



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE LAS CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE CONTROL PID Y CONTROL
FUZZY EN UN PROCESO DE FLUJO**

**Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico.**

Autores:

Ángel Steven Real Garcés

Álvaro Wellington Palacios Calderón

Tutor Académico:

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc

LATACUNGA-ECUADOR

2021

1 INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Ángel Steven Real Garcés

Álvaro Wellington Palacios Calderón

Tema aprobado:

Estudio comparativo de control PID y Control Fuzzy en un proceso de flujo

Carrera:

Ingeniería Electromecánica.

Director del Proyecto de Titulación:

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas M.Sc.

Equipo de trabajo:

Tutor

Nombres: Byron Paúl

Apellidos: Corrales Bastidas

Cédula de Identidad: 050234776-8

Email: byron.corrales@utc.edu.ec

Ponente 1

Nombres: Ángel Steven

Apellidos: Real Garcés

Cédula de Identidad: 180435009-6

Email: angel.real0096@utc.edu.ec

Ponente 2

Nombres: Álvaro Wellington

Apellidos: Palacios Calderón

Cédula de Identidad: 180502192-8

Email: alvaro.palacios1928@utc.edu.ec

Lugar de ejecución:

El proyecto se desarrolla en el Laboratorio de Automatización y Control de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, campus Matriz, en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

Tiempo de duración del proyecto:

6 Meses

Línea de investigación:

Procesos industriales

Sub líneas de investigación:

Automatización, control y protección de sistemas electromecánicos.

Tipo de propuesta tecnológica:

El tipo de propuesta tecnológica se puede argumentar mediante la implementación y diseño de un sistema de Control Fuzzy conjuntamente un Control PID clásico, en una estación de flujo de caudal en la cual se busca mantener a la variable de proceso conforme a los parámetros pre establecidos mediante una señal de referencia, una vez obtenidos los datos necesarios realizar un análisis entre los dos controles para dar resultados viables en proceso SISO.

Área del conocimiento

Tomando como referencia a la norma CINE – UNESCO las áreas de conocimiento del proyecto se detallan continuación:

Campo amplio

330000 Ciencias Tecnológicas

Campos específicos

3311 Tecnología de la Instrumentación

Campo detallado

3311.01 Tecnología de la Automatización 3311.02 Ingeniería de Control

3311.05 Equipos Eléctricos de Control 3311.06 Instrumentos Eléctricos

3313 Tecnología e Ingeniería Mecánicas

3313.25 Bombas y Equipos Para Manipulación de Líquidos

2 INTRODUCCION

2.1 EL PROBLEMA

En el laboratorio de Investigación Automatización y Control que se encuentra en la Universidad Técnica de Cotopaxi no se ha realizado prácticas de un controlador Fuzzy debido al poco uso de los controladores modernos y materiales que se necesita para realizarlo, por esta razón nace la necesidad de realizar un estudio comparativo de respuesta entre un controlador clásico como el PID y un controlador moderno como el Control Fuzzy en un proceso de flujo lo cual permitirá a los estudiantes tener conocimiento acerca de cada uno de estos controladores en especial del control Fuzzy el cual no es muy conocido en la actualidad.

2.1.1 Situación Problémica:

Ya que en la mayoría de los procesos industriales en la actualidad el Control PID funciona de manera óptima en sistemas SISO, pero existe una limitante en algunos de los procesos debido a su funcionamiento no lineal o simplemente por distintas exigencias de desempeño y eficiencia, es necesario utilizar un sistema de control más elaborado el cual tenga la respuesta de calidad ante posibles perturbaciones para que trabaje en un amplio rango de variables que estén ligadas a la experiencia de un operario encargado del proceso.

Debido a ello nace como necesidad la utilización de un control de lógica Fuzzy. Que en la presente propuesta tecnológica se realiza un análisis comparativo en torno al desempeño de ambas estrategias de control aplicado en el módulo didáctico de flujo de caudal dando así una evaluación completa la utilización de una estrategia de control u otra.

2.1.2 Formulación del problema

La carencia de habilidades prácticas en profesionales para la implementación de un Control Fuzzy aplicado a un proceso de flujo, por lo cual se efectuará un controlador clásico (PID), y control Fuzzy para observar cuál es la relación que existe entre estos controladores.

2.2 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1 Objeto de estudio

Control PID y Control Fuzzy en un proceso de caudal.

2.2.2 Campo de acción

Como campo de acción de obtiene el sistema de control de procesos ya que este se obtiene mediante la implantación de los diferentes controles y su aplicación en la industria, donde su principal área de desarrollo es la Automatización e Ingeniería de Control de Procesos.

2.3 BENEFICIARIOS:

En la propuesta daría como beneficiarios a alumnos y docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi más información detallada de cómo es el control de lógica Fuzzy contrastado con un control tradicional PID, de igual manera a toda la comunidad científica.

2.4 JUSTIFICACIÓN

En la siguiente propuesta tecnológica se propone un recurso el cual realizará una comparativa entre un Control Clásico como el PID y un Control Moderno como el Fuzzy. Donde mediante la respectiva implementación en el proceso de flujo, que permitirá controlarlo con márgenes de trabajo grandes ya que es posible ejercer control en un rango no lineal, lo cual no es posible con un controlador PID, mediante la utilización de una tarjeta de adquisición de datos FPGA, como también utilizando la comunicación OPC para trasladar los datos obtenidos desde un PLC hacia Simulink, se constatará las respuestas técnicas obtenidas de la variable controlada, donde se podrá observar los valores obtenidos de ambos controladores que posteriormente serán comparados entre sí, así obtener semejanzas y diferencias entre cada uno de ellos sin desacreditar a ninguno en su funcionamiento.

2.5 HIPÓTESIS

La realización del análisis comparativo entre un Control PID y un Control Fuzzy permitirá obtener las características más relevantes de su desempeño aplicados en un proceso de flujo.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 General:

Realizar un análisis comparativo entre un Control PID y un Control Fuzzy en un proceso didáctico de flujo, a fin de determinar las características más importantes de comportamiento de cada uno de ellos.

2.6.2 Específicos:

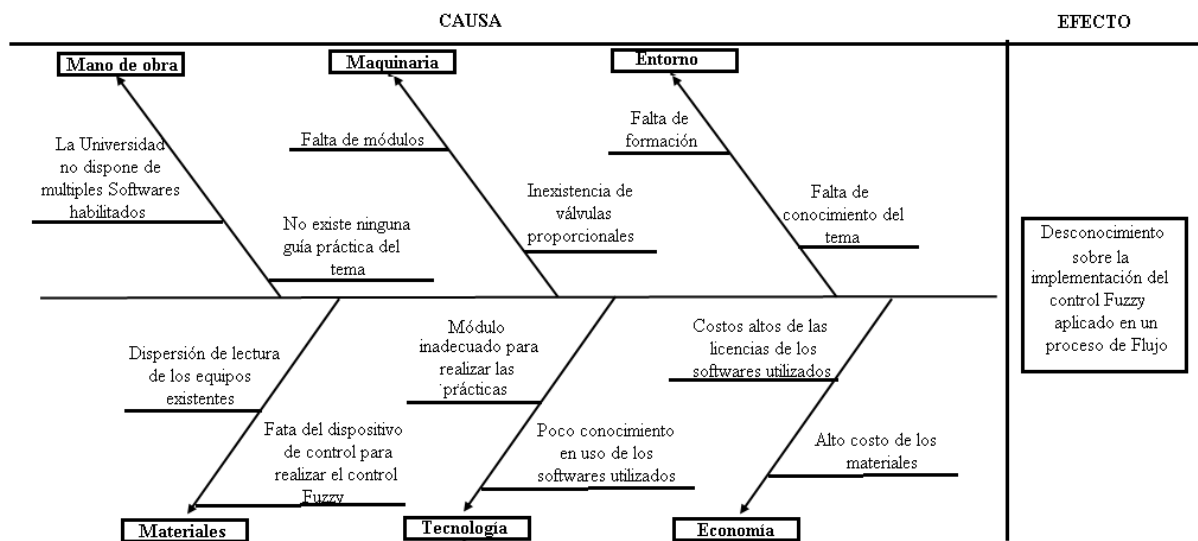
- Investigar los parámetros fundamentales de funcionamiento del Control Fuzzy y Control PID.
- Identificar los parámetros de funcionamiento y equipos necesarios para la implementación de los controles respectivos.
- Implementar el Control PID y Control Fuzzy en un proceso de flujo de forma real y simulada.
- Validar los resultados obtenidos mediante la implementación del Control PID y el Control Fuzzy en un proceso de flujo.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2.1: Tareas a desarrollar

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar los parámetros fundamentales del Control Fuzzy	Indagación bibliográfica	Revisión bibliográfica de fuentes secundaria. Requerimientos necesarios para la implementación de los Controles.	Documentos de archivo Papers, tesis, libros
Identificar los parámetros de funcionamiento y equipos necesarios para la implementación de los controles respectivos.	-Toma de datos de las señales físicas. -Pruebas de comunicación. -Implementar lógica Fuzzy	- Comunicación entre el módulo y el controlador. -Modelamiento del sistema de control.	Software de Programación
Implementar el Control PID y Control Fuzzy en un proceso de flujo de forma real y simulada.	-Revisión del funcionamiento del módulo de flujo.	- Comunicación de información. - Obtención de datos y ponerlos en una base de datos.	Módulo de flujo, Controlador Automata Programable
Validar los resultados obtenidos mediante la implementación del Control PID y el Control Fuzzy en un proceso de flujo.	-verificación que el sistema funcione correctamente. -Observar el funcionamiento.	Compasión de resultados obtenidos por cada uno de los controles.	Obtención de datos en tiempo real de cada uno de los controles.

2.8 MATRIZ CAUSA-EFECTO



3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

En el medio industrial se emplean técnicas de control como son los controladores PID (considerado como control clásico), donde se tiene una ganancia, una variante derivativa y una integral con los cuales se puede hacer que un proceso sea más estable en un tiempo deseado [1]. En general un sistema de control es un conjunto de equipos que se unen y trabajan de manera integral para alcanzar un resultado común, dicho sistema puede tener diferentes características

y está integrado por equipos de acción que son llamados actuadores, las cuales pueden ser: motores, bombas, pistones, entre otros. También se tienen dispositivos que se encargan de medir las magnitudes físicas generadas por estos actuadores, como: temperatura, movimiento, flujo, entre otros, para conocer las condiciones bajo las que se desarrolla el proceso y realizar la respectiva toma de decisiones [2].

El controlador PID es con mucho el algoritmo de control más común. La mayoría de los lazos de realimentación se controlan mediante este algoritmo u otro con pequeñas variaciones. Se implementa de muchas formas diferentes, como un controlador único o como parte de un paquete DDC (Control Digital Directo), o un sistema de control de procesos distribuido jerárquico.

El control PID es la unión de tres acciones de control, la proporcional, integral y derivativa donde las mismas pueden derivar en controles P, PI, PD y PID. La acción proporcionada 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 [3].

Los controles Fuzzy son las aplicaciones más importantes de la teoría borrosa, desarrollada por Zadeh en 1965 y es adecuada para control de procesos no lineales y con un comportamiento variable en el tiempo, el conocimiento experto se usa en vez de ecuaciones diferenciales para describir un sistema. Este conocimiento se puede expresar de una manera muy natural, empleando las variables lingüísticas que son descritas mediante conjuntos difusos [4]

La literatura sobre control Fuzzy ha crecido rápidamente en los últimos años, lo que dificulta la presentación de un estudio completo de la amplia variedad de aplicaciones que se han realizado. Históricamente, los hitos importantes en proporciona un algoritmo que puede convertir la estrategia de control lingüístico basada en el conocimiento experto en una estrategia de control automática. La experiencia muestra que el FLC rinde resultados superiores a los obtenidos por convencionales algoritmos de control. En particular, la metodología del FLC parece muy útil cuando los procesos son demasiado complejos para el análisis mediante técnicas cuantitativas convencionales o cuando las fuentes de información disponibles se interpretan de manera cualitativa, inexacta o incierta. Así, el control lógico Fuzzy puede verse como un paso hacia un acercamiento entre las matemáticas precisas convencionales control calórico y toma de decisiones similar a la humana.

Sin embargo, en la actualidad no existe un procedimiento sistemático para el diseño de un FLC. En este artículo presentamos un estudio de la metodología PLC y señalamos los problemas que

necesitan más investigación. La investigación incluye estrategias de fuzzificación, la derivación de la base de datos y reglas de control Fuzzy, la definición de una implicación Fuzzy y un análisis de los mecanismos de razonamiento Fuzzy [5].

La lógica Fuzzy (FL) es parte de la inteligencia artificial (IA) que ha ganado rápidamente prominencia e importancia en los últimos años. FL junto con los sistemas basados en reglas permiten modelar los procesos de razonamiento aproximados e imprecisos comunes en la resolución de problemas humanas. Dentro de la industria, FL se está utilizando para simplificar el modelo de sistemas complejos y revolucionar el diseño, la fabricación y el control de productos. Se está convirtiendo rápidamente en una de las partes de la IA de mayor éxito comercial en esta sección se describen algunos ejemplos de las aplicaciones comerciales de FL y fuera de alinear el enfoque y la estructura del papel [6].

3.2 PROCESO INDUSTRIAL

Un proceso industrial es el encargado de obtener, transformar y transportar uno o varios productos primarios, llamados materia prima. El propósito de un proceso industrial es lograr que la materia prima se convierta en materiales, herramientas, sustancias o productos que satisfagan una serie de necesidades o requerimientos de un cliente o público en concreto [7]

Las etapas básicas de un proceso industrial son:

- Manipulación de la materia prima
- Operaciones físicas de acondicionamiento
- Reacción química para su transformación
- Separación
- Elaboración del producto

3.2.1 Proceso continuo

Se realizan miles de productos idénticos, la línea de producción nunca cesa, es decir, está en funcionamiento las 24 horas del día y los 7 días de la semana. El objetivo de este tipo de proceso es doble: por un lado, maximizar los niveles de producción, y por otro, reducir los costes generados a raíz de detener e iniciar una vez tras otra el proceso industrial.

En este tipo de procesos, los algoritmos, tipos de variables y modos de operación no cambian sustancialmente en el tiempo. A pesar de que la dinámica del sistema pueda ser rutinaria y aparentar poca complejidad, en los procesos continuos se pueden gestionar variables críticas y cuya estabilidad es fundamental [7].

3.2.2 Control automático

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado para una cantidad o condición física, midiendo su valor actual, comparándolo con el valor de referencia, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla mediante una acción correctiva. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana [8]

3.2.3 Sistema de control automático

Un sistema de control automático es el conjunto de componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera que regulen o dirijan su actuación por sí mismos, es decir, sin intervención humana, corrigiendo además los posibles errores que se presenten en su funcionamiento [9].

Los sistemas de control se dividen básicamente en dos grandes grupos: Sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado o realimentado, en la siguiente propuesta tecnológica se centra mayormente en los sistemas de control de lazo cerrado.

3.2.4 Sistema de control de lazo abierto

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida. Son sistemas no complejos que no pueden satisfacer requerimientos de desempeño críticos ya que no existe forma de prevenir cambios en la variable de proceso. Debido a la simplicidad y economía de los sistemas de control de lazo abierto, se les encuentra en muchas aplicaciones no críticas [10].

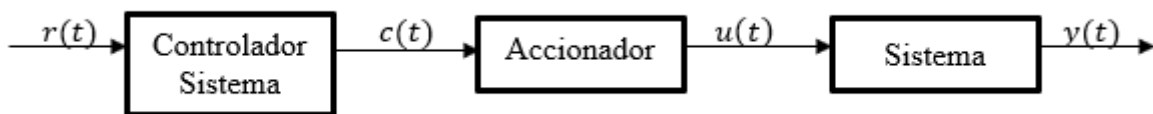


Figura 3.1: Sistema de control de lazo abierto

Fuente: [11]

La Figura 2.1 muestra los componentes y señales de un sistema de control de lazo abierto, donde:

$r(t)$: Entrada del proceso.

$c(t)$: Variable controlada.

$u(t)$: Variable manipulada.

$y(t)$: Variable de proceso.

3.2.5 Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual la acción de control es dependiente de la salida, ya que la señal controlada es realimentada y comparada con el valor de referencia (set point), se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y salida a través del sistema para corregir el error [10].

Este tipo de sistema es el que compete a esta investigación, ya que las estrategias de control a comparar se desarrollan en sistemas de lazo cerrado. Como se observa en la Figura 3.2.

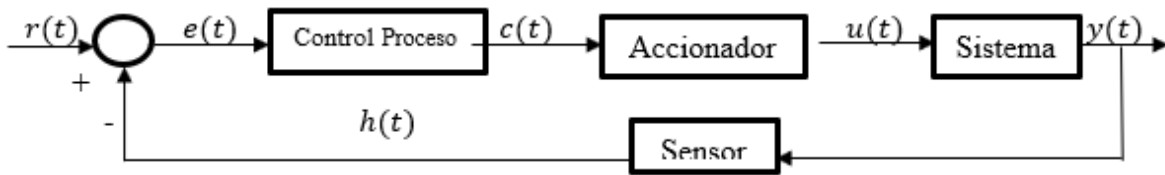


Figura 3.2: Sistema de control de lazo cerrado

Fuente: [11]

$r(t)$: Valor de consigna (set point).

$e(t)$: Error ($r(t) - h(t)$).

$c(t)$: Variable controlada.

$u(t)$: Variable manipulada.

$y(t)$: Variable de proceso.

$h(t)$: Variable de proceso medida.

3.2.6 Tipos de sistemas de control de lazo cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado se pueden clasificar en diversas formas, dependiendo del propósito de la clasificación. Por ejemplo, de acuerdo con el método de análisis y diseño, los sistemas de control se clasifican en lineales o no lineales, variantes en el tiempo o invariantes en el tiempo. De acuerdo con los tipos de señales usados en el sistema, se hace referencia a sistemas en tiempo continuo y tiempo discreto, o sistemas modulados o no modulados.

En general, existen muchas formas de identificar a un sistema de control de acuerdo con alguna función especial del sistema, es importante que algunas de estas formas comunes de clasificar a los sistemas de control sean conocidas para obtener una perspectiva propia antes de embarcarse en su análisis y diseño [10].

3.2.7 Sistemas de control lineales

Estrictamente hablando, los sistemas lineales no existen en la práctica, ya que todos los sistemas físicos son no lineales en algún grado. Los sistemas de control realimentados son modelos ideales fabricados por el analista para simplificar su análisis y diseño. Cuando las magnitudes de las señales en un sistema de control están limitadas en intervalos en los cuales los componentes del sistema exhiben una característica lineal (por ejemplo, se aplica el principio de superposición), el sistema es esencialmente lineal. Para sistemas lineales existe una gran cantidad de técnicas analíticas y gráficas para fines de diseño y análisis [10].

3.2.8 Sistemas de control no lineales

Cuando las magnitudes de las señales en un sistema de control se extienden más allá del intervalo de porción lineal, dependiendo de la severidad de la no linealidad, el sistema no se puede seguir considerando lineal. Por ejemplo, los amplificadores usados en sistemas de control a menudo exhiben un efecto de saturación cuando la señal de entrada es muy grande [10].

3.2.9 Sistemas de control variantes en el tiempo

Cuando los parámetros de un sistema de control varían de acuerdo con el tiempo durante la operación del sistema, el sistema se considera variante en el tiempo. En la práctica la mayoría de los sistemas físicos contienen elementos que derivan o varían con el tiempo [10].

3.2.10 Sistemas de control invariantes en el tiempo

Cuando los parámetros de un sistema de control son estacionarios con respecto al tiempo durante la operación del sistema, el sistema se considera invariante en el tiempo [10].

3.2.11 Sistemas de control en tiempo continuo

Un sistema de tiempo continuo es aquel en que las señales en varias partes del sistema son todas funciones de la variable de tiempo t . Entre todos los sistemas de control en tiempo continuo, las señales se pueden clasificar como de CA o de CD. A diferencia de la definición general de señales de ca y cd utilizadas en ingeniería eléctrica, los sistemas de control de ca y cd tienen un significado especial en la terminología de los sistemas de control. Cuando se hace referencia a un sistema de control de ca, usualmente significa que las señales del sistema están moduladas según algún esquema de modulación. Por otro lado, cuando se hace referencia a un sistema de control de cd, no significa que todas las señales en el sistema sean unidireccionales; entonces no habría movimientos de control correctivo. Un sistema de control de cd simplemente implica que las señales no son moduladas [10].

3.2.12 Sistemas de control en tiempo discreto

Los sistemas de control en tiempo discreto difieren de los sistemas de control en tiempo continuo en que las señales o más puntos del sistema son, ya sea en forma de pulsos o en un código digital. Normalmente, los sistemas en tiempo discreto se subdividen en sistemas de control de datos muestreados y sistemas de control digital. Los sistemas de control de datos muestreados se refieren a la una clase más general de sistemas en tiempo discreto en los que las señales están en la forma de pulsos de datos. Un sistema de control digital se refiere al uso de una computadora o controlador digital en el sistema, de tal forma que las señales están en código digital, tal como un código binario [10].



Figura 3.3: Sistemas de control en tiempo discreto

Fuente [11]

La Figura ilustra cómo funciona un sistema de datos muestreados. Una señal continua de entrada $r(t)$ es aplicada al sistema. La señal de error $e(t)$ es muestreada por un dispositivo de muestreo, cuya salida es una secuencia de pulsos.

3.2.13 Análisis de sistemas

En el análisis y diseño de sistemas de control es necesario tener una base para comparar los sistemas de control. Esto se hace especificando señales de entrada de prueba y comparando las respuestas de varios sistemas a estas señales de entrada. Las señales de prueba usadas normalmente son: impulso, escalón y rampa [12]. La Figura muestra dichas señales y sus características.

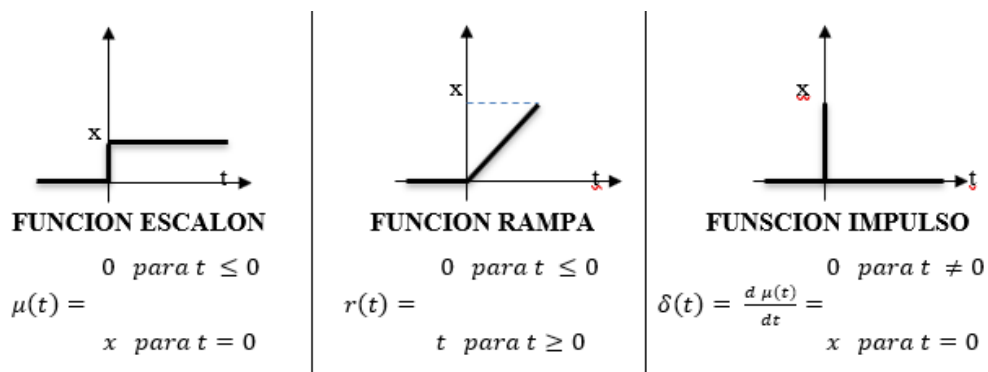


Figura 3.4: Análisis de sistemas

Fuente: [11]

3.2.14 Función de transferencia

La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente de la transformada de Laplace de la señal de salida y la transformada de Laplace de la señal de entrada, suponiendo todas las condiciones iniciales nulas.

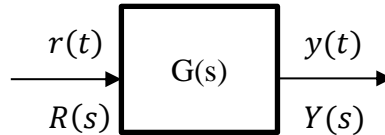


Figura 3.5: Función de transferencia

Fuente: [11]

La función de transferencia del sistema $G(s)$ es:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} \quad (3.1)$$

Las raíces del polinomio del numerador de $G(s)$ son los ceros del sistema (z_i), las raíces del polinomio del denominador de $G(s)$ son los polos del sistema (p_j) y el orden del sistema corresponde al grado del polinomio del denominador de $G(s)$ [13].

