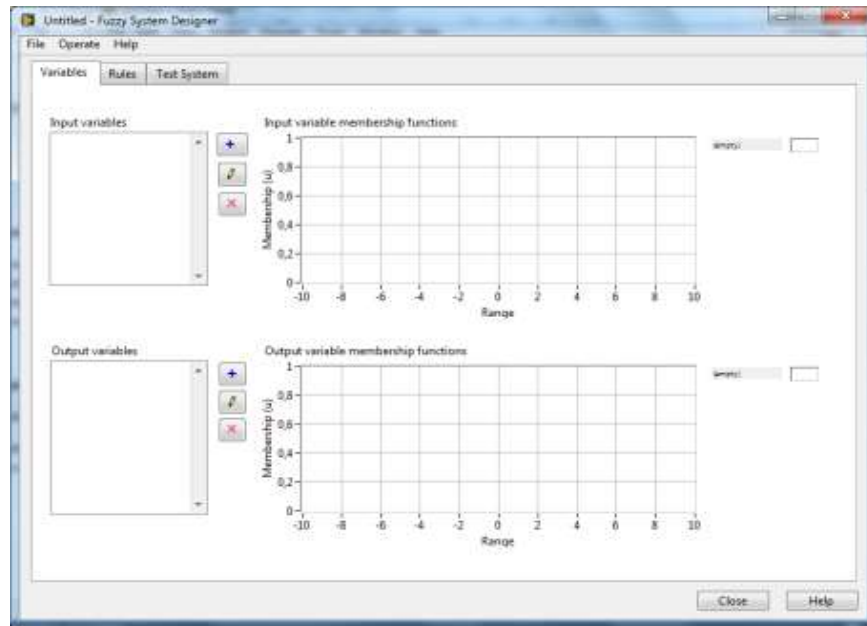


Figura 1. Fuzzy System designer – Labview.

A continuación se describe los bloques de la librería “Fuzzy Logic” de “control design & Simulation” utilizados para el desarrollo de esta practica

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |


| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 4 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |



Figura 2. Librería Fuzzy Logic.

Bloque “Load Fuzzy System.vi.”- Este bloque carga un sistema difuso desde un archivo .fs creado previamente. El parámetro “File path” Especifica la ruta de acceso al archivo .fs.



Figura 3. Bloque “Load Fuzzy System.vi”

Bloque “Fuzzy Controller (MISO).vi.”- Implementa un controlador de lógica difusa para el sistema difuso que especifique. Especifica los valores de las variables de entrada en el sistema difuso. El controlador de lógica difusa evalúa el valor o valores de salida de acuerdo con los valores de entrada y las reglas del sistema difuso. El parámetro “Inputs Value” es la entrada de controlador mientras el parámetro “Output Value” entrega la señal de control del sistema Difuso.




Figura 4. Bloque “Fuzzy Controller.vi”

Bloque Tiempo entre muestras.- Este bloque fue creado por los autores y entrega el valor correspondiente al tiempo de muestreo del Vi en ejecución.



Figura 5. Tiempo entre muestras.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 5 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

4. MARCO PROCEDIMENTAL

1. Para abrir el diseñador de sistemas de inferencias difusas de Labview damos clic en “Tool” que se encuentra sobre la barra de menú, luego en “Control Design and Simulation” y a “Fuzzy System Designer”. Lo que abre la ventana de la Figura 1.


2. Para este control nos basamos en una estructura PD+I, que consta en usar la misma estructura y reglas del control PD-Difuso Suman a la señal de control la integral del error.

3. Agregamos una variable de entrada correspondiente al error con tres funciones de membresía con un rango de -10 a 10 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de -10, -10, -0.5 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0,4 0 y 0,4 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 0, 1, 10, 10.

4. Agregamos otra variable de entrada correspondiente al cambio o derivada de error con tres funciones de membresía con un rango de -1 a 1 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo triangular con nombre “N” y con puntos de -2, -1 y 0. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -0.4, 0 y 0.4 y por ultimo otra función de membresía de tipo triangular con nombre “P” con puntos de 0, 1 y 2.