3.2.15 Sistemas de primer orden

Un sistema de primer orden es aquel que sólo posee un polo y cuya función de transferencia tiene la forma [14]:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K}{T_{s+1}} \quad (3.2)$$

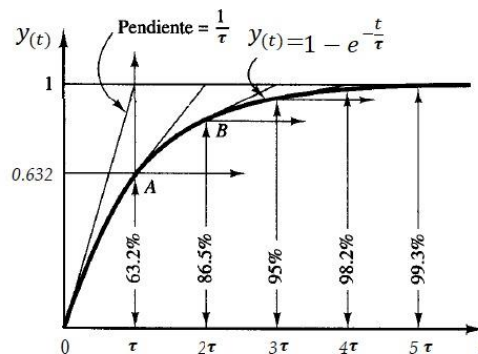


Figura 3.6: Curva característica del sistema de primer orden

Fuente: [15]

3.2.16 Sistemas de segundo orden

Un sistema de segundo orden es aquel que posee dos polos y cuya función de transferencia tiene la forma:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{Wn^2}{s^2 + 2\zeta Wns + Wn^2} \quad (3.3)$$

Donde el término Wn se denomina frecuencia natural y ζ es el coeficiente de amortiguamiento [16].

3.2.16.1 Caso sub amortiguado ($0 < \zeta < 1$)

Los polos de lazo cerrado son complejos conjugados y nacen en el semiplano “s” izquierdo [17].

$$\frac{Y(s)}{u(s)} = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta + j\omega_d)(s + \zeta\omega_n - j\omega_d)} \quad (3.4)$$

Donde $\omega_d = \omega_n\sqrt{1 - \zeta^2}$ se denomina “frecuencia natural amortiguada”

Si $u(s)$ es una entrada escalón:

$$y(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)s} \quad (3.5)$$

Utilizamos fracciones parciales

$$y(s) = \frac{1}{s} - \frac{s + \zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2} - \frac{\zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2 + \omega_d^2} \quad (3.6)$$

Aplicando Laplace:

$$L^{-1} \left[\frac{s + \zeta\omega_n}{(s + \zeta\omega_n)^2} \right] = e^{-\zeta\omega_n t} \cos \omega_d t \quad (3.7)$$

$$L^{-1} \left[\frac{\omega_d}{(s + \zeta\omega_n)^2} \right] = e^{-\zeta\omega_n t} \sen \omega_d t \quad (3.8)$$

Se obtiene la salida en el tiempo

$$y(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sen \left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta} \right) \quad (t \geq 0) \quad (3.9)$$

3.2.16.2 Caso de amortiguamiento critico ($\zeta > 1$)

En este caso se tiene dos polos reales iguales e $y(s)$, ante un escalón resulta:

$$y(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \omega_n)^2 s} \quad (3.10)$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace, la respuesta temporal resulta:

$$y(t) = 1 - e^{-\omega_n t} \quad (t \geq 0) \quad (3.11)$$

3.2.16.3 Caso sobre amortiguado ($\zeta > 1$)

En este caso se tiene dos polos reales negativos y diferentes. Para una entrada escalón, $y(s)$ es:

$$y(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})(s + \zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})s} \quad (3.12)$$

Aplicando la transformada inversa de Laplace a la ecuación resulta:

$$y(t) = 1 + \frac{1}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})} e^{-(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} - \frac{1}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})} e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \quad (3.13)$$

Para este caso la respuesta temporal resulta:

$$y(t) = 1 = e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \quad \text{para } t \leq 1 \quad (3.14)$$

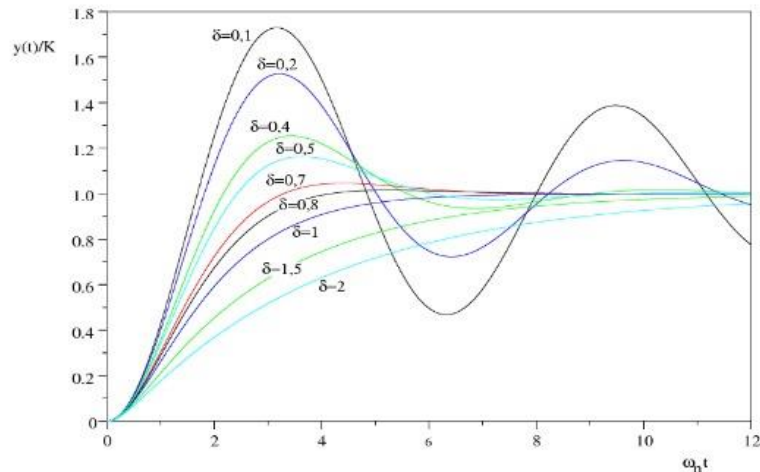


Figura 3.7: Curva característica del sistema de segundo orden

Fuente: [17]

La medición es un elemento crítico de un lazo de control cerrado, ya que capta la señal de la variable de proceso y la lleva a la entrada del controlador para que sea comparada con el punto de consigna, determinando el error y la acción de control. Como el controlador lee una señal eléctrica en un rango determinado, la señal física debe ser transformada y acondicionada para que pueda ser interpretada por el controlador, por lo cual la etapa de medición consta de 3 elementos: sensor, transductor y transmisor [18].

3.2.17 Sensor

Elemento primario de medición de las variables del proceso, siendo algunos usados para la lectura e indicación de manera local y otros para que la señal sea enviada a un sistema de control.

3.2.18 Transductor

Es el instrumento o dispositivo capaz de transformar la energía disponible de una magnitud física en otra que el sistema pueda aprovechar y así realizar su objetivo de medición y control [19].

3.2.19 Transmisor

Es el dispositivo capaz de establecer la señal medida en valores conocidos, estándar o en un protocolo de red industrial (acondicionamiento de señal), de manera que pueda ser interpretado por un sistema de supervisión o control.

3.3 CONTROLADOR

Es el elemento encargado de decidir el tipo de acción sobre el elemento final de control para mantener la variable de proceso dentro de los límites aceptables. El controlador tiene dos funciones esenciales: comparar la variable de proceso medida con la señal de referencia deseada para determinar el error que existe entre ellas y enviar la señal al actuador para modificar su acción en el sentido adecuado para reducir el error.

En industria existen distintos tipos de controladores, de distintos fabricantes, envergadura, arquitecturas, etc. La elección depende de la complejidad, criticidad y especificaciones del proceso a controlar, además del presupuesto de la empresa [20].

3.3.1 Controlador lógico programable

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC, es un computador utilizado en la automatización industrial para automatizar procesos electromecánicos [21].

Un PLC está diseñado para manejar múltiples señales de entrada y salida. Son muy utilizados en industria debido a su robustez, ya que pueden funcionar a rangos de temperatura amplios,

poseen inmunidad al ruido eléctrico, resistencia a la vibración y al impacto.

Los programas para el control del funcionamiento del equipo se almacenan en baterías, copias de seguridad y memorias no volátiles.

3.3.2 Actuador

El actuador es el elemento final de control, es el encargado de regular la variable de proceso a través de la variable manipulada, la cual obedece a la señal enviada por el controlador.

En la industria existen varios ejemplos de actuadores como motores eléctricos, bombas, válvulas, variadores de frecuencia, etc. Se describen a continuación [22].

3.3.3 Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica mediante interacciones electromagnéticas. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía de la industria [23].

3.3.4 Bomba

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica la cual permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo o a diferentes niveles y/o a diferentes velocidades [24].

3.3.5 Válvula

Es un aparato mecánico que puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye parcialmente uno o más orificios o conductos [25].

3.3.6 Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y la regula antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del proceso.

Los variadores de frecuencia reducen la potencia de salida de una aplicación, como una bomba o un ventilador, mediante el control de la velocidad del motor, garantizando que no funcione a una velocidad superior a la necesaria [26].

3.4 ESTRATEGIAS DE CONTROL CONVENCIONAL

3.4.1 Control manual

El control manual es el tipo de control en el que existe intervención de una persona en la acción de control y regular el comportamiento del sistema. Esta persona (en industria llamado operador) participa en forma activa para conducir al sistema a los valores deseados. En industria la participación del operador puede ser tanto local como remota.

El control manual local lo realiza un operador de campo registrando la inspección del sistema a través de los sentidos y de indicadores locales de variables de proceso. El control manual remoto lo realiza un operador de cuarto de control a través de una computadora que cuenta con un interfaz que muestra en tiempo real el funcionamiento de la planta (Sistema SCADA), además de las variables de proceso críticas y alarmas [27].

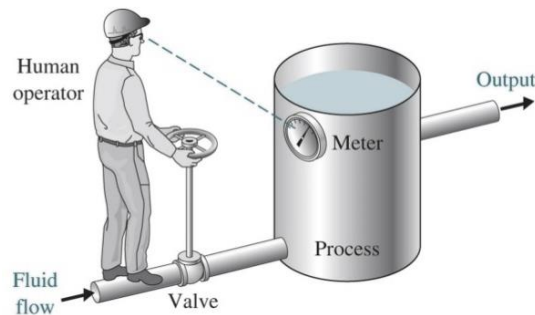


Figura 3.8: Control Manual

3.4.2 Control On/Off

El control On/Off como su nombre lo indica es un control todo o nada, encendido o apagado, abierto o cerrado, sólo tiene dos posiciones como un interruptor. Produce una continua desviación del valor de referencia ya que no tiene la capacidad de producir un valor exacto en la variable controlada.

Este tipo de control se caracteriza por su sencillez y facilidad de diseño, pero tiene la gran desventaja de producir un desgaste considerable en el actuador, ya que al llegar a la cercanía del punto de referencia el controlador enviará comandos sucesivos de encendido y apagado, lo cual no es aceptable en la mayoría de las aplicaciones prácticas.

Una de las pocas aplicaciones que puede tener este tipo de control es el control de temperatura, debido a la característica inherente de variación lenta de esta variable [28].

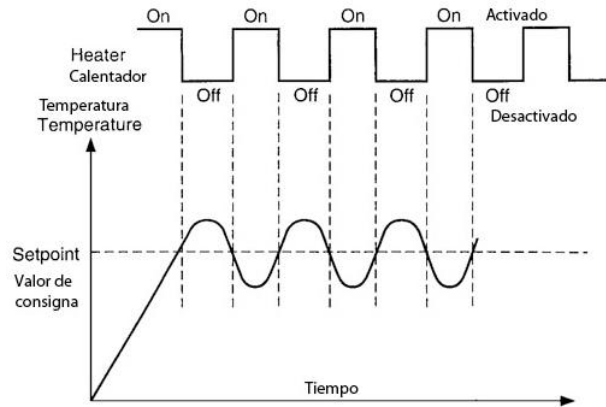


Figura 3.9: Control On / Off

3.4.3 Control On/Off con histéresis

Es una variación del control On/Off para hacerlo más viable en términos prácticos. Consiste en establecer una banda en la que la variable de proceso puede permanecer sin producir una acción en el actuador. De esta forma se reduce el desgaste en el mismo y su ciclo de vida permanece dentro de márgenes aceptables.

Este tipo de control se usa en aplicaciones no críticas debido a que la variable de proceso no seguirá a un valor fijo, sino que oscilará entre un rango amplio de valores. En industria es usado en varios sistemas secundarios como por ejemplo el control de nivel de un sumidero o el control de temperatura de una oficina [28].

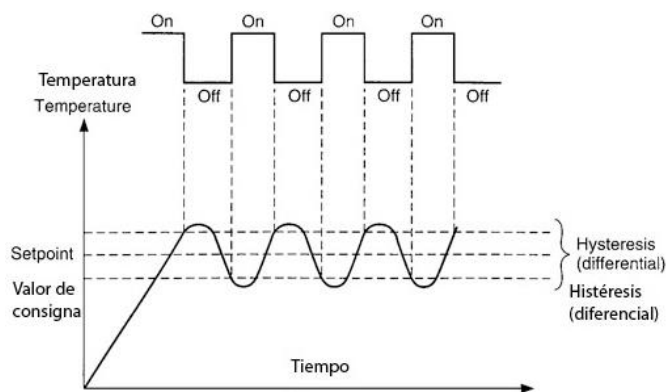


Figura 3.10: Control On/Off con histéresis

3.4.4 Control de relación

El control de relación (ratio) es una estrategia de control que se caracteriza por mantener la misma relación de dos o más señales que están estrictamente relacionadas. Normalmente se tienen dos señales, una de ellas es llamada señal libre y la otra es la señal controlada. Esta última

depende directamente del valor de la señal libre. Es usado en aplicaciones de mezclas de sustancias con una composición definida.

En la Figura se puede apreciar un ejemplo de control de relación. El caudal controlado (FIC-102) aumenta o disminuye para mantener la relación correcta con el caudal libre (FT-101), este último no es controlado por el lazo. El valor deseado para el controlador es igual al valor medido del caudal libre multiplicado por un valor definido, este factor puede ser fijo o ajustado por el operador [29].

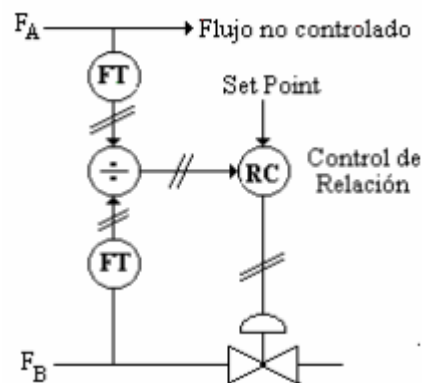


Figura 3.11: Diagrama de Control de relación

3.4.5 Control feedforward

El control feedforward, también llamado prealimentación, es una estrategia de control que mide las perturbaciones que llegan al sistema y actúa compensando las mismas para que no modifiquen significativamente la salida. Permite prever las modificaciones que va a sufrir el sistema y las compensa antes de que la salida del sistema cambie, siempre y cuando la perturbación sea una señal medible. El control feedforward puro sólo responde a perturbaciones del sistema ya que es un sistema de control de lazo abierto, el error se suele presentar debido a que no se mide ni se compensa la salida del sistema. Ya que el control feedforward es una estrategia de control en lazo abierto se suele combinar con otras estrategias de control en lazo cerrado que permitan reducir el error en la salida, como un control PID. Podría decirse que el control feedforward es anticipativo y el control en lazo cerrado es correctivo, combinando ambos se puede mejorar significativamente el desempeño de un sistema [30].

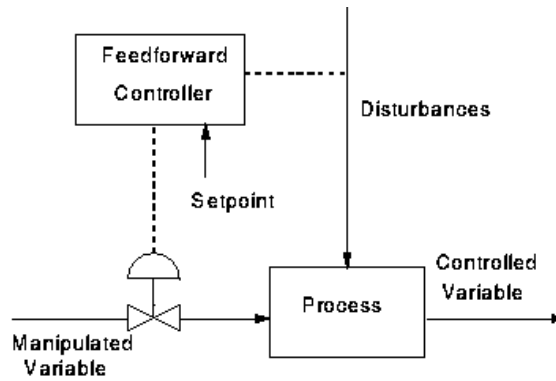


Figura 3.12: Diagrama Control feedforward

3.4.6 Control PID

Un controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es un mecanismo de control genérico sobre una realimentación de bucle cerrado, ampliamente usado en la industria para el control de procesos. El PID es un sistema cuya entrada es un error calculado a partir de la variable de proceso deseada (punto de consigna) menos la variable de proceso obtenida y cuya salida es utilizada como entrada en el sistema que se desea controlar. El controlador intenta minimizar el error ajustando la entrada del sistema.

El controlador PID está determinado por tres parámetros: el proporcional, el integral y el derivativo. Dependiendo de la modalidad del controlador alguno de estos valores puede ser cero. Cada uno de estos parámetros influye sobre alguna característica de la salida (tiempo de establecimiento, sobre oscilación, etc.) [31].

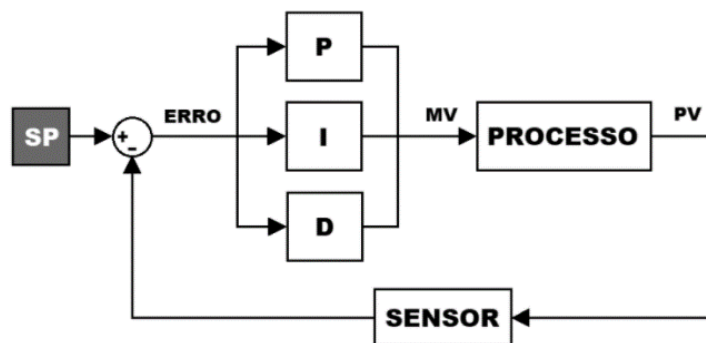


Figura 3.13.: Diagrama de control PID

3.4.6.1 Acción proporcional

La respuesta proporcional es la base de los tres modos de control, si los otros dos están presentes, éstos son sumados a la respuesta proporcional. La acción proporcional se refiere a que el cambio en la salida del controlador es proporcional al cambio en la variable de proceso medida, este múltiplo es llamado “ganancia” del controlador [31].

3.4.6.2 Acción integral

La acción integral proporciona una respuesta proporcional a la integral del error, esta acción elimina el error en régimen estacionario provocado por la acción proporcional. Sin embargo, se obtiene un mayor tiempo de establecimiento, una respuesta más lenta y un periodo de oscilación mayor [31].

3.4.6.3 Acción derivativa

La acción derivativa proporciona una respuesta proporcional a la derivada del error (razón de cambio del error). Añadiendo esta acción de control a las anteriores se disminuye el exceso de las sobre oscilaciones [31].

3.4.7 Estrategias De Control Avanzado

El término “Control avanzado de procesos” es bastante subjetivo, pudiendo tener diferentes significados para diferentes personas, dependiendo de su historial y experiencia. De manera general, describe una práctica que reúne elementos de varias disciplinas desde ingeniería de control, procesamiento de señales, estadística, inteligencia artificial hasta ingeniería de hardware y software [32].

El control avanzado hace referencia a la aplicación de estrategias de control automático que trascienden a las que usualmente se aplican en control de procesos. A continuación, se numeran algunas estrategias de control avanzado y se referencian las respectivas fuentes de búsqueda para mayor detalle.

3.4.8 Control robusto

En la teoría de control robusto el sistema es tratado matemáticamente como un conjunto o una familia de modelos, representada por un modelo nominal con incertidumbre acotada. Esta incertidumbre puede ser agregada al modelo nominal de diferentes formas, llevando a diferentes tratamientos del problema [33].

3.4.9 Control adaptativo

El control adaptativo es un tipo de control que consiste en adaptar los parámetros variables de un proceso a fin de mantener un funcionamiento adecuado de un sistema.

Un sistema de control adaptativo posee las siguientes etapas de funcionamiento:

- Funciona con las condiciones del controlador definidas en base a una condición supuesta.
- El desempeño deseable se compara continuamente con el desempeño real del sistema.
- Los parámetros del sistema de control se ajustan de manera automática y continua para minimizar la diferencia entre el desempeño deseado y el real [34].

3.4.10 Control predictivo

El control predictivo utiliza el modelo matemático del proceso a controlar para predecir el comportamiento futuro del sistema, y en base a este comportamiento futuro puede predecir la señal de control futura [35].

Un controlador predictivo posee una estrategia de funcionamiento específica con pasos definidos.

3.4.11 Control Fuzzy

El control Fuzzy se basa en el concepto de lógica difusa, la cual está asociada con la manera en la que las personas perciben el medio, por ejemplo, con la altura de una persona o la temperatura dominante en una habitación, cotidianamente se formulan de manera ambigua y dependiendo de quién perciba el efecto físico o químico, será su enunciado acerca de tal fenómeno. Una persona puede tener una estatura baja, mediana, alta, o una temperatura podría s baja, moderada, o alta, se dice que estas afirmaciones acerca de alguna variable son ambiguas porque bajo o alto son afirmaciones del observador y estas pueden variar de un observador a otro. Uno se puede preguntar qué tan baja es la temperatura cuando decimos frío, o qué tan alta es cuando decimos caliente.

Los conjuntos difusos definen justamente estas ambigüedades, los cuales intentan modelar la ambigüedad con la que se percibe una variable. Con los conjuntos Fuzzy se realizan afirmaciones lógicas de si – entonces, que intentan emular el pensamiento humano. En el caso del control en industria, se debe tener en cuenta la experiencia o base de conocimiento del operador [36].

Los conceptos generales del control Fuzzy se detallan a continuación.

3.4.11.1 Controlador Proporcional-Integral (PI)

Un controlador integral disminuye el tiempo de crecimiento, aumenta tanto el sobre pico como el tiempo de establecimiento, y elimina el error de estado estable. La función de transferencia de lazo cerrado con la adición del controlador integral es:

$$G(s) = \frac{K_p s + K_i}{s^3 + 2\mathcal{L}W_n s^2 + (W_n^2 + K_p)s + K_i} \quad (3.15)$$

Siendo la señal de control u en función del error

$$u = K_p e + K_i \int e \quad (3.16)$$

Para el controlador Fuzzy se podría hacer lo mismo que para el control PID lo que nos llevaría a un juego de reglas mayor por las tres variables a considerar, o también se podría incluir un integrador a la salida del error y alimentar un segundo controlador difuso proporcional,

sumando su salida al primer controlador difuso proporcional para obtener un control PI [37].

3.4.11.2 Conjuntos Fuzzy

Los conjuntos Fuzzy son una extensión de los clásicos, donde se añade una función de membresía, la cual está definida como un número real entre 0 y 1. Se le asocia un determinado valor lingüístico, definido por una palabra o etiqueta lingüística, la cual es el nombre del conjunto o subconjunto. Por cada conjunto se define una función de membresía denominada $\mu_A(x)$, que indica el grado en que la variable x está incluida en el concepto representado por la etiqueta A ($0 \leq \mu_A(x) \leq 1$), si esta función toma el valor 0 significa que tal valor de x no está incluido en A y si toma el valor 1 significa que está absolutamente incluido en A [38].

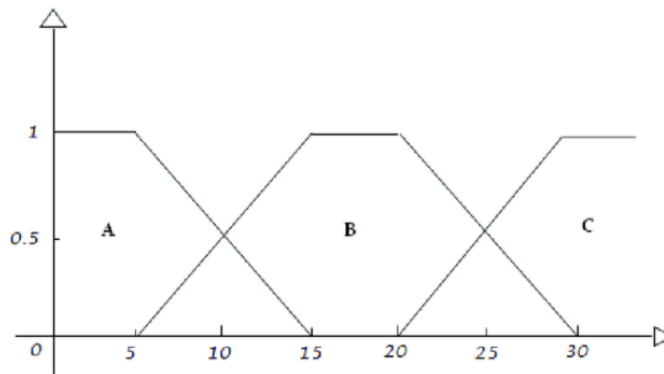


Figura 3.14: Conjuntos Difusos

3.4.11.3 Funciones de membresía

Las funciones de membresía representan el grado de pertenencia de un elemento a un subconjunto definido por una etiqueta [39].

Existen varias formas para las funciones de membresía, las más comunes se detallan en la Figura 3.15.

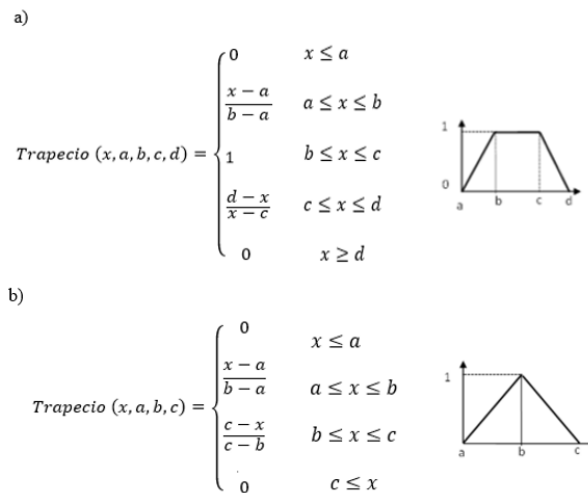


Figura 3.15: Funciones de Membrecía

3.4.11.4 Operaciones Fuzzy

A los subconjuntos se les puede aplicar determinados operadores o realizar operaciones entre ellos, al aplicar estas operaciones a un conjunto se obtiene otro conjunto.

Se definen a continuación 3 operaciones básicas a realizar sobre conjuntos, estas operaciones complemento, unión e intersección. Sean las etiquetas A y B las que identifican a dos conjuntos difusos asociados a una variable x, las operaciones se definen como:

$$1. \text{Complemento.} \quad uA(x) = 1 - uA(x) \quad (3.17)$$

$$2. \text{Unión.} \quad uA \cup B(x) = \max [uA(x), uB(x)] \quad (3.18)$$

$$3. \text{Intersección.} \quad uA \cap B(x) = \min [uA(x), uB(x)] \quad (3.19)$$

Estas operaciones pueden verse como las operaciones lógicas NOT, OR y AND respectivamente [44].

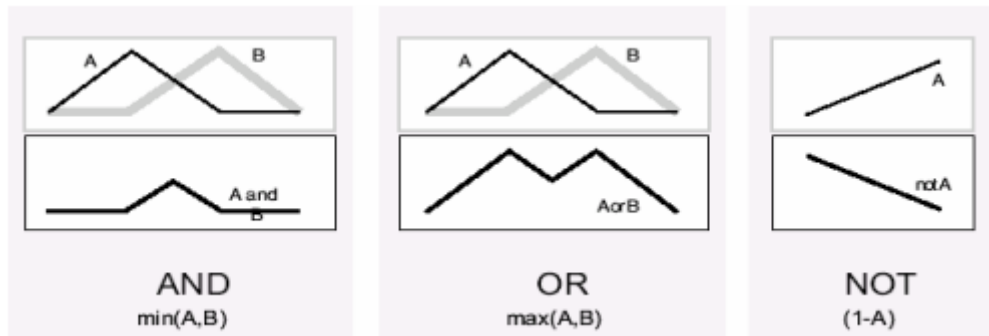


Figura 3.16: Operaciones Difusas

3.4.11.5 Fuzzificación

El control Fuzzy siempre involucra este proceso de Fuzzificación, esta operación se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema de inferencia Fuzzy. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo de discurso (variable medida del proceso) en un valor en cada función de membresía a las cuales pertenece.

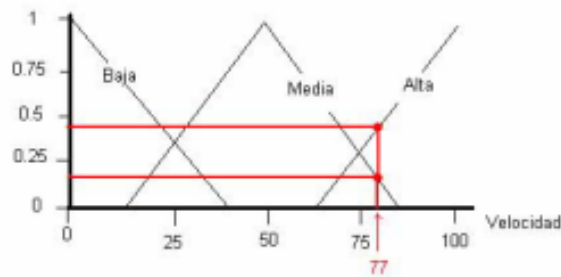


Figura 3.17: Fuzzificación

3.4.11.6 Reglas Fuzzy

Los controladores Fuzzy usan reglas que combinan uno o más conjuntos borrosos de entrada (antecedentes) y le asocian un conjunto borroso de salida (consecuente). Son afirmaciones del tipo si – entonces, los conjuntos difusos del antecedente se asocian mediante operaciones lógicas difusas.

Las reglas difusas son proposiciones que permiten expresar el conocimiento que se dispone entre antecedentes y consecuente. Para expresar este conocimiento de manera completa se requieren varias reglas que se agrupan formando la base de reglas, la edición de la base de reglas determina cual será el comportamiento del controlador difuso y es aquí donde se emula el conocimiento o experiencia del operador en el proceso.

La base de reglas suele representarse por tablas, en la medida que la cantidad de variables lingüísticas crece, también lo hará la tabla, y más difícil será su edición. Junto a cada regla puede estar asociado un valor entre cero y uno que brinda un peso a tal regla, esto es importante cuando una regla tiene un menor o mayor peso que otras de la base de reglas.

Existe gran variedad de tipos de reglas, pero en general se emplean dos: Mamdani y Takagi-Sugeno, cuya estructura se detalla a continuación [38].

Reglas Fuzzy de Mamdani

IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C THEN u_1 is D

Reglas Fuzzy de Takagi-Sugeno

IF x_1 is A AND x_2 is B AND x_3 is C THEN $u_1=f(x_1, x_2, x_3)$

Las principales diferencias entre una estructura Mamdani y Sugeno son [45]:

Mamdani:

- Posee una función de membresía como salida.
- El resultado es obtenido a través de reglas de defuzzificación.
- Superficie de salida no continua.

- Aplicable a sistemas MISO y MIMO.
- Fácil de interpretar.
- Poca flexibilidad para el diseño.
- Alta carga computacional.

Sugeno:

- No posee una función de membresía como salida.
- El resultado es obtenido a través de un promedio ponderado del consecuente.
- Superficie de salida continua.
- Aplicable sólo a sistemas MISO.
- Difícil de interpretar.
- Bastante flexibilidad para el diseño.
- Baja carga computacional.

3.4.11.7 Defusificación

La defusificación (defuzzyfication) es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real. El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos difusos. Esta conclusión o salida difusa es obtenida por la etapa de inferencia borrosa, esta genera un conjunto borroso pero el dato de salida del sistema debe ser un número real y debe ser representativo de todo el conjunto obtenido en la etapa de agregado, es por eso que existen diferentes métodos de defusificación y arrojan resultados distintos, el “más común y ampliamente usado” es el centroide. Con el método de defusificación del control se se transforma la salida difusa en un número real el cual es la coordenada equis (x) del centro de gravedad de tal conjunto difuso de salida

3.4.11.8 Sistema de inferencia Fuzzy

La inferencia Fuzzy es el proceso de formulación del mapeo de una entrada dada hacia una salida usando lógica Fuzzy. Este mapeo provee la base para tomar decisiones o discernir patrones. El proceso de inferencia Fuzzy comprende 5 partes detalladas a continuación [40].

3.4.11.9 Indicadores de rendimiento

Toda organización requiere manejar información sobre el estado de los distintos procesos que desarrolla y compararlo con los objetivos trazados. Para lograr esto, es necesario implementar variables medibles que representen el rendimiento del negocio, llamados indicadores de

rendimiento. Estos indicadores deben poseer una serie de características que permitan ser fácilmente interpretados y utilizados en con la finalidad de mejorar el desempeño de todas las partes que componen la organización. Un indicador es un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en una organización, proceso, negocio, etc., respecto a las expectativas en cuanto a calidad, producción, costos y plazos. Son prácticamente imprescindibles en el manejo de una empresa, ya que siempre se debe conocer el estado y rendimiento de sus procesos.

Los indicadores deben ser claros, medibles, entendibles, controlables, fiables y objetivos. Proporcionan visibilidad e información para facilitar valores comparables con objetivos, esto facilita la prevención de sucesos que puedan perjudicar a la organización [41]

3.4.11.10 Indicadores clave de rendimiento

Existen indicadores que representan variables más críticas que otras, o brindan un conocimiento más específico o determinante sobre la calidad y el desempeño del proceso o producto. Estos indicadores son llamados indicadores clave de rendimiento, más conocidos por sus siglas en ingles KPI.

Los indicadores se organizan en un cuadro donde se extraen los más importantes, surgiendo los KPI. Como todo indicador, un KPI está directamente relacionado con un objetivo fijado previa y normalmente se expresa en valores porcentuales. Son mediciones utilizadas para cuantificar el cumplimiento de los objetivos, reflejan el rendimiento de una organización y generalmente se recogen en su plan estratégico para definir una línea de acción futura [42].

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MÉTODOS UTILIZADOS

La presente propuesta tecnológica implementa el Control Clásico PID y un Control Moderno como es el Fuzzy en un proceso de flujo, que lleva a su respectiva sustentación de aspectos teóricos y técnicos utilizando la modalidad de investigación bibliográfica en la que se recopila antecedentes y trabajos relacionados necesarios a su implantación de cada control. La investigación de campo ayuda en la toma de datos de las variables reales que se manejan mediante técnicas de control y la investigación experimental, que se realizó varias pruebas de control de la variable de flujo.

Los métodos utilizados en la implantación de los diferentes controladores se utilizan de tipo deductivo y experimental, la anterior ayuda en la manipulación de las variables de la planta dando así la obtención de un modelo matemático de la misma. Por otro lado, el método deductivo mediante su aplicación permite la obtención de datos de los resultados de la planta que permiten los mismos la correcta sintonización de cada uno de los controladores y su diseño en su Software de control. Como también se utiliza el método cuantitativo permite la evaluación de cada uno de los controladores implementados.

4.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES

- **Variable Dependiente**

Funcionamiento del Controlador PID y Fuzzy

- **Variable Independiente**

Parámetros de funcionamiento de los controladores

4.2.1 Operaciones de las variables

Tabla 4.1: Variable dependiente

VARIABLE	UNIDAD	INSTRUMENTOS
Funcionamiento del controlador PID y Fuzzy	- Segundos (s) - Porcentual (%)	- Cronómetro - Análisis de estabilidad

Tabla 4.2 :Variable Independiente

VARIABLE	UNIDAD	Instrumentos
Parámetros de funcionamiento de los controladores	Adimensional	Software de contabilidad (EXCEL) Admite archivos .txt

4.2.2 Procedimientos, métodos y materiales

Tabla 4.3: Procedimientos, métodos y materiales

Procedimiento	Método	Materiales o instrumentos
Adquisición de datos y obtención del modelo matemático	Experimental	Modulo Didáctico de flujo Tarjeta NI myRIO Ordenador personal PLC s7-1200 Servidor OPC
Implementación de controladores	Deductivo	Modulo Didáctico de flujo Tarjeta NI myRIO PLC s7-1200 Ordenador personal Servidor OPC
Evaluación de desempeño	Cuantitativo	Software de contabilidad

4.3 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE FLUJO

La planta o proceso a controlar se encuentra diseñado como un banco de pruebas para la ejecución de prácticas de laboratorio, en el cual el agua circula desde un tanque de reservorio hacia un tanque elevado principal. El elemento actuador de la planta lo conforma una bomba centrífuga, encargada de hacer circular el agua a través del circuito, misma que es comandada por la señal proveniente de un variador de frecuencia, logrando así que el líquido sea bombeado de acuerdo a los requerimientos del usuario. La Figura 4.1 presenta el esquema P&ID de la planta según la norma ANSI-ISA S5.1.

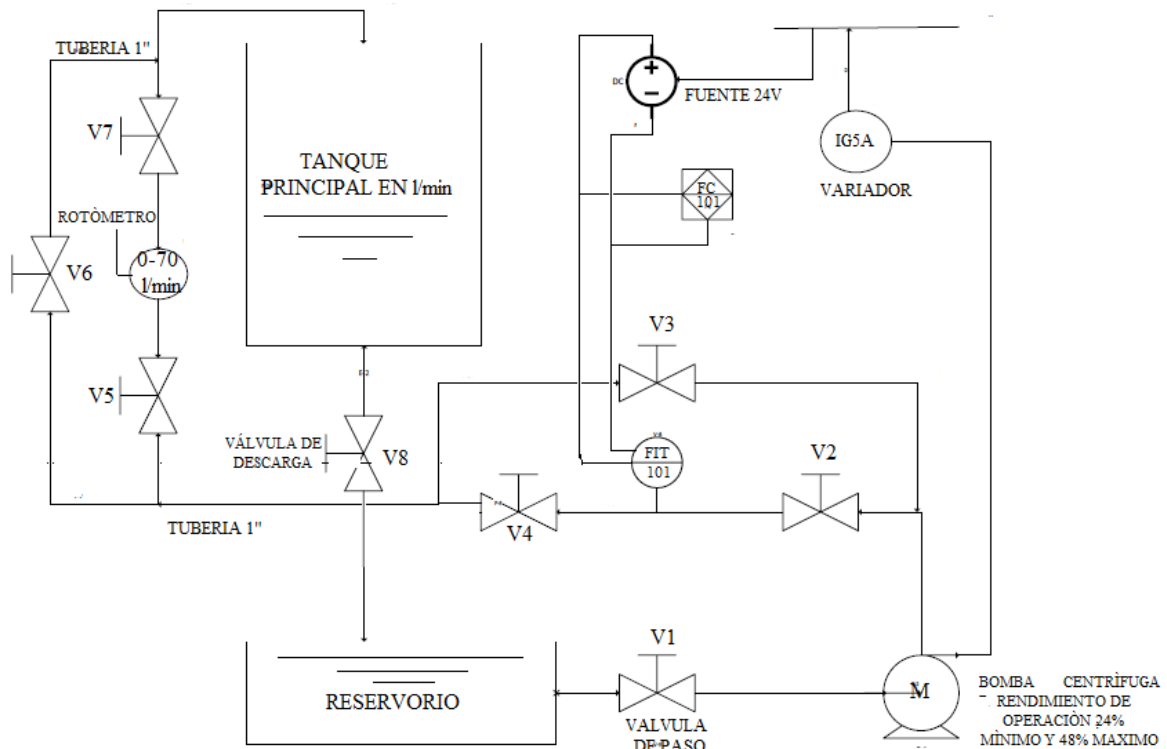


Figura 4.1: Diagrama del módulo de Flujo

Válvulas de paso manual: La principal función de las válvulas V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8 es la de facilitar el trabajo de mantenimiento de la planta, sin embargo, pueden cumplir con una función adicional generando perturbaciones externas.

Bomba centrífuga: La bomba centrífuga M1 trifásica, con una potencia de 3 HP, tienen la función de impulsar el agua para que circule por el circuito de tuberías.

Elemento primario de flujo: Indica el elemento primario de medición de caudal, en este caso un sensor de flujo CX-LTFM-25-304-4-D-D-T de tipo turbina, mismo que se encuentra conectado internamente a un transmisor.

Transmisor indicador de flujo: Transmisor de flujo CX-LTFM-25-304-4-D-D-T con pantalla digital, alimentación de 24V, cuya función es transformar la variable física en una señal de corriente de 4-20mA.

Tanques 1-2: Reservorios construidos de acrílico cuya función es almacenar el líquido circulante. Adicionalmente en el tanque 1 se pueden ejecutar prácticas de control de nivel.

Controlador de flujo: Tanto MyRIO como Simulink serán los elementos principales del control, aquí se procesan las señales de entrada y salida del sistema, pudiendo tener conexión directa con un computador externo y visualizar el comportamiento de las variables.

Elemento de control final de flujo: el elemento final de control es un variador de frecuencia iG5A, el cual se encarga de variar la velocidad de la bomba centrífuga, logrando así un control indirecto sobre el flujo de salida de la bomba.

Si se desea saber cómo lograr un efectivo control de flujo de bombas centrífugas en aquellos procesos en los cuales se busca alcanzar un rango de flujo muy amplio, por ejemplo, un rango de 20% a 100% del flujo nominal, se debe utilizar una combinación del mejor método de control de flujo de bombas que es el variador de frecuencia y una válvula de control, con un algoritmo de control de rango dividido, ya que este método regula los altos caudales hasta un cierto mínimo. [43]

Entrada (Variable de Control): Esta corresponde a una señal de voltaje en el rango de 0 a 10V la cual se envía al variador de frecuencia iG5A por medio del puerto analógico de salida de la tarjeta myRIO

Salida (Variable de Proceso): La señal proveniente del sensor de flujo corresponde a la salida o variable de proceso, misma que genera una señal de corriente en el rango de 4 a 20mA. Para facilitar la adquisición de esta señal es necesario adecuarla a una señal de voltaje, haciendo uso de una resistencia de 250Ω conectada en serie a la señal de corriente que proporciona el sensor, obteniendo así una señal de voltaje en el rango de 1 a 5V tomada en paralelo de la resistencia.

4.4 RANGO DE FUNCIONAMIENTO Y CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA

Antes de la adquisición de datos del proceso se debe revisar minuciosamente el funcionamiento del mismo para así determinar sus rangos de funcionamiento tanto nuestro sensor de Flujo (PV) como el variador de frecuencia (CV).

Una vez ya realizado las configuraciones y conexiones de cada uno de los elementos detallados se procede dar valores en corriente continua al variador de 0 a 10V de forma escalonada de tal manera que se pueda visualizar rangos de operación del módulo que se detallan a continuación.

En el funcionamiento del proceso se puede constatar que los rangos de operación con más estabilidad son entre 35 y 100 l/min esto se debe al diseño y perdidas del módulo como también el rango de medida del sensor utilizado ya que no mide con exactitud el rango de 0 a 25 l/min desde su puesta en marcha, por lo contrario, en escalones de descenso si puede tomar la lectura, pero no con exactitud.

Tabla 4.4: Rango de funcionamiento y configuración de la planta

Voltios variador	Voltios sensor	LPM	Acción
1-2.3	0.99-1	0	No hay circulación de fluido
2.3-3	1.11-2.07	2.21-27.18	Circula un mínimo de fluido con errores
3-3.5	2.07-2.48	27.18-36.79	Circulación de fluido inestable
3.5-6.5	2.48-4.3	36.79-83.68	Circulación de fluido óptimo para trabajar
6.5-10	4.3-5	83.68-116.5	El circuito se colapsa en el tanque de nivel

Una vez identificada la zona optima de operación de la planta continuamos a la selección de envío del dato del sensor de flujo CX-LTFM-25-304-4-D-D-T hacia la tarjeta de control y procesamiento de señal que se establece el valor mínimo que es 2s, en la cual se procede a realizar ecuaciones de escalación de las variables CV como también de PV para realizar un control de lazo abierto en el cual se pueda realizar el control PID de lazo cerrado.

Utilizando los datos expuestos en el Anexo II se obtienen las siguientes ecuaciones de escalación resultantes del procesamiento de los datos en el Software de contabilidad las cuales se pueden observar a continuación.

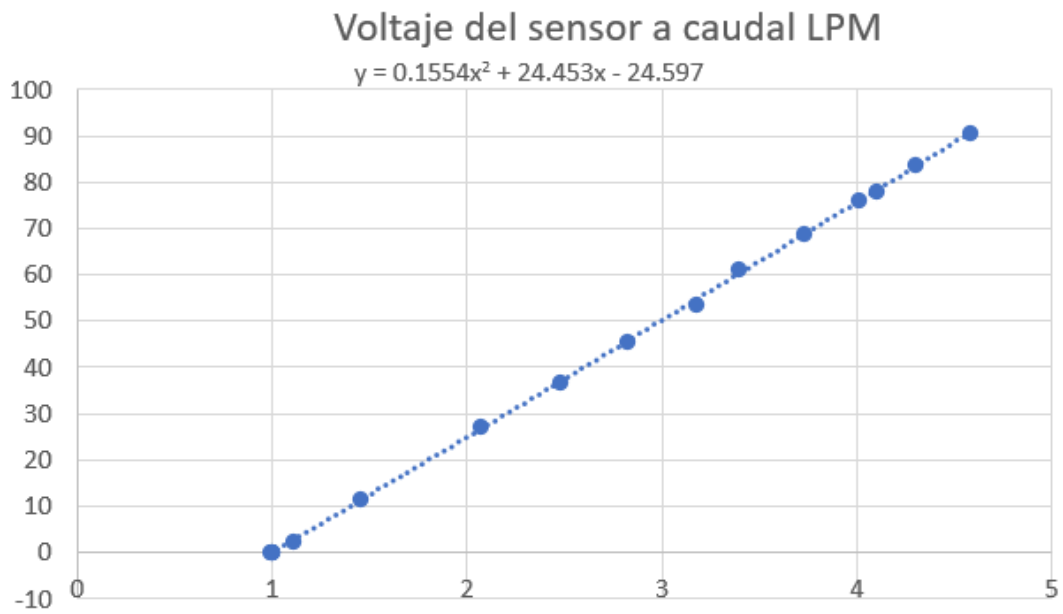


Figura 4.2: Línea de tendencia Voltaje Sensor vs Caudal

En la Figura 4.2 se observa la ecuación de transformación de la variable de entrada (PV) que se encuentra de 1 a 5V se la escala a l/min a fin de poder trabajar en la unidad de fácil visualización y control del operador, utilizando interpolación.

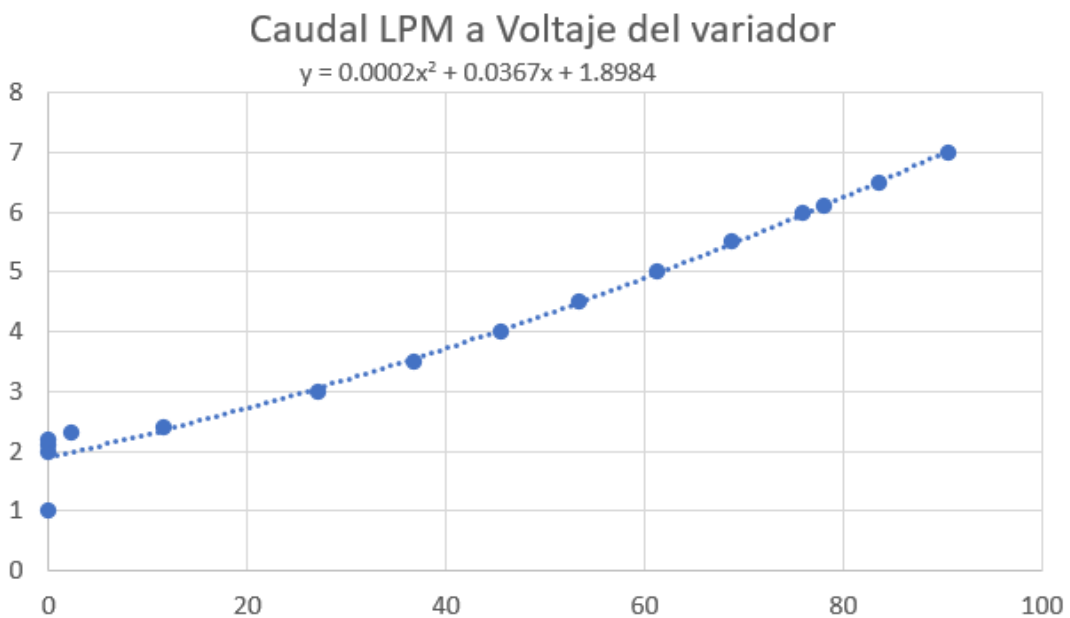


Figura 4.3: Línea de tendencia del caudal vs Voltaje del variador

En la figura 4.3 se observa la ecuación la cual permite el cambio de unidad l/min a voltaje de 0 a 10V que es la variable de control (CV) en forma casi lineal con una fácil expresión matemática.

La optimización de la planta también hay que tomar en cuenta que se tiene una bomba centrífuga la que presenta las siguientes curvas de funcionamiento y rendimiento obtenida del fabricante [44]. Donde se observa todos los parámetros dados por el fabricante como son el torque, revoluciones por minuto, consumo y eficiencia entre otros, pero el que más relevancia es el que se grafica con una línea continua que corresponde a la eficiencia de la bomba.