5. Agregamos una variable de salida correspondiente a la señal de control con tres funciones de membresía con un rango de 4 a 6 como se observa en la Figura 6, la primera de tipo trapezoidal con nombre “N” y con puntos de 0, 0, 4.8545 y 5,0132. La segunda función de membresía de tipo triangular con nombre “Z” y con puntos de -4.6, 5 y 5,4 y por ultimo otra función de membresía de tipo trapezoidal con nombre “P” con puntos de 5.0291, 6.96, 10, 10.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 6 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

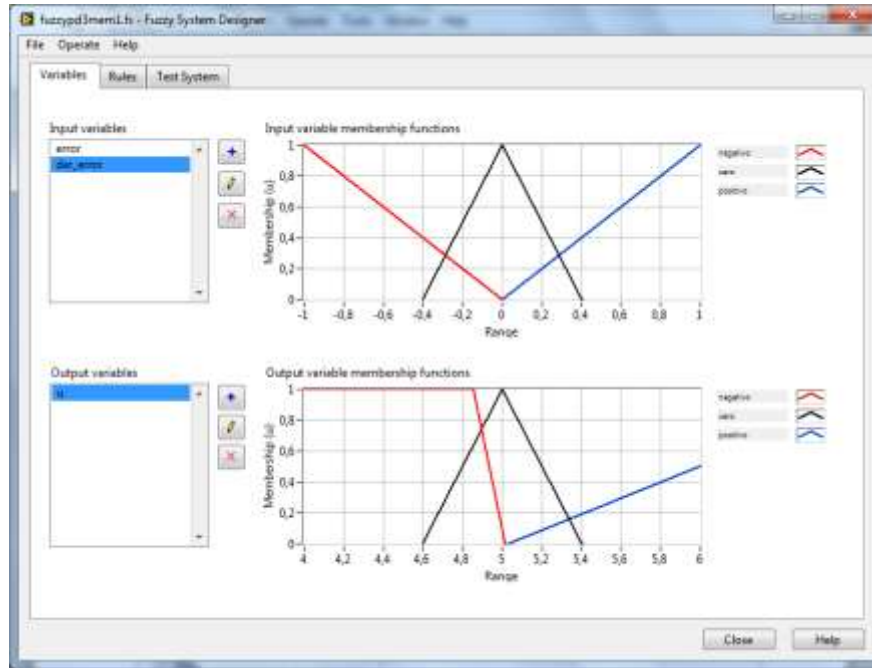


Figura 6. Funciones de membresía para control PD-Difuso.

6. Se crea un conjunto de reglas con operador lógico and que se muestra en la Figura 7.

```

Rules
Test System


!rules
1. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'negativo' THEN 'u' IS 'negativo'
2. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'cero' THEN 'u' IS 'negativo'
3. IF 'error' IS 'negativo' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'cero'
4. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'positivo'
5. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'cero' THEN 'u' IS 'cero'
6. IF 'error' IS 'cero' AND 'der_error' IS 'negativo' THEN 'u' IS 'negativo'
7. IF 'error' IS 'positivo' AND 'der_error' IS 'positivo' THEN 'u' IS 'positivo'

```

Figura 7. Reglas para controlador PD-Difuso.

7. Guardamos el archivo con extensión .Fs para luego ser cargado en un VI.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 7 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

8. Abrimos el VI de control PID-Difuso proporcionado por el docente que se muestra en la Figura 8 donde observamos que hay una ganancia proporcional de 0.8 una ganancia derivativa de 0.002 y una ganancia integral de 0.1.