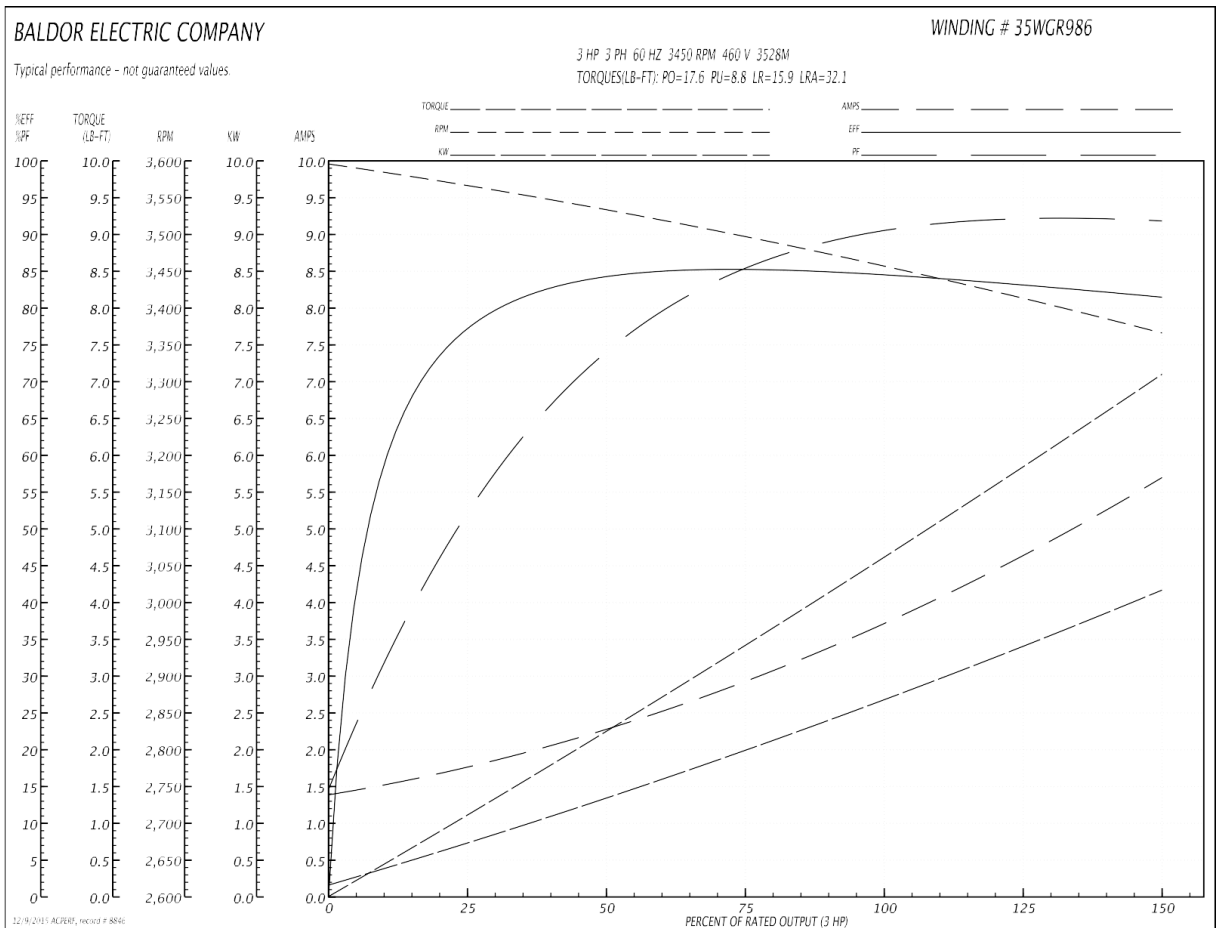


Figura 4.4: Curva de eficiencia de la bomba

Para realizar el cálculo de la eficiencia se emplea la ecuación 4.1 tomando los valores de placa de la bomba.

$$\eta = \frac{P_{neta}}{P_{bruta}} * 100 \quad (4.1)$$

Donde

$$P_{neta} = 3Hp = 2.2371 Kw$$

$$P_{bruta} = 2.6632 Kw$$

Realizando el cálculo se obtiene una eficiencia de 84%

Para saber cuál es el rendimientos mínimo y máximo de la bomba en el módulo 03 y su eficiencia observar el ANEXO B la Figura B

4.5 ADQUISICIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO

En este punto se empieza con la siguiente lógica que se expresa a continuación de forma detallada.

- Diseño y validación de funcionamiento del proceso.
- Adquisición de datos del proceso en un tiempo determinado.
- Procesamiento de datos en un Software de contabilidad mediante un filtrado de los mismos.
- Transferir los datos a un Software de estimación para la obtención de la función de transferencia del proceso a controlar.
- Validación del modelo propuesto por el Software siempre que supere el 90% de eficacia.
- Obtención de valores de Kp, Ki y Kd

4.5.1 Adquisición de datos

Una vez obtenidos las ecuaciones de escalación tanto para la entrada (PV) como la salida (CV), que son necesarias para la obtención del modelo matemático de la planta en funcionamiento, ya que esta etapa es fundamental para la correcta implementación de los controladores y su correcto diseño, como realizar su correcta sintonización.

En las siguientes ecuaciones se presentan la adquisición de datos en un sistema SISO, donde se escalan ambas variables a l/min o viceversa, en el caso de la ecuación 4.2 es la entrada proveniente del sensor de flujo donde se transforma de voltaje a l/min, en el caso de la ecuación 4.3 se realiza lo contrario que es la transformación de l/min a voltaje que se envían al variador

de frecuencia que es la salida del sistema.

$$y = 0.1554x^2 + 24.453x - 24.597 \quad (\text{Entrada})(PV) \quad (4.2)$$

$$y = 0.0002x^2 + 0.0367x + 1.8984 \quad (\text{Salida})(CV) \quad (4.3)$$

Para la obtención de los datos del sistema se realiza mediante el envío de un escalón que varía entre 10 l/min ascendente y descendente, tomando en cuenta la estabilidad del sistema dentro de los rangos fiables de operación de la misma, para la adquisición se realiza un cambio de variable a la cual se le introduce al variador de forma manual a lo que se obtiene la señal del sensor de forma automática.



Figura 4.5: Diagrama de obtención de datos

4.5.2 Adquisición de datos en una tarjeta FPGA.

La obtención de datos se la realiza utilizando una tarjeta de FPGA en la cual se diseña una programación en bloques que permite la obtención de los datos necesarios para la realización del modelo matemático.

Cada una de las variables tanto (PV) como (CV) se les guarda en un archivo de texto el cual guarda cada dato cada 100 milisegundos, donde las unidades que se está trabajando es en l/min que realizando la escalación de unidades se obtiene la salida y entrada de las variables dadas en voltios.

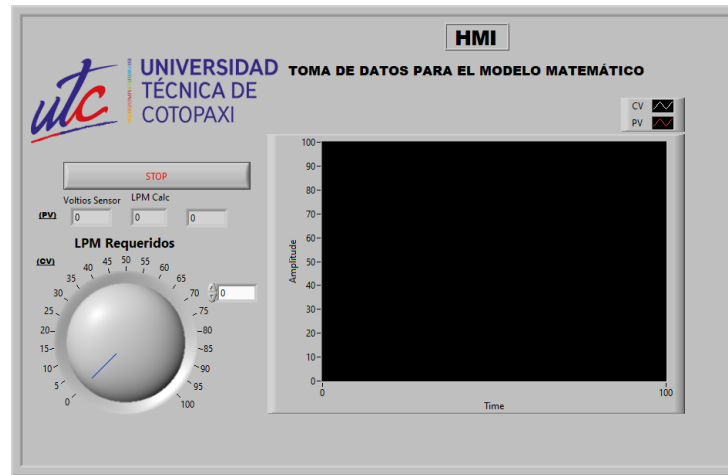


Figura 4.6: HMI para modelo matemático

En la figura (4.6) se muestra la programación correspondiente a la obtención de los datos y su respectivo guardado, se observa que se utilizan las ecuaciones, para realizar la transformación de las señales en voltios hacia un valor el cual podemos entender de mejor manera que es l/min.

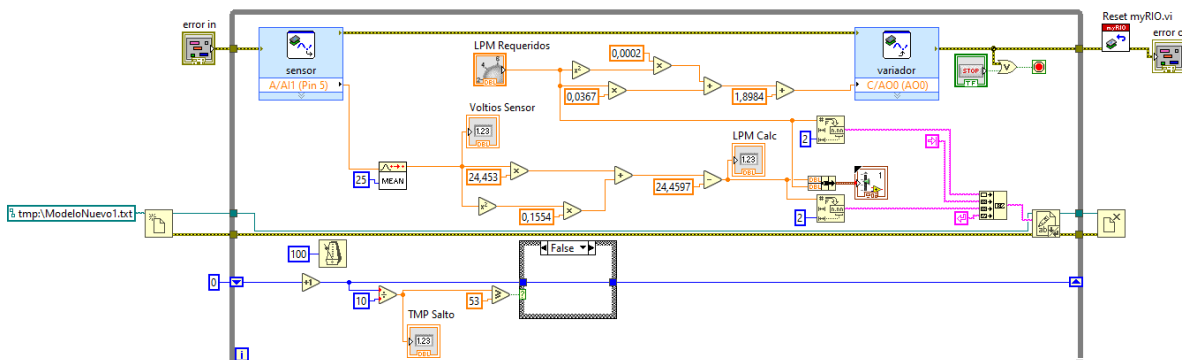


Figura 4.7: Programación para adquisición de datos

4.5.3 Procesamiento de señal

Debido a que los sistemas de flujo son sistemas que poseen turbulencia en el fluido que ocasionan mucho ruido en la medición de la señal, además, la tarjeta que se utiliza para la adquisición de la señal también trabaja a una velocidad alta y el transmisor de flujo al tener un retardo de dos segundos para el envío de la señal se ve a la necesidad de utilizar. El filtro EMA pasa-bajo de primer orden el cual consiste en obtener un valor filtrado a partir de una medición donde la cantidad de suavizado depende del factor alpha mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$A_n = \alpha M + (1 - \alpha)A_{n-1} \quad (4.4)$$

Donde:

- El coeficiente α es un factor de suavizado entre 0 y 1.
- M es el valor de la señal a filtrar en un periodo de tiempo t .
- A_n es el valor de la EMA en cualquier periodo de tiempo t .
- A_{n-1} es el valor de la EMA en el periodo de tiempo $t-1$ (pasado o valor anterior).

Este filtrado lo realiza para los dos controladores, en el caso del control PID se lo aplica mediante un software de contabilidad en el cual aplicamos la ecuación en los datos obtenidos en el modelo matemático, en el caso del control Fuzzy se realiza el filtrado en tiempo real a la entrada de la variable de proceso mediante un espacio de ecuación dentro de la programación de bloques.

En la siguiente figura se observa los datos obtenidos originales del modelo matemático en el cual se observa la variable (PV) se obtiene un ruido constante.

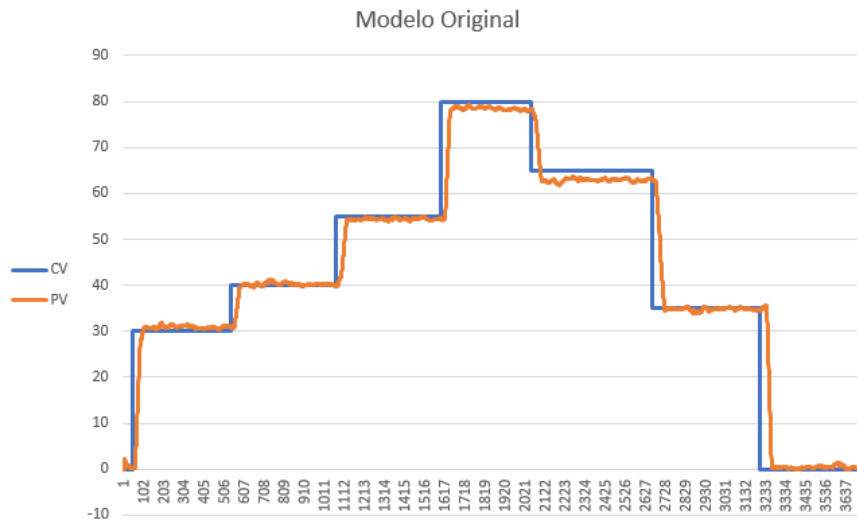


Figura 4.8: Datos reales obtenidos de la planta CV vs PV

Una vez realizado el filtrado se obtiene una señal de la variable de proceso más suavizada en relación de la original, aunque no se realiza un filtrado extremo para no interferir con la estimación del modelo matemático y sea la toma de datos de forma real.

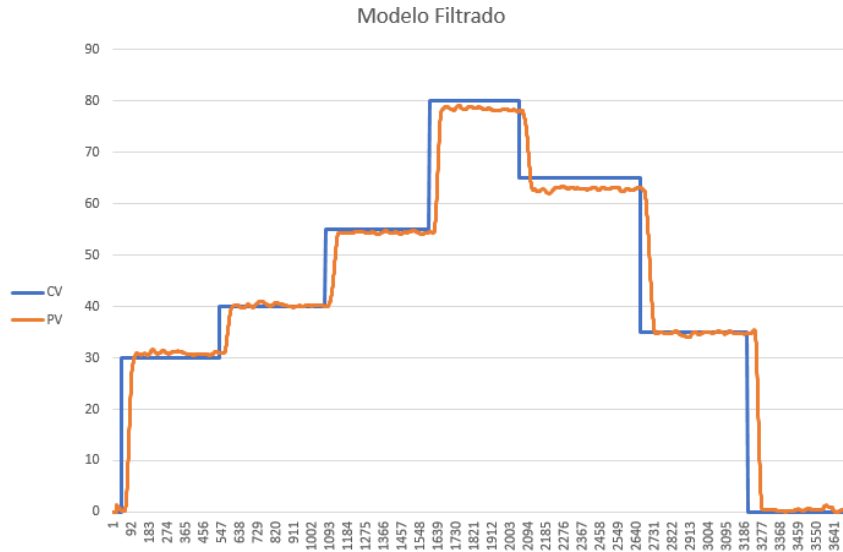


Figura 4.9: Datos filtrados obtenidos de la planta CV vs PV

4.5.4 Estimación del modelo matemático

Una vez obtenido los datos del proceso se utiliza el software Matlab, en el cual se cargan previamente los datos de las variables de entrada y salida. Ya realizado esto se procede a usar la herramienta “systemIdentification” la cual permite la estimación del modelo matemático ingresando los datos del muestreo, tiempo de monitoreo, tiempo de inicio como se puede observar en la Figura 4.10.

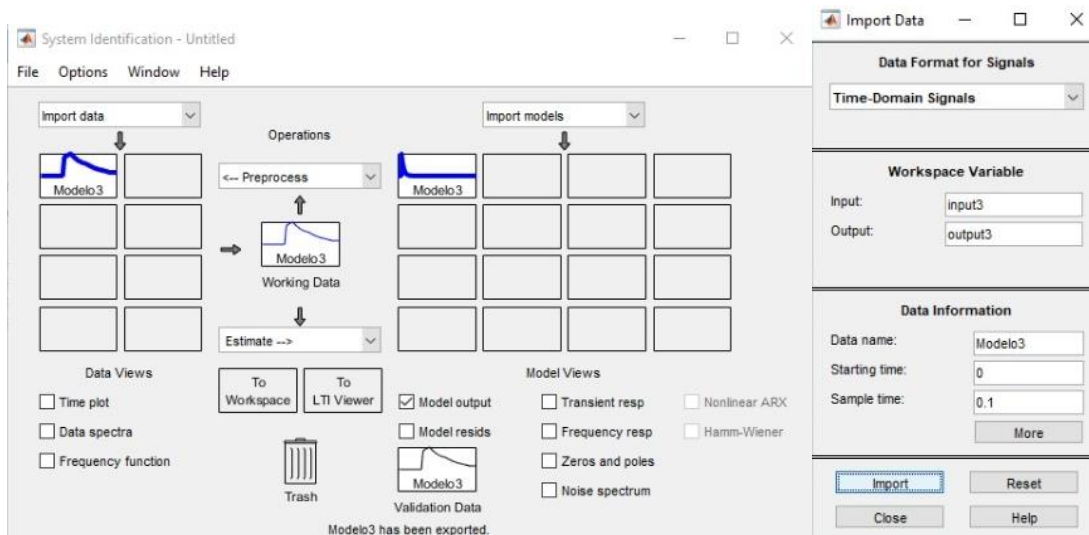


Figura 4.10: Ventana de estimación de modelos

Esta ventana permite realizar una estimación del proceso en el que se está trabajando obteniendo la función de transferencia y modelo en espacio de estados que permite la realización a posterior un PID.

4.5.4.1 Estimación de la función de transferencia

En la estimación obtenida utilizando el software se muestra la forma correspondiente a un modelo de primer orden con retardo (FOTD) el cual es utilizado en sistemas con respuesta de escalón perteneciente al funcionamiento de la planta en la que se está trabajando, una de las utilidades de este modelo de representación es que facilita la sintonización por el método de Lambda del control PID debido a que nos entrega las constantes K_p , T_{p1} y T_d .

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$K_p = 0.98602$
 $T_{p1} = 1.7063$
 $T_d = 3$

Figura 4.11: Función de transferencia

Una vez obtenida la función de transferencia facilita la realización del diseño y simulaciones del funcionamiento de la planta de forma real para tener una idea clara de cómo funciona de forma real la planta.

4.5.4.2 Validación de modelos

La forma como se realiza la validación del modelo es mediante la herramienta “model output” dentro de la ventana “systemIdentification” que se manifestó anteriormente, donde se representa para cada modelo de entrada se muestra un modelo de salida con su respectivo grado de coincidencia o porcentaje de funcionamiento, para que un modelo sea válido debe tener la mayor coincidencia con el original ya que así se obtiene un control más preciso, cabe recalcar que mientras más alto sea el grado de coincidencia se realizara una mejor sintonización del PID que se implementa.

Hay que tomar en cuenta que si la estimación de modelo no supera el 70% se debe volver a realizar el experimento de toma de datos en la planta cambiando tiempos de lectura, utilizando más datos, modificando las ecuaciones de adquisición de datos y envío, por último, verificar la constante “K” del transmisor.

A continuación, en la Figura 4.12, se observa la primera estimación de un modelo el cual se obtiene una estimación del 67.26% lo que resulta con un control menos estable por lo que se descarta.

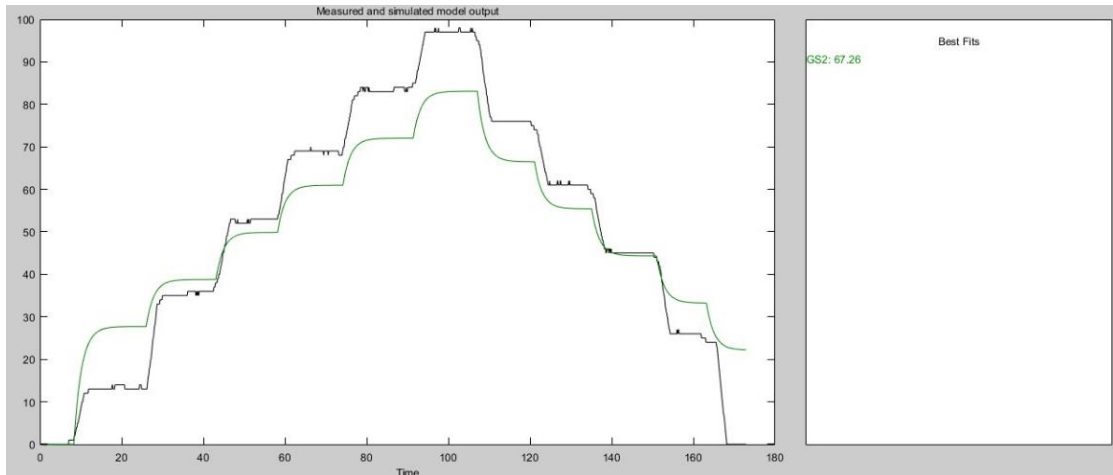


Figura 4.12: Primer modelo de estimación

Una vez realizadas las correcciones necesarias en la etapa de adquisición de datos en el módulo y revisión de todo el sistema se obtiene el modelo de estimación de 92.73% que se muestra en la Figura 4.13, dando así a esta estimación como la de mejor resultado obtenido el que se utiliza para el diseño del controlador PID.

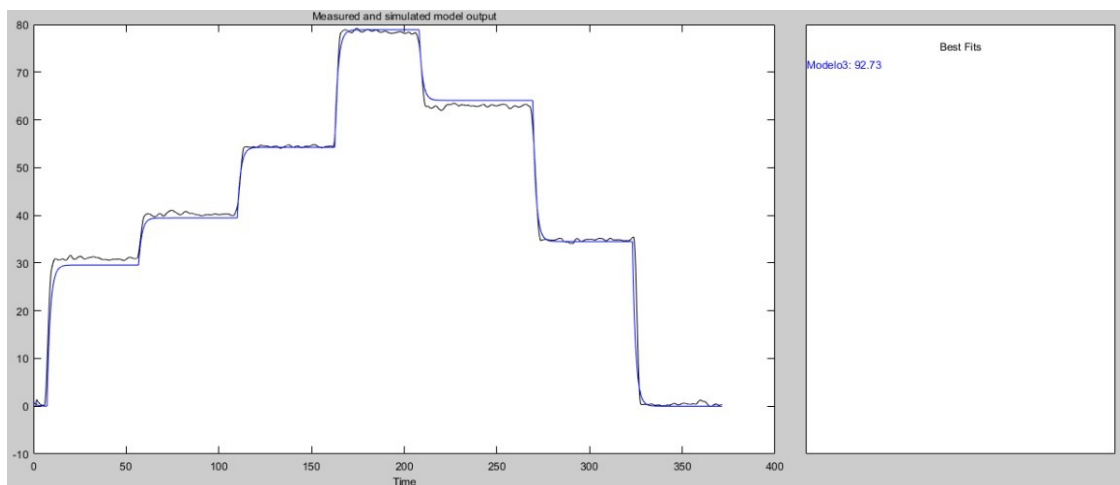


Figura 4.13: Modelo de estimación aceptado

4.6 DESARROLLO DE CONTROLADORES

El desarrollo de los controladores se basa principalmente en un sistema (SISO) o también llamado sistema de una sola variable de entrada y salida, donde se obtiene la señal de retroalimentación proveniente del transmisor de turbina que envía la señal cada dos segundos la que mediante una resistencia se obtiene una señal en voltios de 1-5V, la otra variable se la envía desde la tarjeta FPGA la señal de 0-10V las dos en corriente continua.

A pesar que el control Fuzzy puede trabajar de manera (MIMO) que es múltiples entradas y salidas de operación, pero para que sea un análisis equitativo se programa de forma (SISO). El

control antes mencionado establece unos criterios de valor en cuanto al desempeño de cada uno de los controladores en distintas etapas de operación como en estado estable, tiempo de alzamiento, etc.

4.6.1 Desarrollo del control Fuzzy

4.6.1.1 Diseño y simulación del control Fuzzy

Para el diseño del controlador Fuzzy primero se realiza una observación de la planta en un control de lazo abierto para tener una experiencia de operador dentro de la planta lo que nos lleva al siguiente diseño de las variables expresadas en la Figura 4.14.

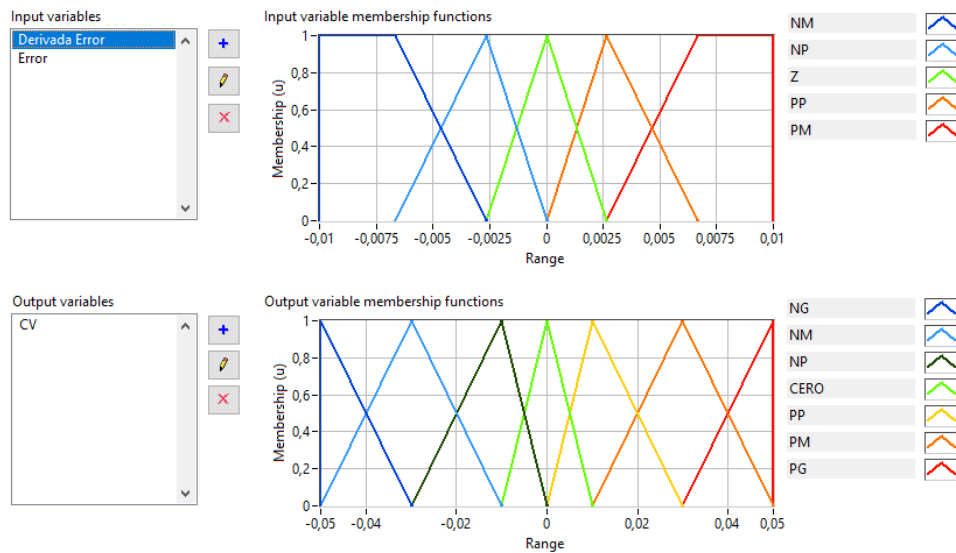


Figura 4.14: Variables de fuzzificación

En la Figura 4.15 se muestra la variable de error la cual es la más importante en un control Fuzzy ya que depende de este error respecto a la señal de consigna para realizar la asignación de valores de la variable de salida.

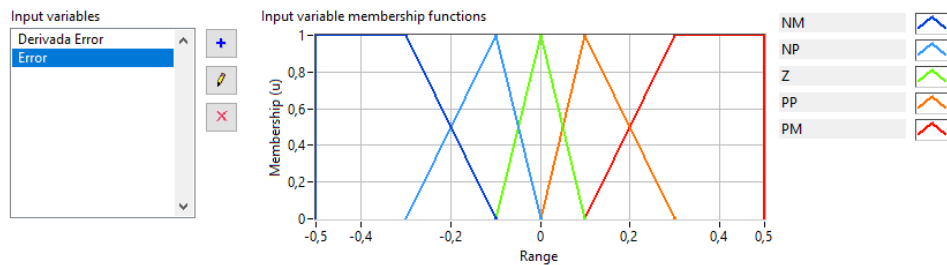


Figura 4.15: Variable de error en la fuzzificación

En las variables se utilizan valores muy pequeños para poder trabajar de forma óptima ya que el error solo fluctúa en pequeños valores con respecto a la variable de consigna de tal forma que mientras más pequeños son los cambios en el error el control es más efectivo y estable.

Para la realización de las reglas hay que tomar en cuenta que el error debe ser inversamente proporcional a la variable de salida con respecto a la señal de consigna lo que se resume que si el error es negativo la salida debe ser positiva y si el error es positivo la salida debe ser negativa con respecto al (SP).

La tabla 4.5 Se realizó debido a que un controlador Fuzzy se caracteriza por la experiencia del operador por ende, sacado los parámetros de funcionamiento de la planta se determina que el error y la derivada transformándolos a valores ínfimos arroja un resultado más estable, por esa razón se realizan solamente 5 reglas de fuzificación tanto para el error como para la derivada y la salida ya que si ponemos una cantidad superior de reglas el error en estado estable se masifica y el controlador deja de ser estable. En la siguiente tabla se expresa las reglas de fuzificación de una forma clara y resumida.

Tabla 4.5: Reglas de fuzificación

Derivada\Error	NM	NP	Z	PP	PM
NM	Z	PP	PM	PG	PG
NP	NP	Z	PP	PM	PG
Z	NG	NP	Z	PP	PG
PP	NG	NM	NP	Z	PP
PM	NG	NG	NM	NP	Z

Una vez diseñado tanto las variables y las reglas se proceden a la validación del diseño mediante una simulación del sistema como se muestra en la Figura 4.16.

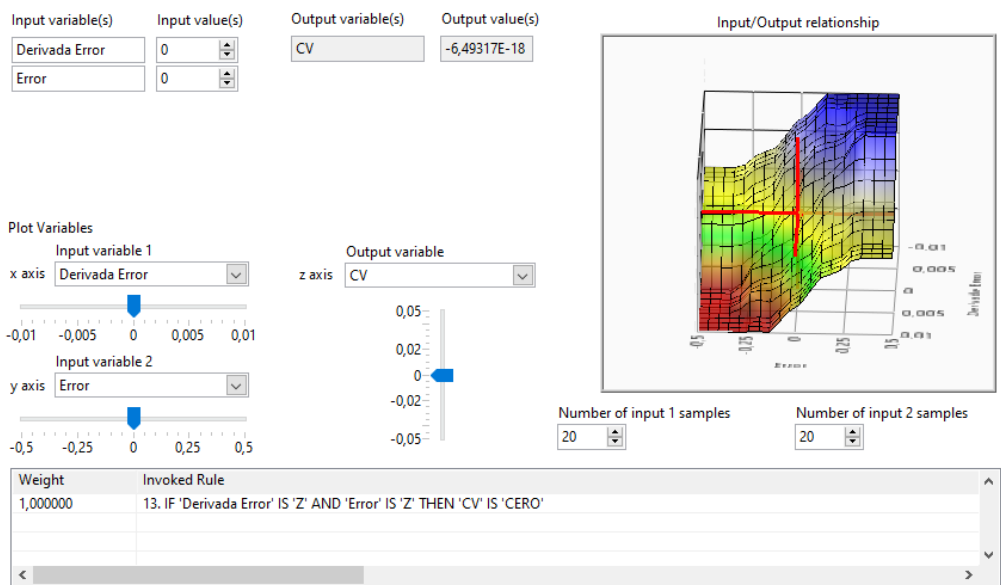


Figura 4.16: Simulación de diseño de Control Fuzzy

En la figura 4.16 se observa que el diseño se encuentra de una forma escalonada que viene a ser la correcta para el sistema, donde dependiendo el error y su derivada envía una señal de salida dependiendo de los cálculos realizados por el controlador, dado por las reglas puestas para el mismo las cuales forman la figura de una forma uniforme donde la salida oscila de 0 a 10V y se mantienen en una señal dada dependiendo de la retroalimentación.

4.6.1.2 Simulación del controlador Fuzzy

Antes de realizar la implementación del control Fuzzy se procede a la simulación del funcionamiento en la planta utilizando la función de transferencia obtenida antes mencionado en el punto 4.5.4.1, donde se expresa en las Figuras 4.17, 4.18 en dos diferentes softwares de programación.

A continuación, se expresa la estructura de simulación presentada en programación gráfica.

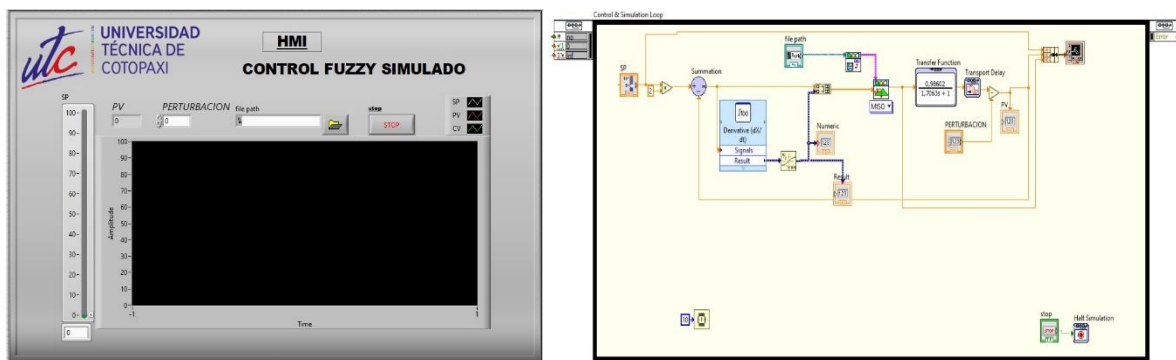


Figura 4.17: Esquema de simulación de Fuzzy

En la figura 4.18 se visualiza la simulación del mismo controlador utilizando Simulink, empleando los mismos datos.

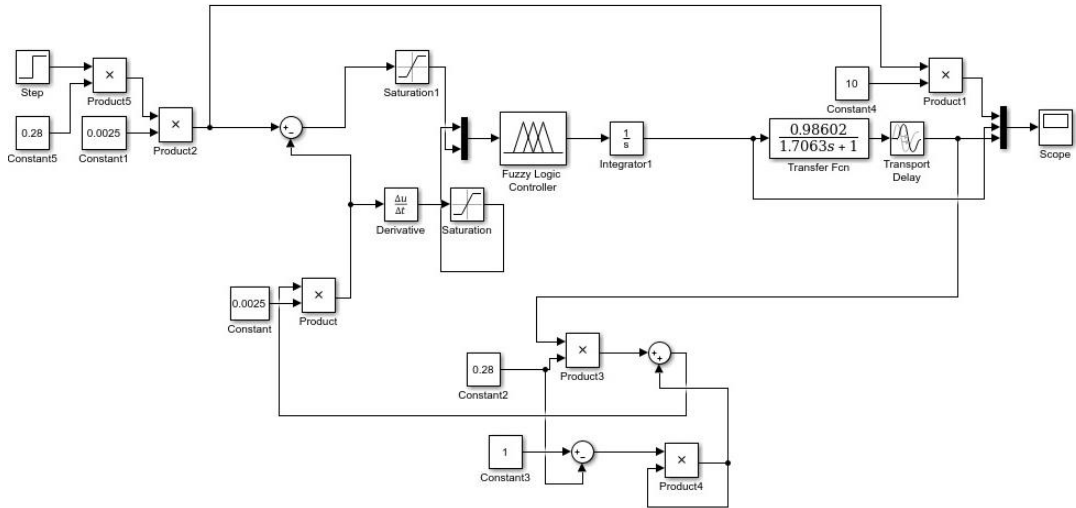


Figura 4.18: Esquema de simulación de Fuzzy en Simulink

Una vez comprobado que las simulaciones funcionan correctamente se obtiene el comportamiento del módulo utilizando una serie de escalones los cuales se determina mediante la experiencia del operador, donde la planta funciona en óptimas condiciones en los datos ingresados en el SP de 0 a 35, de 35 a 65 y 65 a 55 l/min, en estado estable de 55 l/min se procede a realizar una perturbación en el sistema que se refleja en la Figura 4.19.

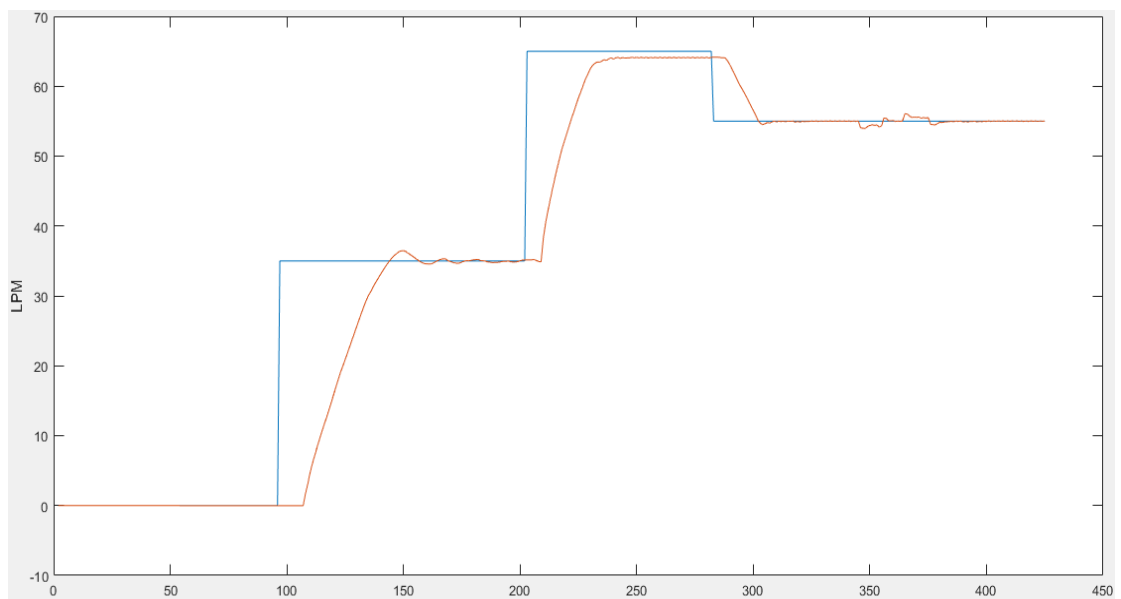


Figura 4.19: Comportamiento de la planta (Simulación Fuzzy)

4.6.1.3 Implementación de controlador Fuzzy

Una vez realizada la simulación y obtenido el comportamiento de la planta se procede al diseño en ambas plataformas de programación visual, se diseñan instrumentos virtuales que se utilizan en la conexión de forma real en la planta tanto para uno u otro software.

En la Figura 4.20 se puede observar el programa del VI implementado de forma real, para una mejor visualización observar el ANEXO F, Figura F.2.

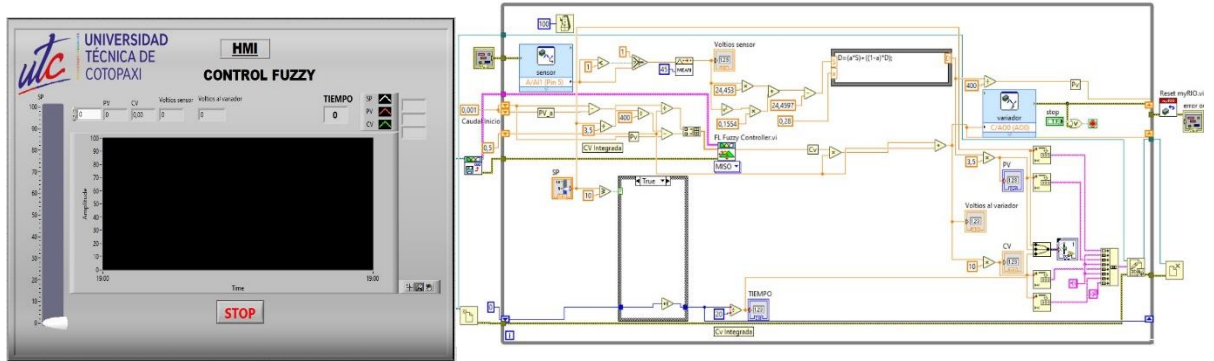


Figura 4.20: Controlador Fuzzy implementado

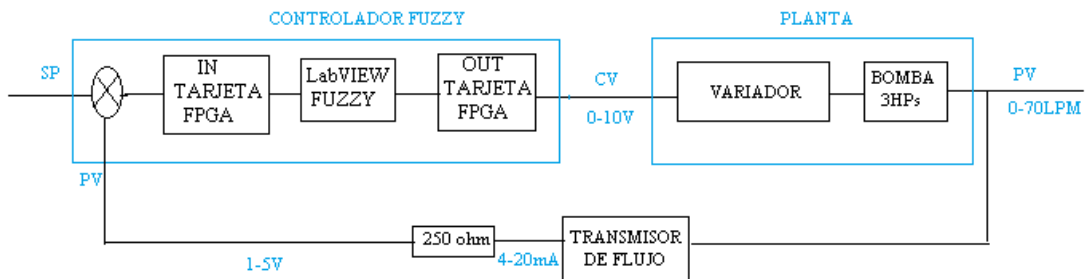


Figura 4.21: Comunicación del controlador Fuzzy con la planta real en VI.

En la figura 4.22 se visualiza el diseño de programación visual en Simulink que se utiliza en la conexión de forma real en la planta.

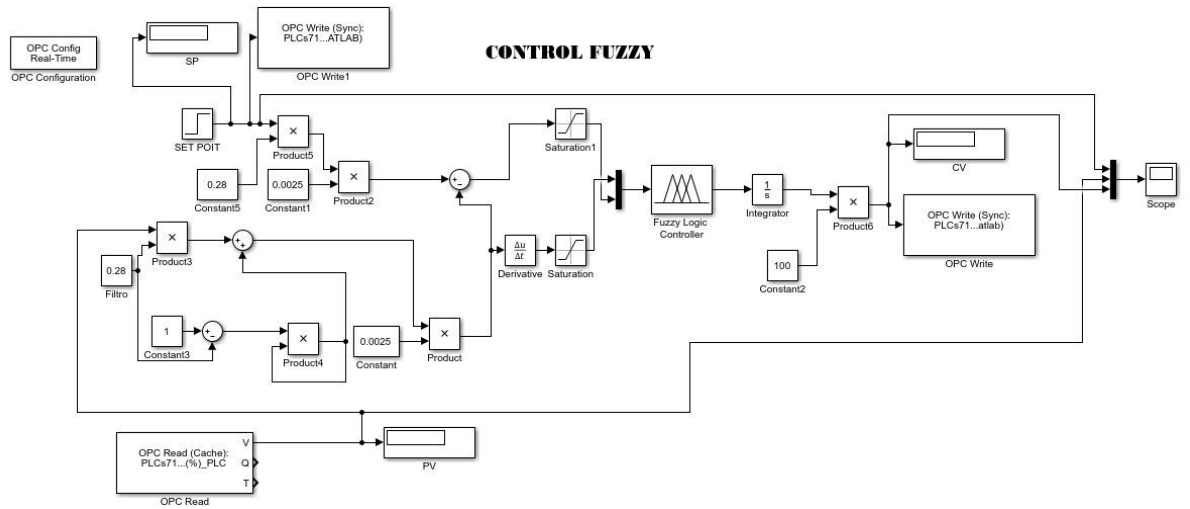


Figura 4.22: Control Fuzzy implementado en Simulink

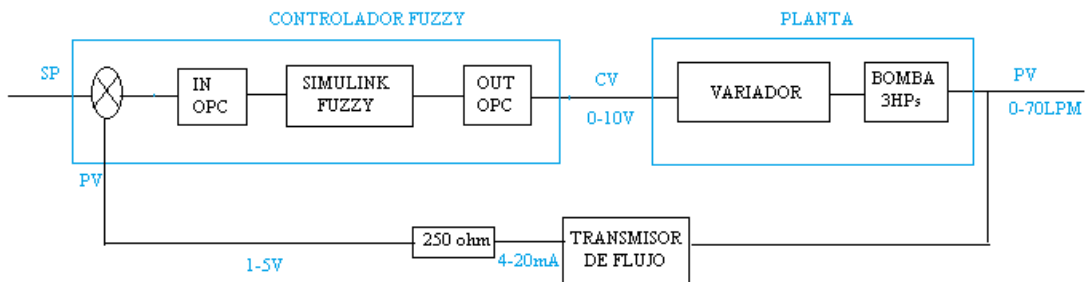


Figura 4.23: Comunicación del controlador Fuzzy en la planta física con Simulink.

4.6.2 Desarrollo del control PID

4.6.2.1 Diseño y simulación del control PID

Para el diseño del controlador PID se necesita obtener primero el modelo matemático, posteriormente sacar la función de transferencia del punto 4.5.4.1, y realizar la sintonización del PID lo cual se observará en la Figura 4.24.

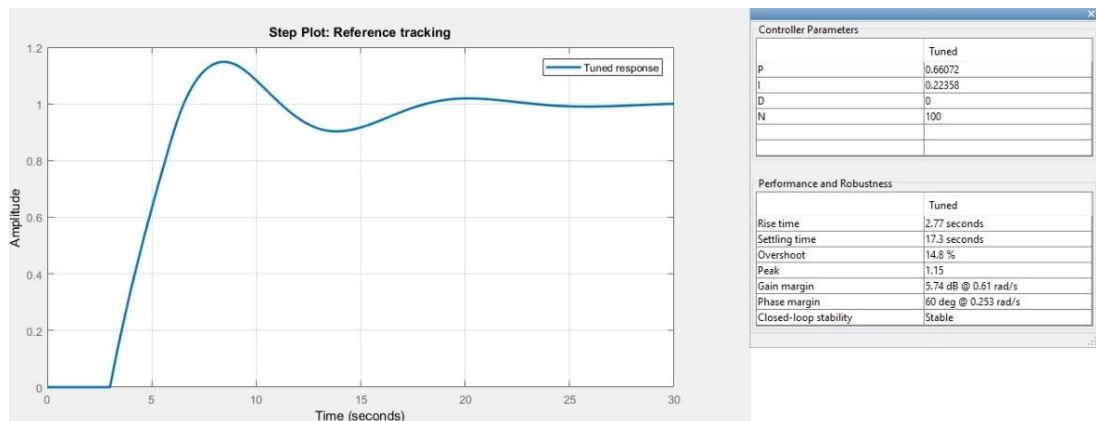


Figura 4.24: Sintonización del PID

Esta sintonización se utiliza en la herramienta tuned del software Matlab considerando que en nos da las constantes P, I y D expresadas en segundos las dos anteriores, lo que en el software VI se ingresan las constantes K_p , T_p y T_d que se transforman utilizando las siguientes ecuaciones:

$$K_p = P \quad (4.5)$$

$$T_i = \frac{1}{I} / 60 \quad (4.6)$$

$$T_d = D / 60 \quad (4.7)$$

En la Figura 4.25 se observa la estructura de la simulación del PID presentada en programación gráfica.

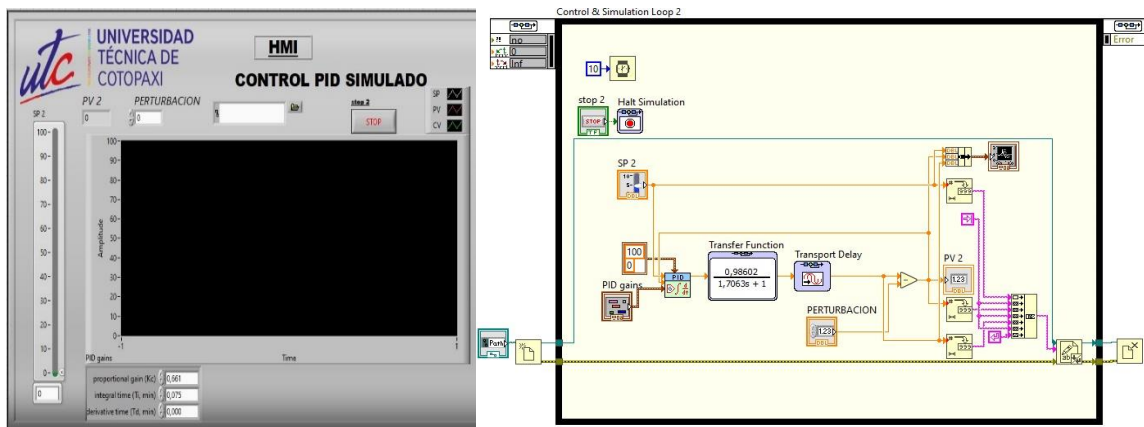


Figura 4.25: Esquema de simulación del PID

En la figura 4.26 se visualiza la simulación del mismo controlador PID utilizando otro software, con esquema de programación.

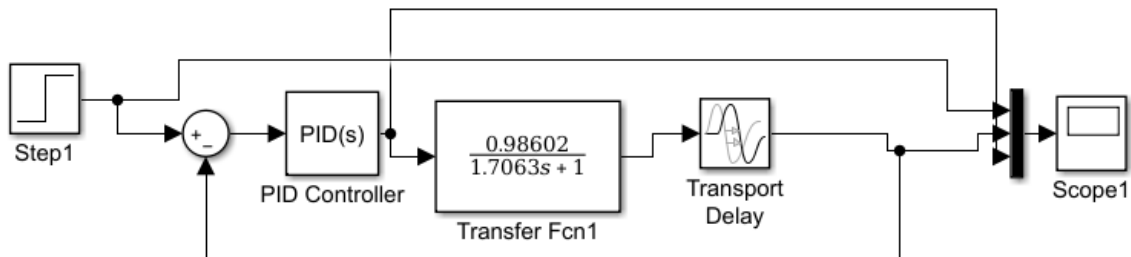


Figura 4.26: Esquema de simulación del PID en Simulink.