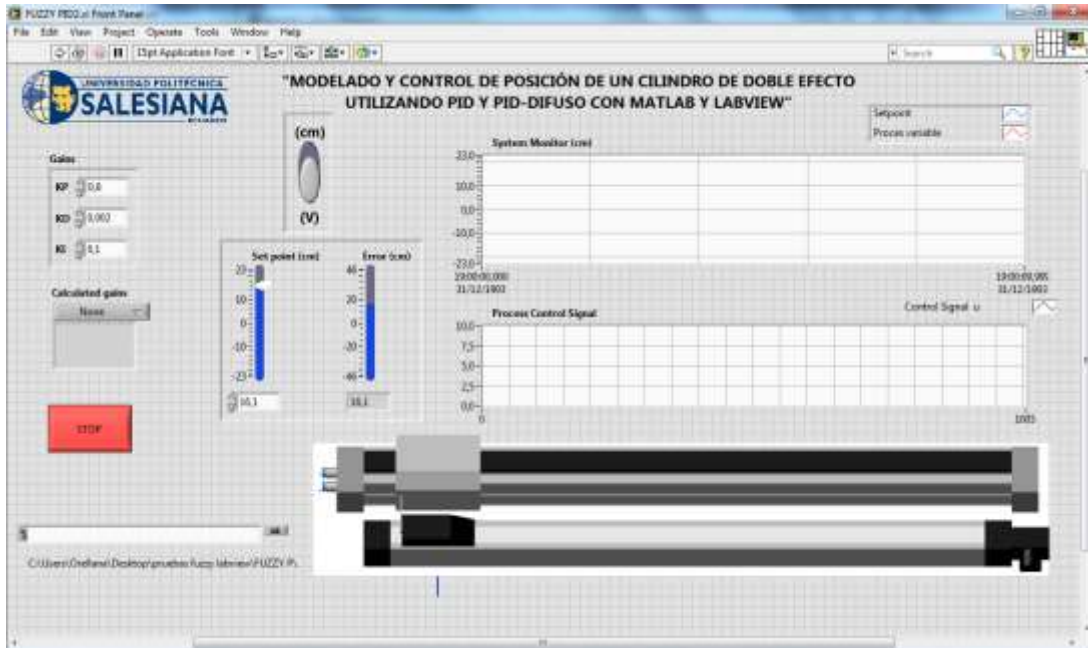



Figura 8. Panel Frontal de control PID-Difuso

9. El diagrama de bloque se muestra en la Figura 9. Donde se puede observar que a la entrada del bloque "Fuzzy Controller.vi" ingresan dos entradas una que corresponde al error y la otra que corresponde a la derivada del error y que a la salida del bloque difuso se suma la integral de error resultando una nueva señal de control conocida como PD+I.

10. El siguiente paso es cargar el sistema de inferencias difusas para el control PD-Difuso, por lo que tenemos que llenar el "file path" con el nombre del archivo .fs que guardamos anteriormente.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 8 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

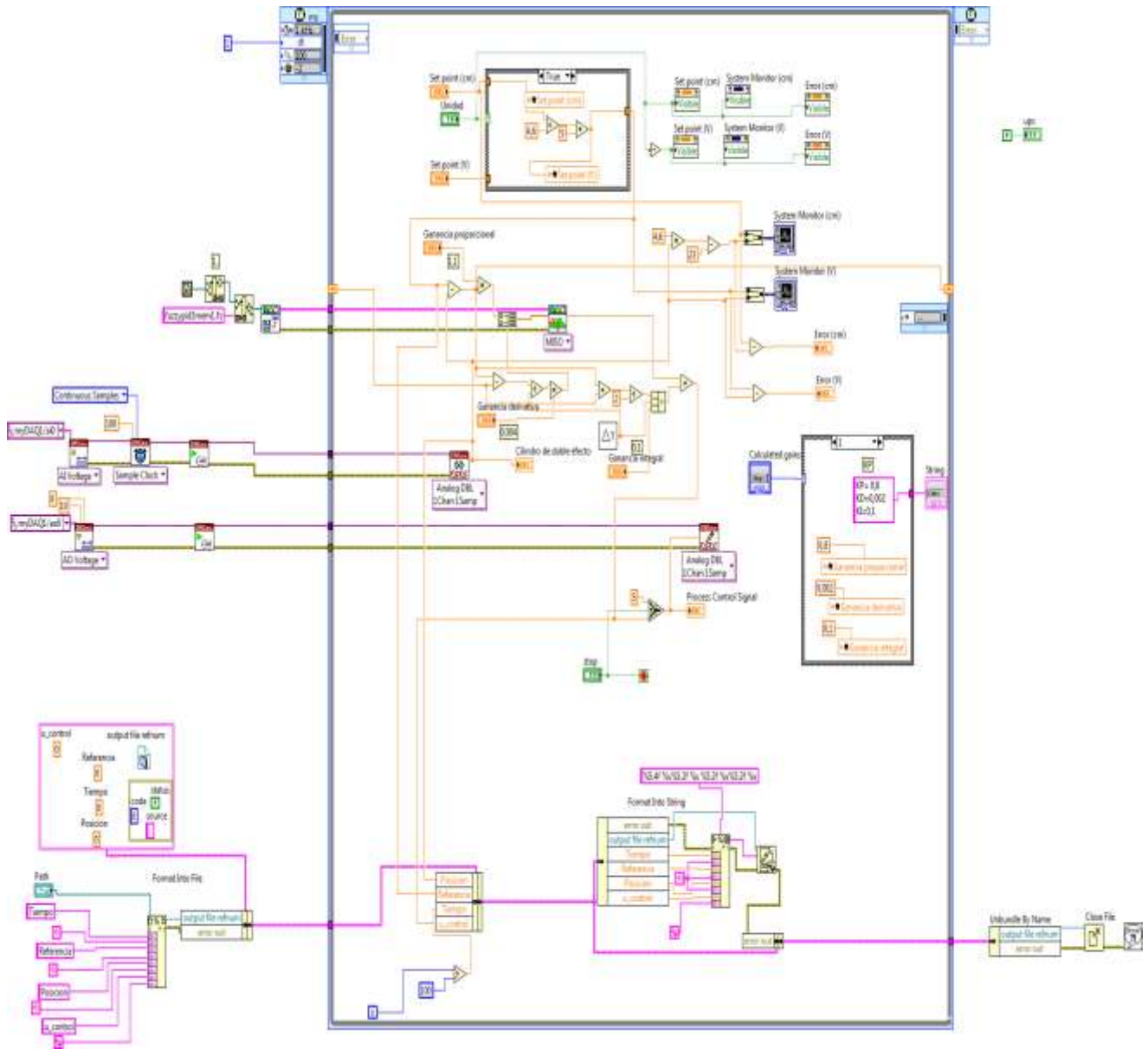



Figura 9. Diagrama de bloque De control PID-Difuso – Labview.