Comprobado que las simulaciones funcionen de una forma correcta se procede a observar el comportamiento de la planta añadiendo algunos datos y la planta funcionara en sus óptimas condiciones con los siguientes datos en el SP: de 0 a 35, de 35 a 65 y 65 a 55 l/min, en estado estable de 55 l/min se procede a realizar una perturbación en el sistema que se refleja en la Figura 4.27.

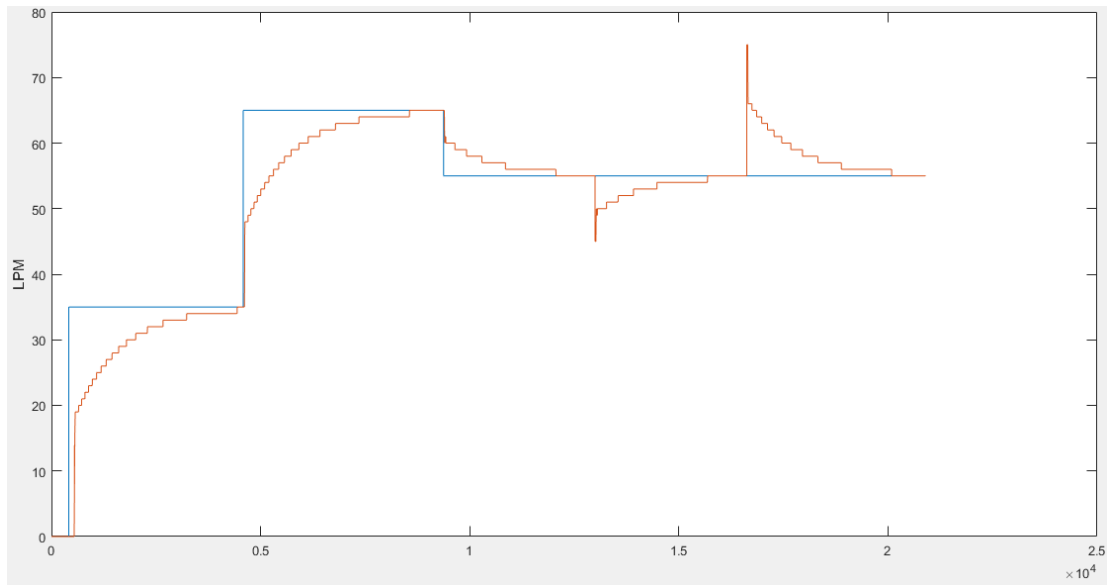


Figura 4.27: Comportamiento de la plata en sus óptimas condiciones (Simulación PID)

4.6.2.2 Implementación del control PID

Una vez obtenido la gráfica del comportamiento de las señales de respuesta en el control PID simulado se procede a la implementación del controlador PID que funcione de forma real obteniendo los valores de forma continua extraídos de la planta.

En la figura 4.28 se observa el funcionamiento de la planta de forma real con el control PID, se observa de mejor manera en el ANEXO G. Figura G.1.



Figura 4.28: Control PID implementado

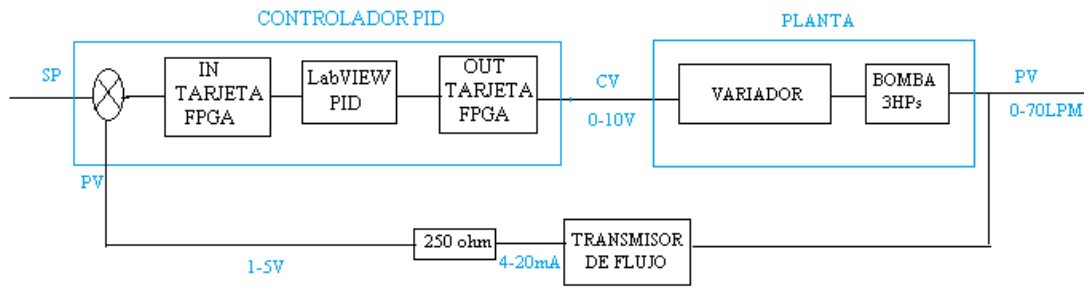


Figura 4.29 Comunicación del controlador con la planta real

En la figura 4.30 se visualiza el diseño de programación visual en Simulink que se utiliza en la conexión de forma real en la planta.

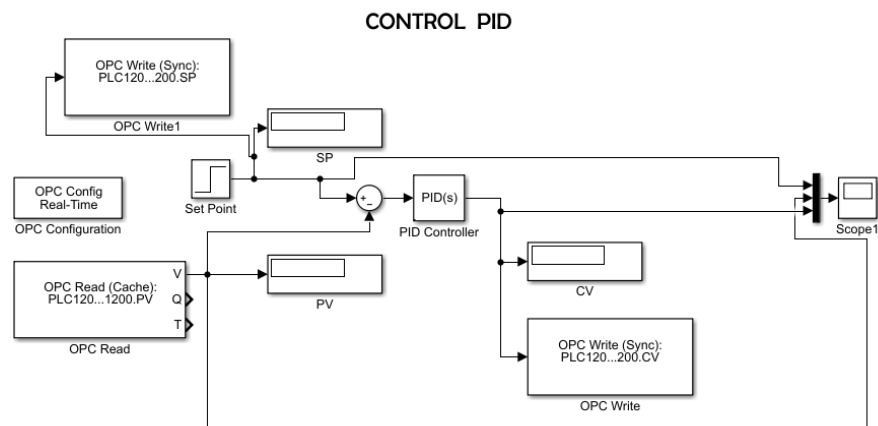


Figura 4.30: Control PID implementado en Simulink

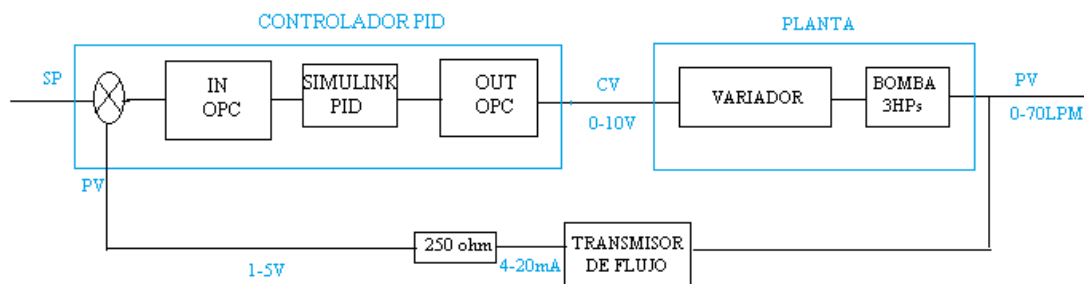


Figura 4.31 Comunicación del controlador PID en la planta real con Simulink

4.7 COMUNICACIÓN

Para la comunicación con el dispositivo PLC S7-1200 y Simulink es necesario realizar una conexión utilizando el puerto de Ethernet RJ45 donde el PLC simplemente realiza la función de lectura y envío de señales analógicas hacia un servidor OPC en cual hace la conexión de forma digital internamente en el ordenador que se puede visualizar y enviar desde Simulink cualquier dato esto se realiza en un lazo cerrado como se muestra en la Figura 4.32. Para más detalles puede observar el ANEXO H.

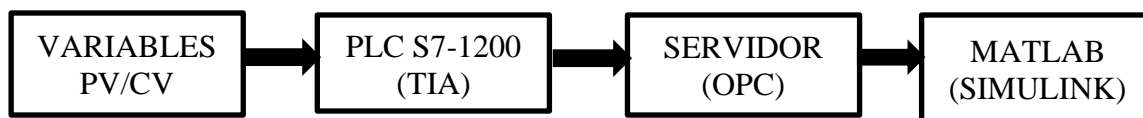


Figura 4.32: Diagrama de conexión para la utilización

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presenta los resultados obtenidos de la planta de proceso de caudal de flujo, la cual siempre se ha utilizado un escalón unitario tanto en simulación como de forma real que nos arroja una respuesta de una señal transitoria dependiendo el ancho del escalón que se ponga en L/m en el SP, de tal manera que en todos los procesos se utiliza el mismo valor de SP y la diferencia es el tiempo de respuesta del sistema.

Para objeto de estudio en este capítulo en cada figura en la que se exprese la respuesta de señales se utilizara el siguiente código de colores.

- SP Azul
- PV Naranja
- CV Gris

5.1 SIMULACIÓN DE CONTROL PID

Para la simulación del control PID se toma en cuenta que se utiliza la sintonización robusta debido a que esta tiene una mejor señal de respuesta de forma Lambda, lo que permite que al utilizar tanto la FPGA como el PLC sea siempre la misma respuesta, obteniendo así la siguiente curva de respuesta expresada en la figura 5.1.

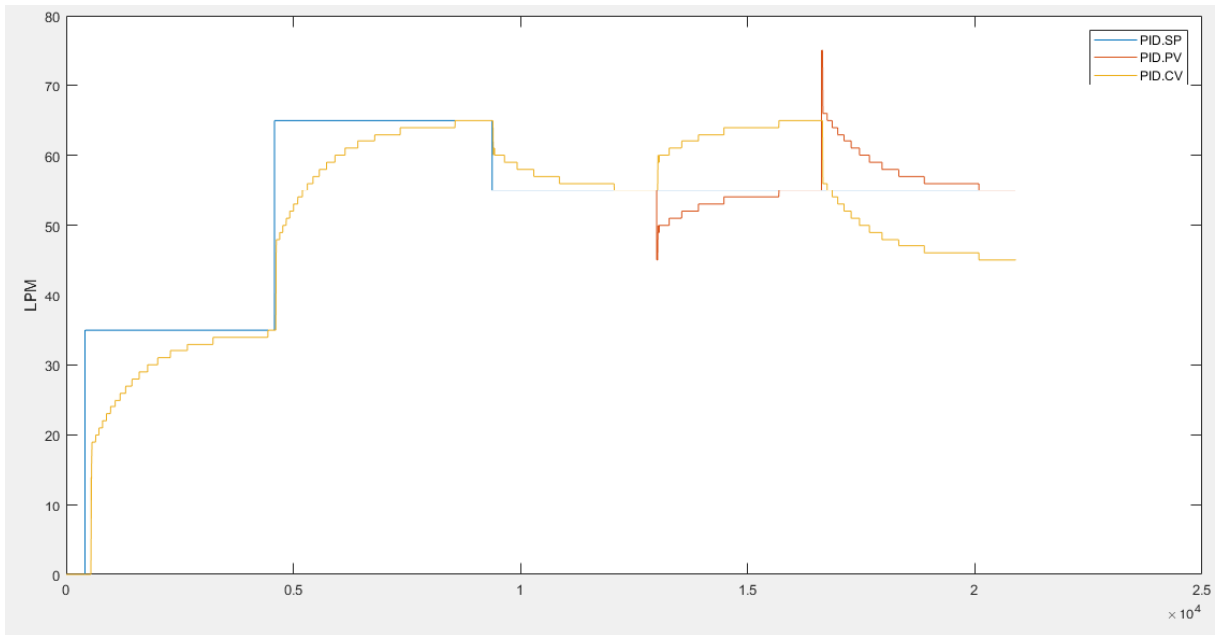


Figura 5.1: PID con sintonía robusta

La sintonización robusta del control PID tanto para utilizarlo en Simulink como en VI se utiliza los siguientes valores de $K= 0.660712$, $T_i= 0,22358$ y $T_p= 0$. Estos valores antes detallados son calculados de forma automática por PID TUNED en expresión ideal para el sistema en el cual estamos trabajando, cabe recalcar que los valores de T_p y T_i son expresados en segundos y al ingresar en el VI se los ingresa en minutos.

5.2 SIMULACIÓN CONTROLADORA FUZZY

Para el diseño del control Fuzzy se ha utilizado el método de la experiencia del operador debido a que la planta de caudal presenta ciertas limitaciones las cuales se reflejan en la señal de respuesta con un retardo de alrededor de dos segundos y un fallo del transmisor en su pantalla de visualización que oscila entre 0.3 a 0.7 l/min, dependiendo de la cantidad de litros por minuto que estén circulando por el circuito, en la figura 5.2 se puede observar la respuesta del módulo de forma simulada utilizando la función de transferencia y el tiempo de retardo obtenidos para el control PID.

Debido a las limitaciones de la planta antes mencionadas se opta por realizar el control comúnmente llamado Fuzzy Integrado que consiste en dar un tiempo de espera sobre la señal de salida del control para compensar la velocidad en la que trabaja el control y el tiempo de retardo de la planta.

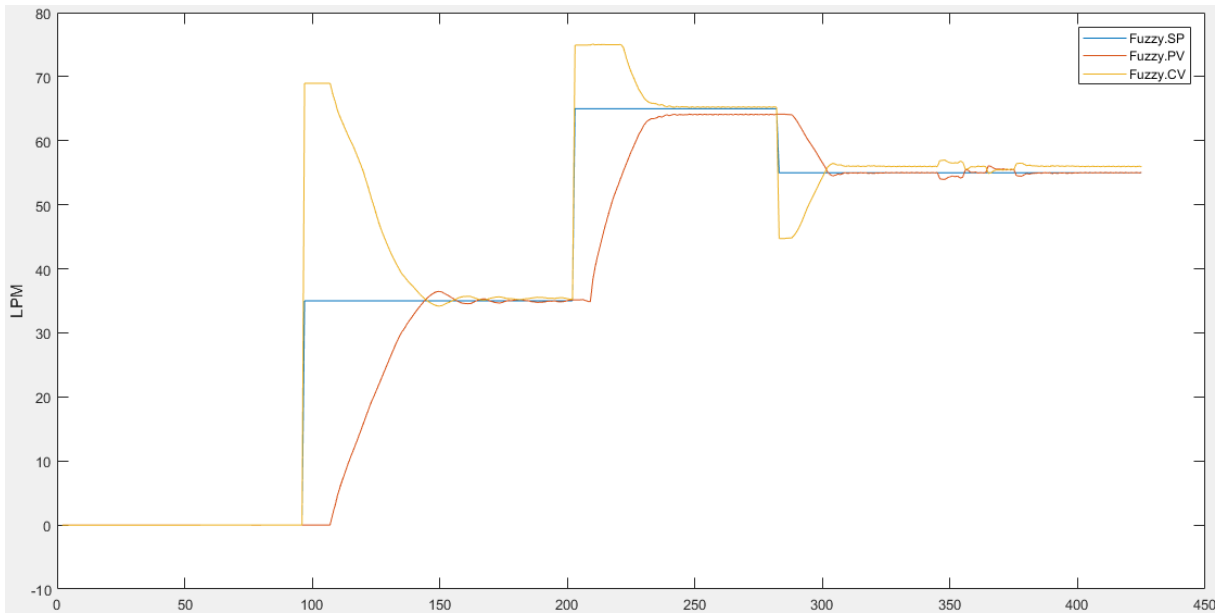


Figura 5.2: Simulación del control Fuzzy

5.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PID Y FUZZY EN SIMULACIÓN

Para realizar en análisis comparativo de las simulaciones tanto para el PID como para el Fuzzy en los dos softwares se obtiene la misma señal de respuesta debido a ello se comparará tomando una misma gráfica de señales de respuesta, recalcando que las señales simuladas son totalmente diferentes a las reales implementadas en la planta.

5.3.1 Tiempo de asentamiento de señal

Para esta comparación se les da a ambos controladores una señal escalón en el SP de 35 l/min donde el comportamiento de cada comportamiento varia en alrededor de 4 segundos en su asentamiento de forma de forma simulada, pero el control Fuzzy simulado genera un sobre impulso el que le permite llegar a la señal de consigna a los 14 segundos de estabilización mientras que el control PID llega a sintonizarse de 18 a 21 segundos, como se observa en la Figura 5.3.

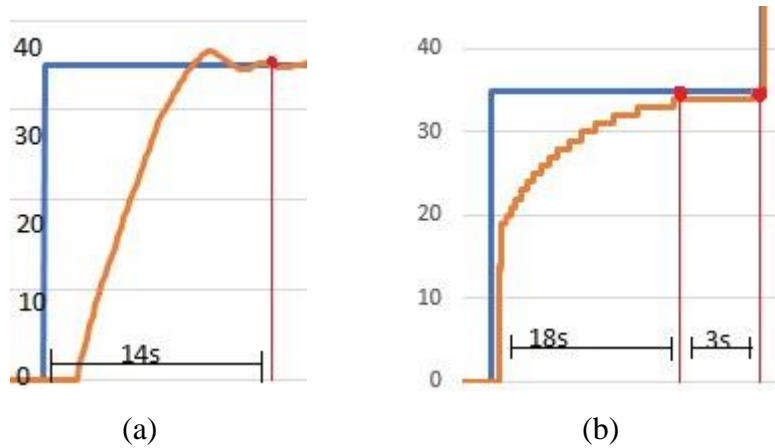


Figura 5.3: (a) Repuesta de PV Fuzzy y (b) Respuesta PV PID

5.3.2 Sobre impulso

En la simulación se obtiene una respuesta proveniente de la señal PV la cual en el control Fuzzy existe un sobre impulso de 3 l/min antes de llegar a la su estabilización, mientras tanto que en el control PID aumenta paulatinamente la señal PV sin realizar ningún sobre impulso como se observa en la Figura 5.4.

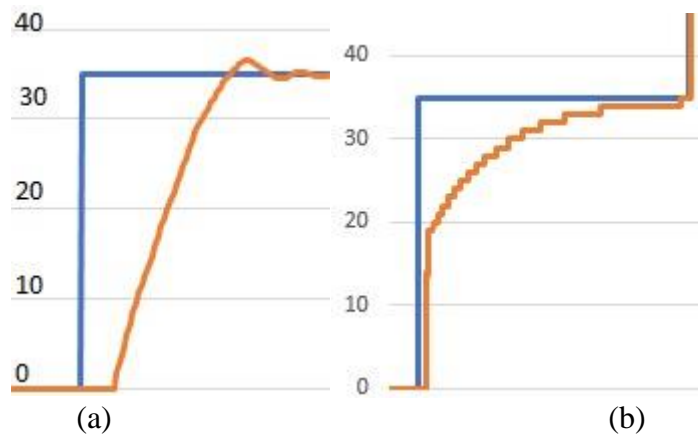


Figura 5.4: (a) Respuesta de sobre impulso Fuzzy y (b) Respuesta sobre impulso PID

5.3.3 Estabilidad de respuesta de señal

En la figura 5.3 y 5.4 se observa que en el control Fuzzy existe una perturbación ínfima pero existente de lo contrario el control PID al llegar a su señal de consigna mantiene una señal sin perturbación, lo que conlleva a que de forma simulada en control PID se comporta de mejor manera.

5.3.4 Comportamiento ante Perturbación

Debido a que en todo sistema existe una pequeña perturbación se procede a una simulación de igual forma en la que permita observar el comportamiento de recuperación de cada uno de los controladores, en el caso del control Fuzzy la perturbación dando el mismo valor de 10 l/min es mínimo, lo que en el control PID si se puede observar cómo desciende y aumenta de forma abrupta la señal PV, lo antes mencionado se observara en la Figura 5.5.

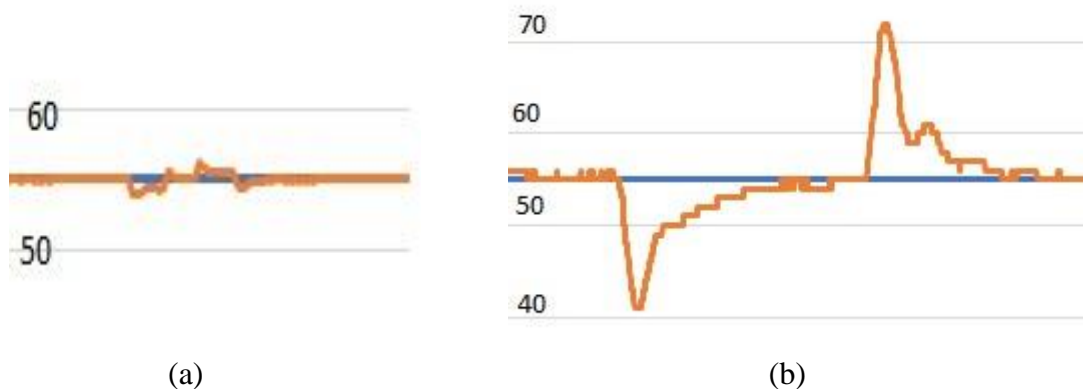


Figura 5.5: (a) Perturbación Fuzzy y (b) Perturbación PID

5.4 IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADORES

Las siguientes evaluaciones se realizan tomando en cuenta los rangos óptimos de operación de la planta en la que se generan tres escalones dos de subida 35 y 65 l/min y uno en descenso de 55 l/min, una vez observado la estabilización del sistema en 55 l/min se realiza una perturbación utilizando una válvula manual V4 para observar el comportamiento del control al abrir y cerrar la misma.

5.4.1 Implementación del control Fuzzy

Una vez obtenidos los parámetros de operación antes mencionados se procede a la implementación del controlador Fuzzy teniendo en cuenta que al trabajar en la FPGA existe una gran cantidad de ruido en la variable PV, por lo que en este control es necesario utilizar un filtro paso a bajo en tiempo real, este filtro se utiliza tanto en la programación VI como también en Simulink, pero en el control PID se lo realiza en la obtención del modelo matemático y no en tiempo real. A continuación, en la figura 5.6 se observa el modelo obtenido de las señales de forma real en VI.

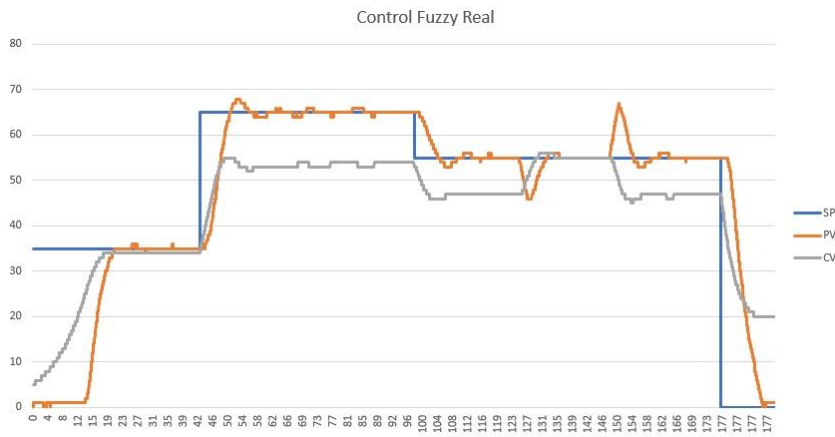


Figura 5.6: Control Fuzzy funcionamiento en VI

En la figura 5.7 se observa el comportamiento del controlador Fuzzy utilizando el PLC S7-1200 y la comunicación OPC con Simulink.

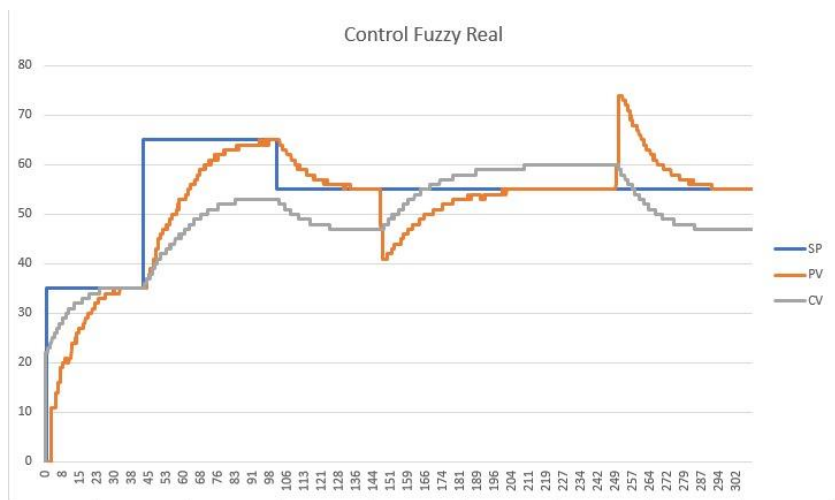


Figura 5.7: Controlador Fuzzy funcionamiento en Simulink

5.4.2 Implementación controlador PID

A continuación, se muestra el comportamiento del control PID con una gran diferencia en el comportamiento del sistema, dependiendo el software de programación que se utiliza difiere su comportamiento con respecto a la simulación.

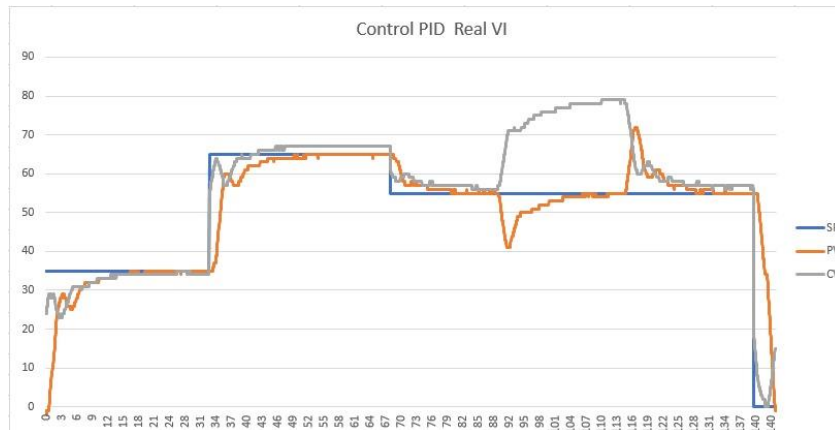


Figura 5.8: Control PID funcionamiento real en VI

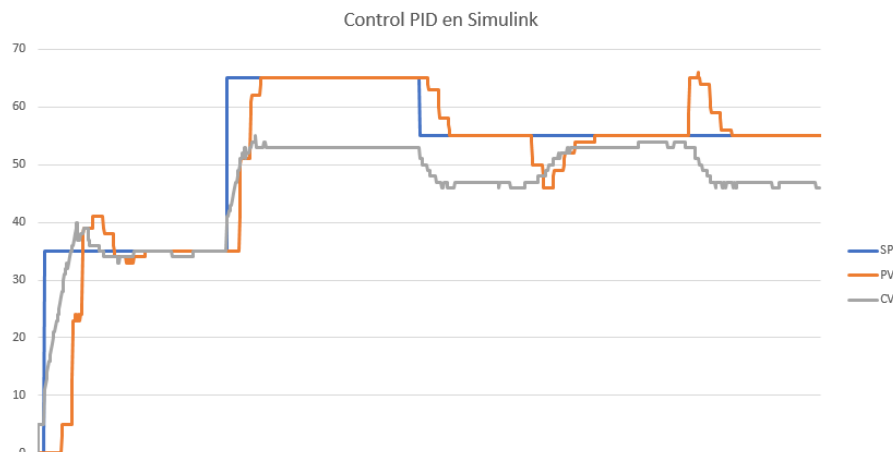


Figura 5.9: Control PID funcionamiento real en Simulink

5.4.2.1 Análisis de tiempo de subida

Al dar un escalón de 35 l/min que está dentro del estado óptimo de operación, dependiendo en que software de programación se esté trabajando se obtiene una respuesta diferente para cada uno, tomando en cuenta que el tiempo de subida se toma cuando la señal PV llega al 90% con relación al SP.

Observando las Figuras 5.10 y 5.11 podemos observar que el control Fuzzy en ambos softwares de programación tarda menos el tiempo de subida en VI 19 segundos y en Simulink 7 segundos, mientras que en el control PID se tarda un poco más en VI 21 segundos, pero en Sumulink tarda menos, 3 segundos esto se debe a que trabajando con el PLC S7-1200 la señal se filtra en sí mismo por los integrados que posee.

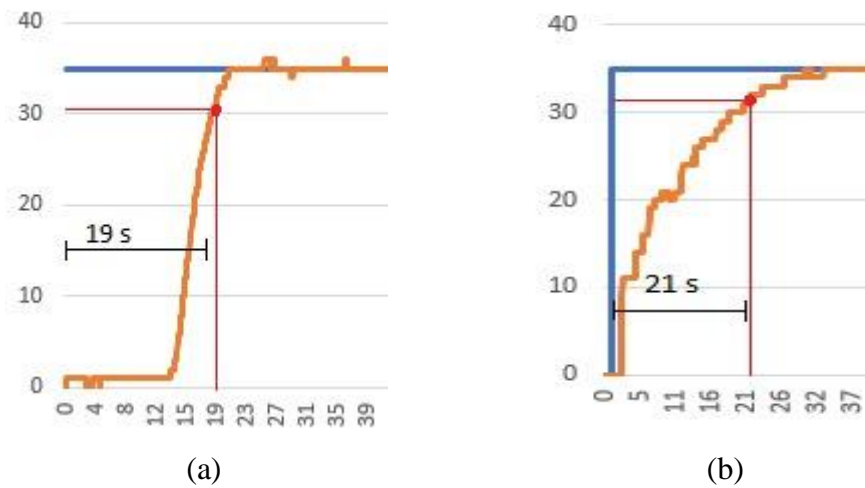


Figura 5.10: Tiempos de subida del control Fuzzy en (a) VI y (b) Simulink

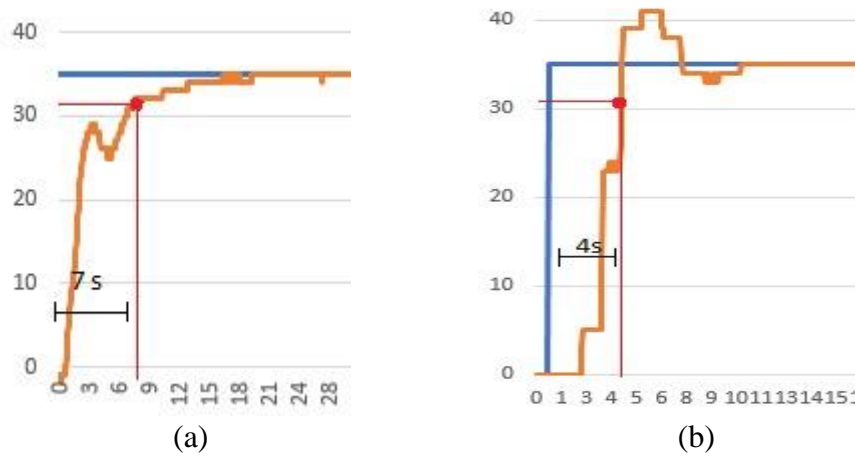


Figura 5.11: Tiempos de subida del control PID en (a) VI y (b) Simulink

5.4.2.2 Análisis de sobre impulso

En este parámetro de análisis se observa que en el control Fuzzy utilizando una FPGA existe un sobre impulso cuando se trabaja dando un escalón una vez que la planta esté operando, pero al mismo tiempo se estabiliza en un menor tiempo y en el resto de los casos tanto si se trabaja en Simulink o VI no existe ningún sobre impulso hasta llegar a la señal de consigna.

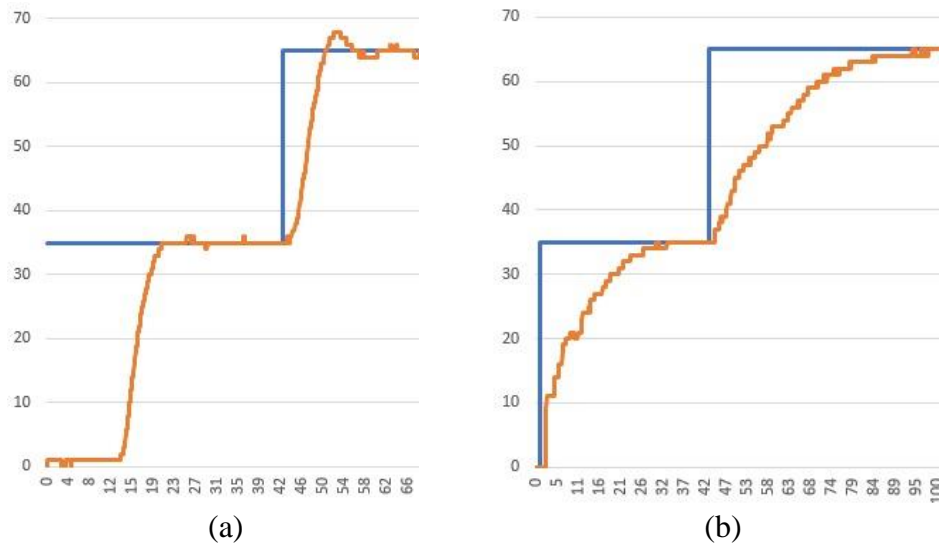


Figura 5.12: Sobre impulso del controlador Fuzzy en (a) VI y (b) Simulink

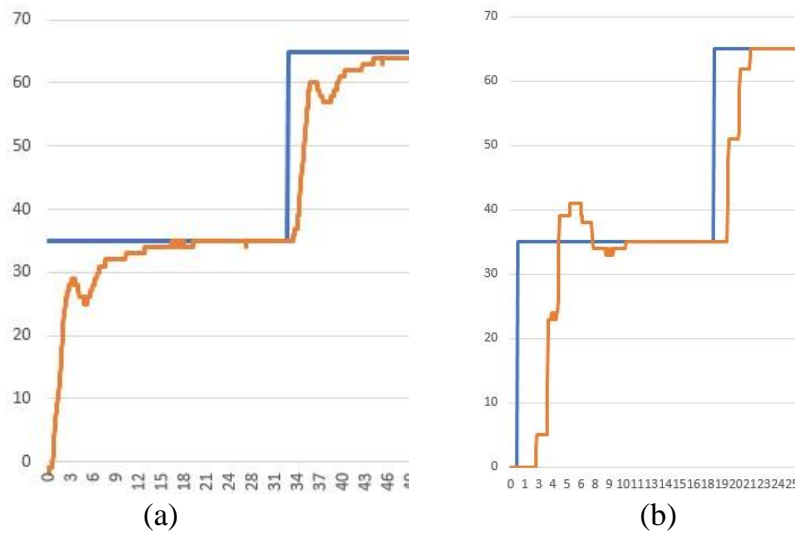


Figura 5.13: Sobre impulso del controlador PID en (a) VI y (b) Simulink

5.4.2.3 Análisis de tiempo de estabilización

A continuación, se observará que en este punto de análisis el controlador Fuzzy demuestra que es un control en el caso de esta planta en particular resulta ser más lento que el PID pero con menos ruido en la señal de salida y más fiabilidad a la hora de llegar al punto de estabilización dando en ambos casos tanto en VI como en Simulink una señal de respuesta tipo Lambda, por lo tanto el controlador PID tanto en VI como en Simulink tiene un desempeño mucho más rápido, pero con perturbaciones dando una señal tipo PID Ziegler y Nichols y PI Haalman

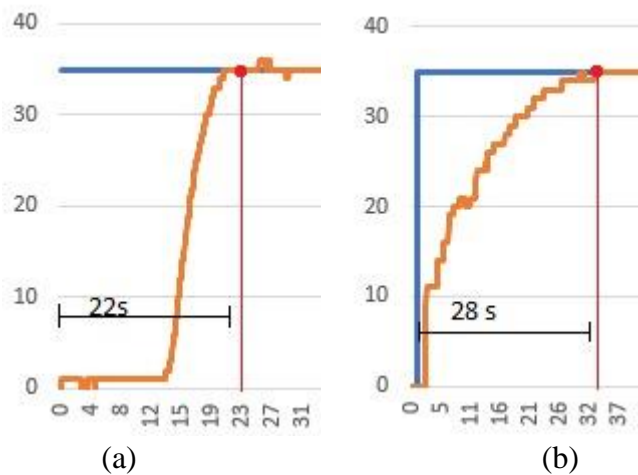


Figura 5.14: Tiempo de estabilización del control Fuzzy en (a) VI y (b) Simulink

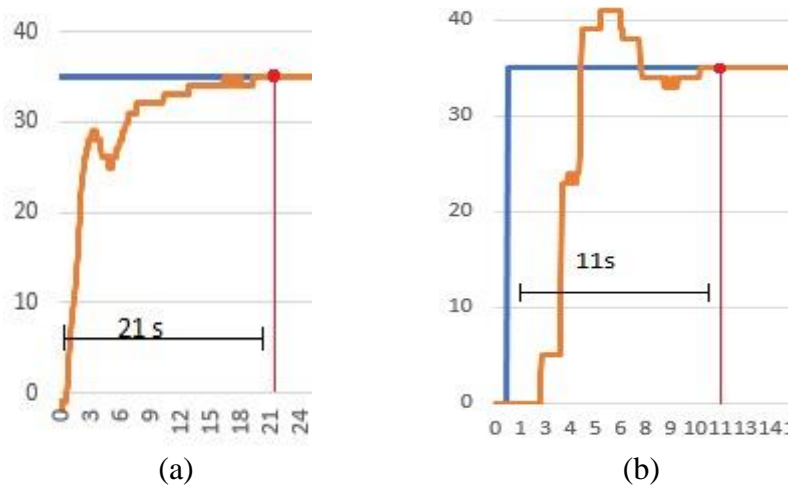


Figura 5.15: Tiempo de estabilización del control PID en (a) VI y (b) Simulink

5.4.2.4 Tiempo de retardo

Hay que aclarar que para el análisis de este punto la plata empieza desde cero, sin circulación de fluido, en el caso del controlador Fuzzy utilizando la programación VI se aprecia que tarda más tiempo en llegar a este punto debido a que la planta tiene la zona de inestabilidad en rangos bajos, en cambio en la programación de Simulink no se visualiza por la comunicación utilizada en el PLC que realiza su propia filtración de datos. Observe la Figura 5.16.

En el caso del PID se aprecia que al trabajar con una FPGA se obtiene un resultado en menor tiempo y fiabilidad de respuesta en la señal PV con un tiempo menor con respecto al realizado el Simulink y utilizando PLC, observe la Figura 5.17.

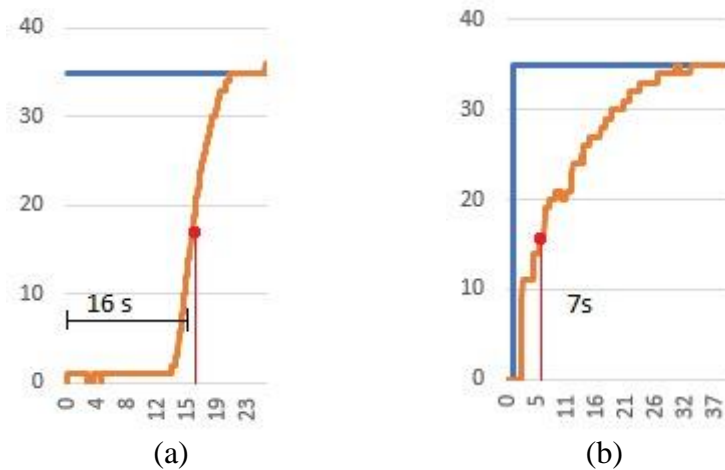


Figura 5.16: Tiempo de retardo del controlador Fuzzy en (a) y (b) Simulink

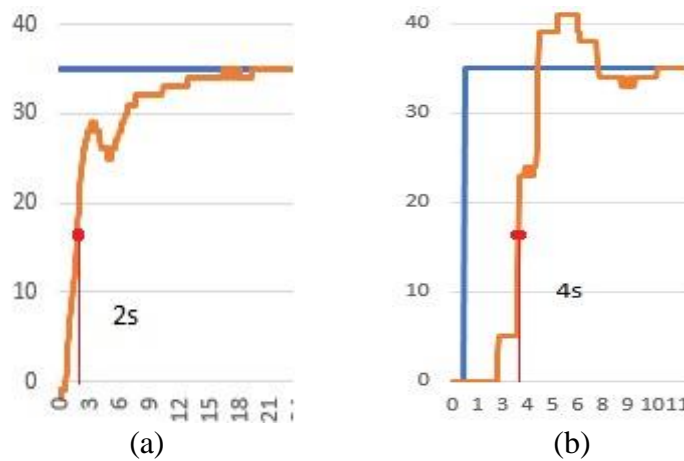


Figura 5.17: Tiempo de retardo del controlador PID en(a) y (b) Simulink

5.4.2.5 Error en estado estable

En los literales (a) de las Figuras 5.18 y 5.19 se puede observar que cuando se utiliza la tarjeta FPGA existe un error de estado estable debido a que la tarjeta es muy rápida en la recepción y envío de datos ya que no posee ningún filtro en su interior.

Todo lo contrario, sucede en los literales (b) de las Figuras 5.18 y 5.19 no existe ningún error de estado estable esto se debe a que el PLC filtra la señal automáticamente, debido a que posee filtros en su interior

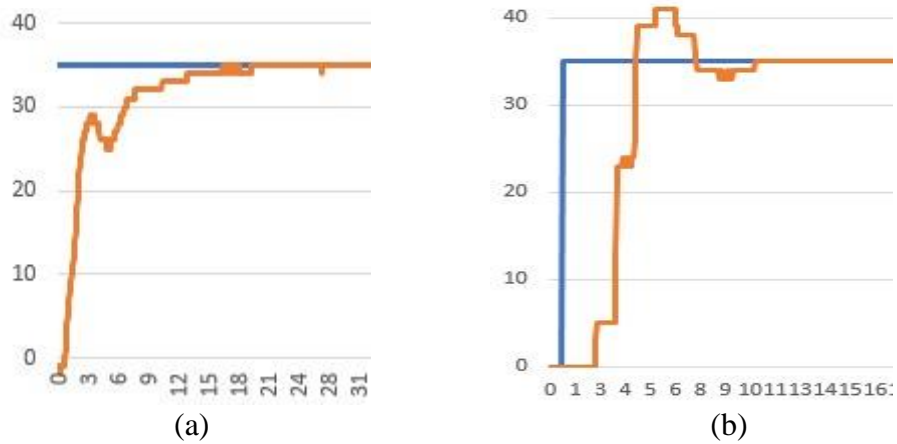


Figura 5.18: Error en estado estable del control Fuzzy en (a) VI y (b) Simulink

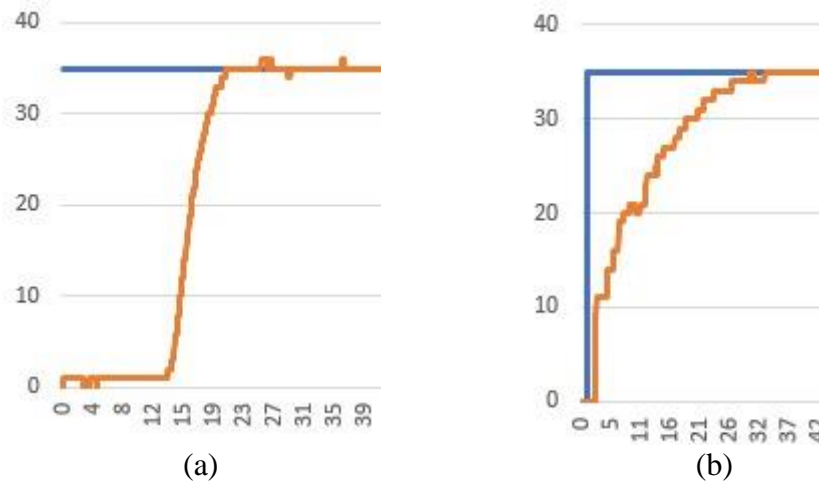


Figura 5.19: Error en estado estable del controlador PID en (a) VI y (b) Simulink

5.4.2.6 Análisis ante perturbaciones

Cuando se aplica una perturbación utilizando la tarjeta FPGA la estabilización de la planta tiende a demorarse un poco menos en el control Fuzzy que en control PID como se observa en las literales (a) de las Figuras 5.20 y 5.21.

Mientras que cuando se utiliza el PLC S7-1200 y se aplica una perturbación en el control Fuzzy la estabilización de la planta tiende a demorarse más tiempo que en el control PID. Observar las literales (b) de las Figuras 5.20 y 5.21.

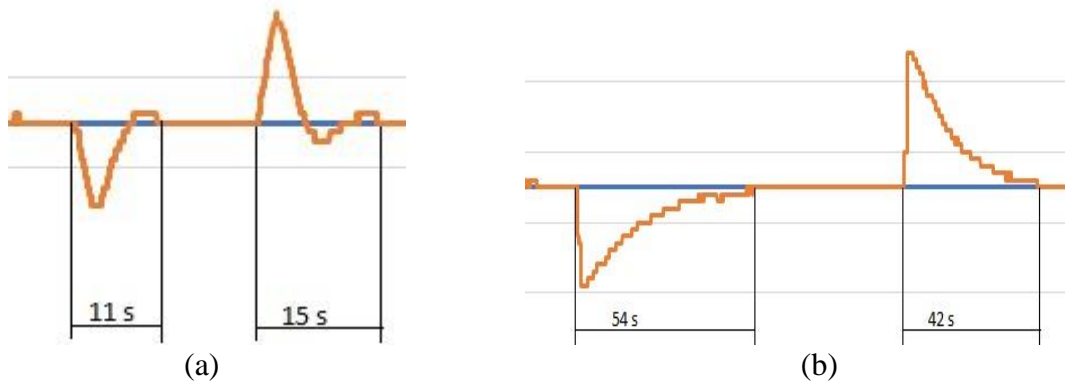


Figura 5.20: Perturbaciones en el control Fuzzy en (a) VI y (b) Simulink

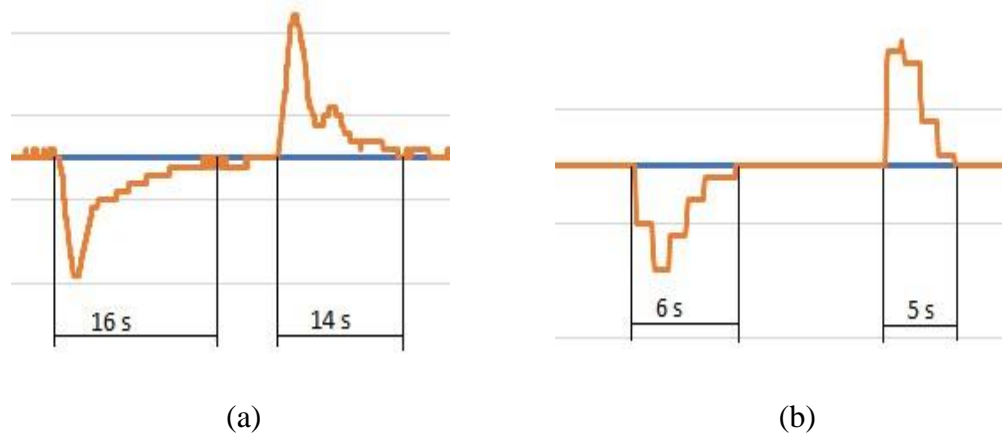


Figura 5.21: Perturbaciones en el control PID en (a) VI y (b) Simulink

5.4.2.7 Resumen de análisis

En la tabla 5.1 se detalla de forma simplificada el comportamiento de los controladores desde una misma señal de consigna dada, en la que se puede observar los tiempos de cada uno de los parámetros analizados con su respuesta de la planta de caudal al utilizar distintas formas de control.