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|-----------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | Página 9 de 10 |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

11. En el sistema neumático se realizan las conexiones con la tarjeta Mydaq que se muestran en la Figura 10

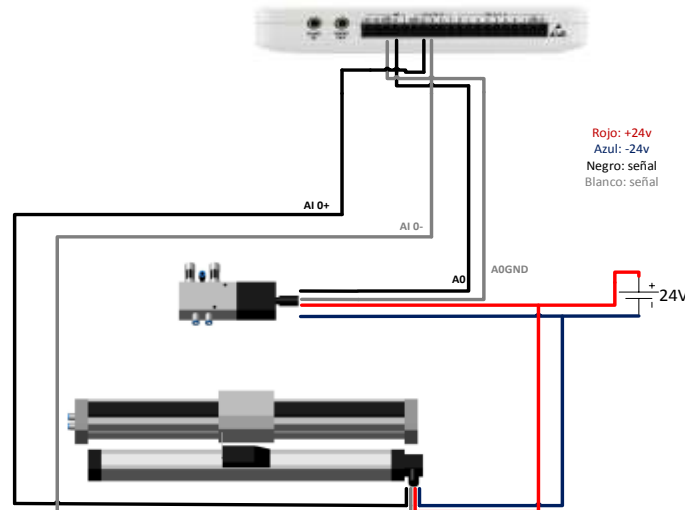



Figura 10. Conexiones del sistema con la tarjeta Mydaq.

12. Una vez realizada la conexión se procede a ejecutar el control y se observa como realiza el cambio de posición el actuador lineal.

5. RECURSOS UTILIZADOS

- ✓ TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS MYDAQ
- ✓ ACTUADOR LINEAL NEUMÁTICO FESTO MLO 450 mm
- ✓ VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS MPYE
- ✓ FUENTE DE AIRE COMPRIMIDO
- ✓ FUENTE DE VOLTAJE DE 15 A 24 V
- ✓ SOFTWARE LABVIEW

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |

| | | | |
|---|------------------------|--|------------------------|
| | | REVISIÓN 1/1 | <i>Página 10 de 10</i> |
|  | | MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS | |
| LABORATORIO | Fabricación Flexible | | |
| CARRERA | Ingeniería Electrónica | | |
| SEDE | Guayaquil | | |

6. RESULTADOS

Al ejecutar el Programa de control Proporcional Integral Derivativo de Labview e ingresar una señal de referencia de tipo paso podemos observar la respuesta del sistema que se muestra en la Figura 11 donde observamos que se encuentra aproximada a la señal de referencia.

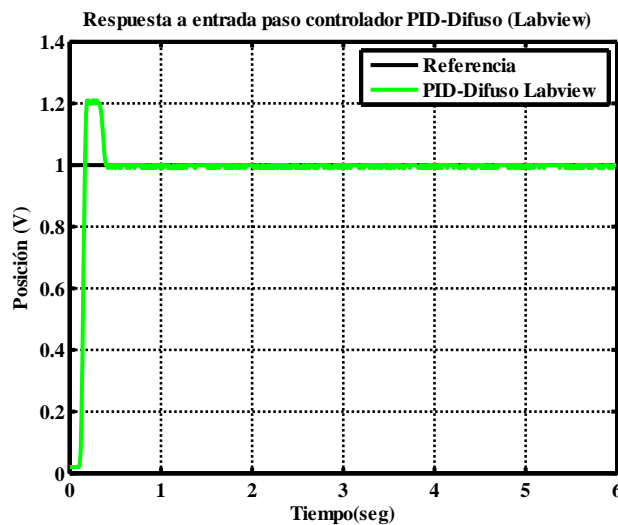


Figura 11. Respuesta a entrada paso controlador PID-Difuso

7. BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- ✓ PONCE, Pedro. Inteligencia artificial con aplicaciones a la Ingeniería. 1era Edición, Alfaomega, México, 2010.
- ✓ Bishop, R. H.: "LabVIEW 8 Student Edition, 1/e", National Instruments, Inc. & Bishop ©2007. Prentice Hall, ISBN-13: 9780131999183.
- ✓ Manual de trabajo TP-111 FESTO

| | | |
|---|---|--|
| Elaborado por: Ing. Luis Neira. | Revisado por: Ing. Gabriel Castro | Aprobado por: Ing Víctor Huilcapi S. |
| Fecha de Elaboración 13-06-16 | Fecha de Revisión 13-06-16 | Número de Resolución Consejo de Carrera: 198-006-2015-03-31 |