Tabla 5.1 Resumen de resultados

	SP (l/min)	Fuzzy VI	Fuzzy slx	PID VI	PID slx
Tiempo de subida	0-35	19 s	21 s	7 s	4 s
Sobre impulso	0-35	N/A	N/A	N/A	SI
Tiempo de estabilización	0-35	22 s	28 s	21 s	11 s
Tiempo de retardo	0-35	16 s	7 s	2 s	4 s
Error en estado estable	0-35	SI	N/A	SI	N/A
Tiempo máximo respuesta ante perturbaciones	55	15 s	54 s	16 s	6 s

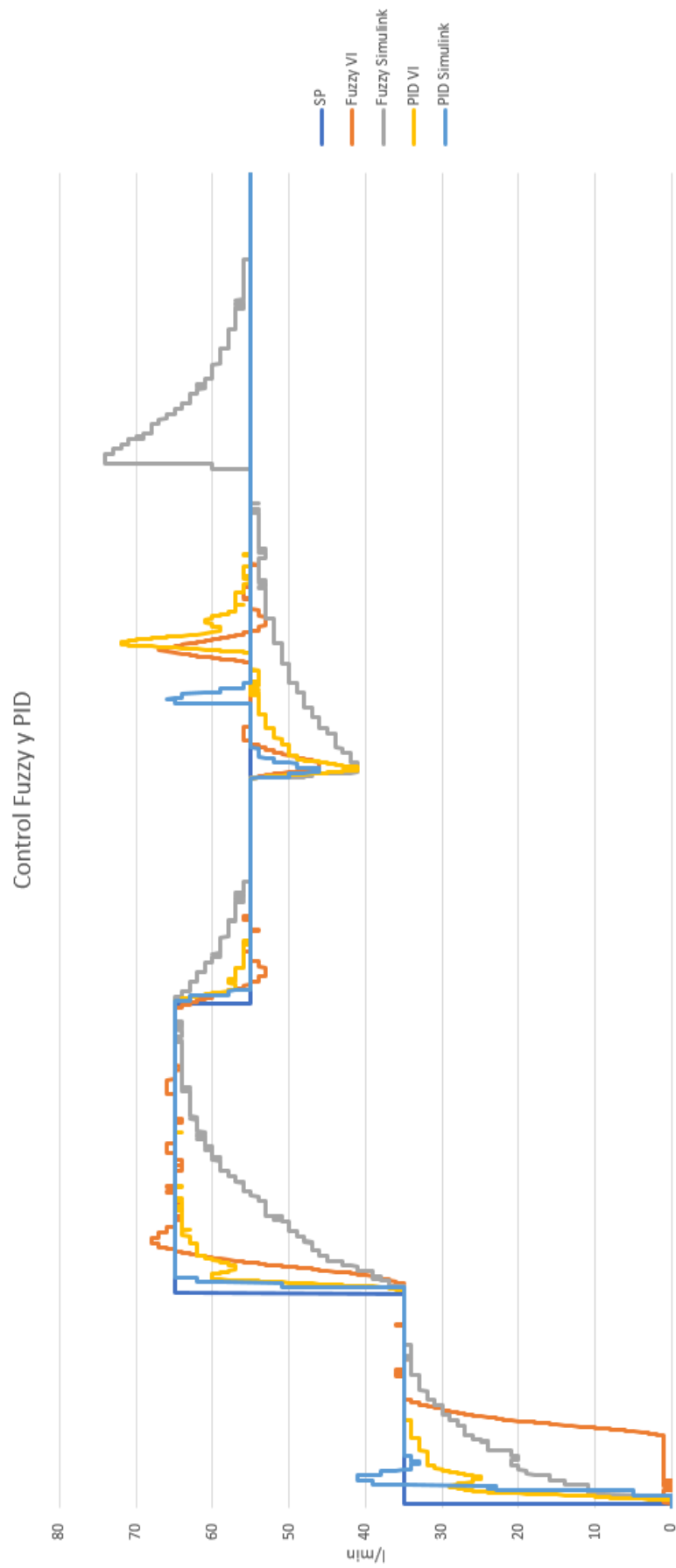


Figura 5.22: Curvas de comportamiento de los controles.

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

6.1 PRESUPUESTO

El presupuesto del proyecto de investigación en el que se trabajó, se debe tomar en cuenta varios ítems por separado, como también costos directos e indirectos que se detallan a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 6.1: Materiales y suministros

Materiales y suministros	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Breaker 10 ^a	1	6.00	6.00
Terminales de conexión	12	0.05	0.60
Cable Flexible #10 AWG	30	0.5	15.00
Taype	1	0.50	0.50
Plugs Banana	25	0.10	2.50
TOTAL			\$ 24.60

Tabla 6.2: Equipos para uso directo del proyecto

Equipos para uso directo del proyecto	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Módulo de flujo	1	1119.04	1119.04
Tarjeta FPGA NI myRIO	1	900.00	900.00
PLC S7-1200	1	400.00	400.00
Módulo de salidas analógicas	1	120.00	120.00
Variador de frecuencia iG5-A	1	446.00	446.00
Fuente Siemens de 24V	1	75.00	75.00
Ordenador	1	900.00	900.00
TOTAL			\$ 3960.04

En la tabla anterior se observa los valores de diferentes componentes como el módulo de flujo, el PLC S7-1200 y el Variador de Frecuencia que son valores obtenidos de las personas que fabricaron dicha planta [45].

El resto de equipos han sido obtenidos para la realización de la propuesta tecnológica.

Tabla 6.3: Gastos Indirectos y Profesionales

Gastos Indirectos y Profesionales	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Mano de obra	-	-	300.00
Transporte	-	-	10.00
Otros gastos	-	-	50.00
TOTAL			\$ 360.00

Una vez obtenidos los valores de cada uno de los gastos necesarios para la realización de este proyecto tenemos un valor de gastos totales de \$4344.64 dólares americanos.

6.2 ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.2.1 Impacto práctico

El análisis comparativo presentado del Control Fuzzy con PID en el módulo de flujo realiza un mejoramiento en las habilidades como profesionales en el manejo de dos softwares distintos que funcionan similarmente, fortaleciendo el manejo de señales analógicas tanto en una tarjeta FPGA como en PLC y de este último extraer la señal a un servidor y reenviarla a otro software el cual permite controlar cada una de las variables y a su vez extraer datos para su posterior análisis, este análisis indica los parámetros de desempeño de ambos controladores en diferentes etapas y utilizando dos diferentes softwares de programación, como también dos formas distintas de la variable de retroalimentación dando así un conocimiento más amplio del manejo de variables de envío y recepción de datos.

6.2.2 Impacto tecnológico

Debido a las limitantes presentadas en el módulo de caudal, teniendo en cuenta esto donde los constructores manifiestan que la planta fue diseñada para controles básicos On/Off y PID [45], ya que su PLC S7-1200 no cuenta con la capacidad necesaria para operar con los llamados Controladores Modernos, uno de ellos es el controlador Fuzzy que para hacerlo funcional se da la necesidad de conectarlo a la plataforma de programación Simulink mediante un servidor de conexión OPC que solo permite el PLC envío y recepción de datos a la planta, por el contrario al utilizar la tarjeta FPGA se tiene la necesidad de realizar las conexiones directas hacia la plataforma de programación VI tomando en cuenta que las señales analógicas se envían y se reciben a altas velocidades y con ruido.

Una vez obtenidos los datos contundentes que permitieron el análisis comparativo entre un control tradicional y un moderno en diferentes softwares de programación permite obtener una visión más amplia en el concepto de utilización y fiabilidad con respecto al proceso que se vaya a trabajar en un instante dado.

6.2.3 Impacto epistemológico

Una vez desarrollado el proyecto tecnológico se obtienen conocimientos en el área de programación en diferentes softwares, en sistemas de control y manejo de la variable de flujo la cual se caracteriza por ser una de las variables más rápidas y difícil de controlar, el propósito principal de esta propuesta tecnológica es poder incentivar a futuras generaciones a que no existen limitantes para poder trabajar en diferentes procesos con distintos actuadores y transmisores de señal.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Teóricamente hablando para la utilización de un Control Fuzzy se necesita un mayor tiempo de experiencia y comportamiento del sistema obtenidos por el operador que tiende a hacer una complejidad más añadida que al compararla con la estrategia de control PID clásica que no requiere lo antes mencionado solamente se necesita obtener el modelo matemático lo que lo hace el más utilizado en distintas áreas de control SISO.
- En la obtención de datos utilizando la FPGA es necesario realizar un procesamiento de señal utilizando ecuaciones de escalación en las variables de entrada y salida como a su vez es necesario utilizar un filtrado de señal utilizando un muestreo de 45 datos en la señal de entrada PV para así obtener una señal sin ruido la que se pueda utilizar para la obtención del modelo matemático que mediante la ayuda de software MATLAB es posible obtener la función de transferencia que corresponde al proceso real de la planta de caudal.
- Con la implementación del Control Fuzzy y PID en el proceso de caudal se obtiene el resultado que, el control PID tiene una respuesta más rápida y transitoria del 20% con respecto al Control Fuzzy el cual es más lento, pero el Control Fuzzy tiene un mejor desempeño y una respuesta en estado estacionario más fiable que el control PID.
- Al realizar el análisis comparativo utilizando las dos herramientas de obtención de datos como es la FPGA y el PLC se obtiene los resultados que el proceso funciona alrededor del 10% más rápido al utilizar la FPGA, pero tiene una señal de respuesta más ruidosa que el PLC donde su señal es más nítida y continua, pero necesariamente debe estar conectado a un ordenador de forma constante que por el contrario la FPGA no.
- Al implementar el controlador moderno tomando en cuenta las limitaciones obtenidas en la planta se realiza un preámbulo a futuras investigaciones que permitan la implementación del mismo controlador utilizando el sistema de múltiples variables de entrada y salida en el proceso de caudal.

7.2 RECOMENDACIONES

- A la hora de realizar cualquier trabajo, antes de hacer un previo mantenimiento a todo el sistema drenando en su totalidad el líquido y verificando que no existe ninguna impureza en el tanque reservorio del líquido ni del tanque de nivel.
- Antes de poner la planta en marcha observar el ANEXO III el cual indica los valores mínimos y máximos en los que puede operar la bomba en la planta sin tener ningún tipo de daño.
- Para la obtención de datos del transmisor en tiempo real es necesario utilizar un filtrado pasa abajo para evitar así las oscilaciones y ruido de la señal.
- Antes de empezar el diseño de cualquier controlador se debe observar el comportamiento de la planta utilizando un control de lazo abierto y si verificar los rangos óptimos de desempeño de la planta de caudal.
- Para la implementación del Control Fuzzy y obtener mejores resultados en el ámbito de la industria se debe adquirir un PLC de la serie 1500 en adelante el cual soporta la programación del controlador Fuzzy.
- Uno de los limitantes más difícil que se ha tenido que conllevar es el transmisor de flujo debido a que su envío de señal difiere de la que se está emitiendo visualmente y además de ello presenta un margen de error en la lectura de $0.00000833m^3/s$ con respecto a la señal analógica enviada por el mismo y un retardo de envío de señal de dos segundos en el cual se queda el ultimo valor de lectura.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. O. Ampuño Avilés, Diseño e implementación de un algoritmo de lógica difusa vs PID, para efectuar el control de un sistema de nivel y flujo ante perturbaciones en el medio., Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2014.
- [2] E. J. González Dieguez, Desarrollo y caracterización de un sistema de control PID virtual para los procesos de control de nivel y flujo de un tanque de agua con la plataforma FLUIDLAB-PA, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016.
- [3] J. Orellana Apolinario y A. Cascante Yépez, Modelado y control de posición de un cilindro de doble efecto utilizando PID y PID-DIFUSO con matlab y labview, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [4] L. P. Alomía Viver y C. A. Bastidas Aldaz, Caracterización y evaluación del comportamiento de controladores inteligentes difusos y controladores PID para aplicaciones industriales, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [5] L. CHUEN CHIEN , «Lógica difusa en sistemas de control:logica ddifusa controlador Parte 1,» *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, n° 2, pp. 404-418, 1990.
- [6] S. Dutta, «Aplicaciones de lógica difusa: cuestiones tecnológicas y estratégicas,» *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 40, n° 3, pp. 237-254, 1993.
- [7] O. B. School, «¿Qué características tiene un proceso industrial?,» [En línea]. Available: <https://www.obs-edu.com/int/blog-project-management/proyectos-de-ingenieria/que-caracteristicas-tiene-un-proceso-industrial> .
- [8] P. Abarca, «El ABC de la automatización. Sistemas de control automático,» [En línea]. Available: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sistemas-de-control-automatico.pdf>.
- [9] J. U. Anoro, «Sistemas automáticos y de control,» 2010-2011. [En línea]. Available: <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>.
- [10] B. Kuo, Sistemas de control automático, 7ma edición .
- [11] K. Ogata, Sistemas de Control en Tiempo Discreto, Segunda edición, Nueva York: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., 1996.
- [12] D. d. I. d. s. y. automática, «Análisis de la respuesta temporal de sistemas LTI,» [En línea]. Available: http://mapir.isa.uma.es/varevalo/teaching/automatica/pdfs/Tema%2004%20-%20Respuesta%20Temporal%20con%20Routh%20v2_vicente.pdf.
- [13] T. Álvarez, «Señales y sistemas,» [En línea]. Available: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/512/46642/1/Documento5.pdf .
- [14] J. Rodríguez, «Análisis de respuesta transitoria y estacionaria,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/24918727/ANALISIS_DE_LA_RESPUESTA_TRANSITORIA_Y_ESTACIONARIA.
- [15] L. F. Obando, «dademuchconnection,» 4 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://dademuch.com/2020/09/04/sistemas-de-primer-orden-respuesta-transitoria/>. [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [16] M. P. R. C. Dobson, Sistemas de segundo orden, Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Magallanes..
- [17] U. d. P. Vasco y E. H. Unibertsitatea, «eCampus,» [En línea]. Available: https://ocw.ehu.eus/file.php/83/cap6_html/capitulo-6.html#s643. [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [18] I. E. Néstor, «Introducción a la instrumentación,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/48240383/instrumentacion-sensores-transmisor-y-transductor>.
- [19] C. Cassiolat, Transmissores de pressão: sensores, tendências, mercado e aplicações., 2005.
- [20] D. O. Camacho, «Apuntes de control de procesos industriales,» 2014. [En línea]. Available: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4814/1/Anexo%201.pdf>.
- [21] D. J. W. M. A. Laughton, Electrical Engineer's Reference book, 6th edition Newnes, 2003.
- [22] P. J. L. Rodríguez., «Conceptos básicos y terminología de control,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.unet.edu.ve/~jlrodriguezp/ctrlterm.pdf>.
- [23] C. d. EcuRed, «Motor eléctrico,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Motor_el%C3%A9ctrico.

- [24] A. G. S. Romero, «La bomba,» [En línea]. Available: <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/TBombas.htm>.
- [25] F. P. Lizandro Pachano, «Válvulas de control,» [En línea]. Available: http://www.unet.edu.ve/~nduran/Teoria_Instrucontrol/Valvulas_de_control.pdf.
- [26] c. f. c. y. v. – A. I. S. Definición, «¿Qué es un variador de frecuencia?,» [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>.
- [27] F. Funes, «Sistema de control manual,» [En línea]. Available: <https://prezi.com/zi65rr6ob5bn/sistema-de-control-manual/>.
- [28] O. t. Sapiensman., «Modos de control de controladores industriales,» [En línea]. Available: http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial4.php.
- [29] D. d. I. U. d. B. Aires., «Sistemas de control más elaborados,» [En línea]. Available: <http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S1100SCME.pdf>.
- [30] C. d. Picuino, «Control feedforward,» [En línea]. Available: https://sites.google.com/site/picuino/feedforward_control#TOC-Control-Feedforward-y-PID.
- [31] D. d. u. c. P. a. p. u. c. R. d. s. o. m. l. S. d. Matlab., «¿Qué son los lazos de control PID?,» [En línea]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/controlador-pid-matlab/controlador-pid-matlab.pdf>.
- [32] M. J. W. & M. T. Tham, Advanced process control, 1944.
- [33] F. Inthamoussou., «Nociones de control robusto,» 2011. [En línea]. Available: https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/controlm/electronica/archivos/apuntes/c_robusto.pdf.
- [34] M. S. J.M., «Adaptative predictive control system,» 1976. [En línea]. Available: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE8_3_1.pdf.
- [35] H. Mendiburu, «Control predictivo,» [En línea]. Available: <http://www.ilustrados.com/tema/9320/Introduccion-control-predictivo.html>.
- [36] J. Gerardo, «Simulación de un controlador difuso mediante Matlab,» [En línea]. Available: <http://www.josegerardogomez.com/files/prac7.pdf>.
- [37] A. P. Lorandi Medina, G. Hermida Saba, E. L. Guevara Durán y J. Hernández Silva, «Controladores PID y Controladores Difusos,» *Revista de la Ingeniería Industrial*, vol. 5, n° 1, p. 13, 2011.
- [38] B. d. I. U. d. Piura, «Lógica difusa y sistemas de control,» [En línea]. Available: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf.
- [39] C. d. M. S. Exchange, «What is the difference between Mamdani and Sugeno un Fuzzy Logic?,» [En línea]. Available: <https://math.stackexchange.com/questions/148216/what-is-the-difference-between-mamdani-and-sugeno-in-fuzzy-logic>.
- [40] F. I. Process., «Soporte de Mathworks,» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html>.
- [41] I. O. C. Lezama, «Indicadores de gestión y aplicaciones de herramientas calidad,» [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos55/indicadores->.
- [42] D. Parmenter, Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs, 3era edición ed., 2013.
- [43] TECNOLOGIAVAO, «Tecnología para la industria,» 31 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://tecnologiaparalaindustria.com/cual-es-el-mejor-metodo-de-control-de-flujo-de-bombas/>. [Último acceso: 26 Mayo 2021].
- [44] Baldor, Manual de rendimiento bomba JMM3158t, Zurich, 2014.
- [45] W. A. Quinatoa Quinatoa y O. B. Velasco Panchi, CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL EN CASCADA DE NIVEL PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [46] . A. Negrín Pérez, Control y monitorización de un prototipo de dron con NI myRIO y LabVIEW, Valencia: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, 2018.
- [47] C. d. – C. Control, «Control de procesos industriales,» [En línea]. Available: <https://tiptiktak.com/tema-4-control-de-procesos-industriales-control-distribuido-41-introduccion-al-c.html>.

Parámetros de configuración del transmisor de flujo y variador de frecuencia.

Configuración del Variador de Frecuencia

Se utiliza en la propuesta tecnológica el variador de frecuencia LS iG5A con las siguientes conexiones de operación.

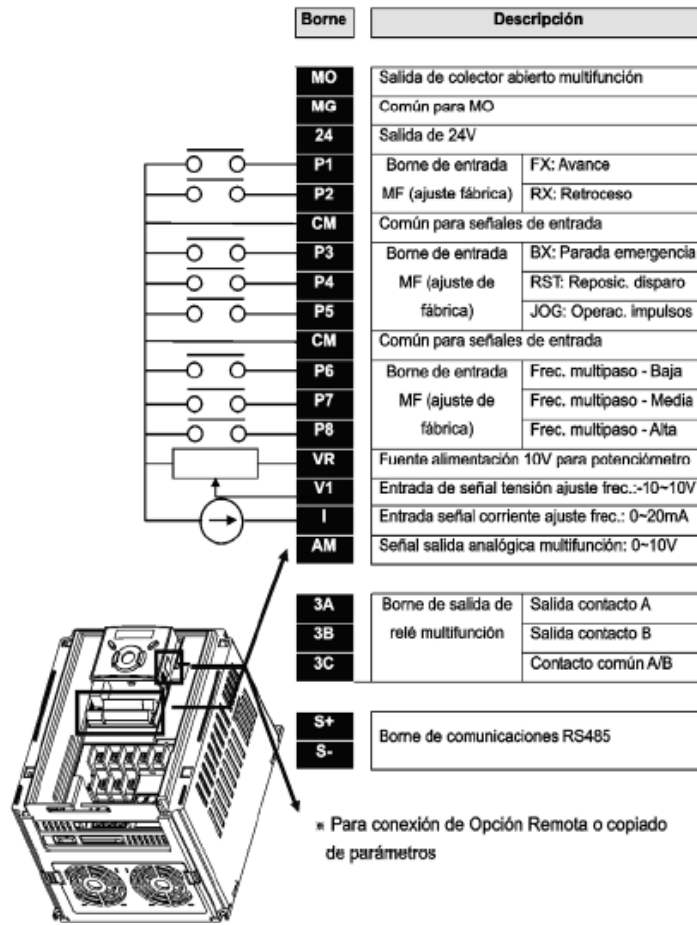


Figura A.1: Conexiones del variador

La siguiente configuración pertenece a cómo debe estar el variador para su funcionamiento con una entrada analógica y entregue su frecuencia de 0 a 60Hz dependiendo su entrada de CC.

Tabla A.1 Configuración del variador

Grupo	Código	Nombre del parámetro	Definición	Rango	Inicial
Grupo de accionamiento	0.00	[Comando de frecuencia]	-	0-400	0.00
	Frq	[Modo de frecuencia]	4	0-8	0
Grupo E/S	I11	[Constante temporal de filtro para la entrada I]	10	0-99	10
	I12	[Corriente mínima de entrada I]	-	0-20	4
	I13	[Frecuencia correspondiente a I12]	-	0-400	0.00
	I14	Corriente máxima de entrada I	-	0-20	20
	I15	Frecuencia correspondiente a I14	-	0-400	60.00

Configuración del Transmisor de Flujo

- PASO 1: Retirar tapa, girando antihorario y verificar que el Transmisor de flujo esté conectado, en la pantalla principal indica la siguiente interfaz



Figura A.2: Pantalla de trabajo

Primera fila: indica el caudal acumulado que mide cada vez que se enciende el sensor, es un número entero fijo de cinco bits.

Segunda fila: Indica el caudal acumulado es decir los L/m que han circulado desde que el sensor ha comenzado a censar (desde su compra e instalación).

Tercera fila: Indica el flujo instantáneo como un número entero más 2 decimales, las unidades se pueden configurar en el menú.

- PASO 2: Ingresar en el menú

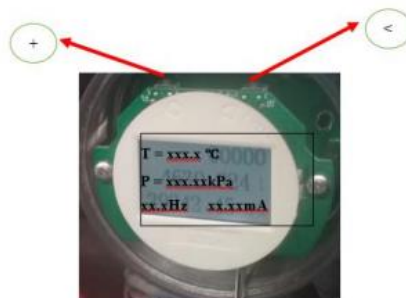


Figura A.3: Variables a configurar en la pantalla

Fuente: [45]

- PASO 3: Introduzca el estado de configuración de la contraseña para eso siga los siguientes pasos
- Pulse la tecla "<" clave (pulsación larga "<" alrededor de 1 a 2 segundos para confirmar e introducir la contraseña estado inicial.
- Pulse la tecla "+" (pulsación larga "+" alrededor de 1 a 2 segundos para salir, para cancelar el estado de entrada, devolución a la pantalla
- Pulse la tecla "+" en el estado de entrada, el ciclo para cambiar el valor en la posición del cursor. Pulse la tecla "<" mueve el cursor de entrada de posición;
- Ponemos la contraseña pulsación larga la Tecla "<" clave o contraseña para transmisor de flujo del módulo N.03 es: 2010.
- Pulse la tecla "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar la contraseña para entrar a la configuración presionando 2 segundos.

Parámetros que el usuario puede modificar.

Instrucciones para moverse dentro del menú del transmisor:

- Pulse el botón "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar.
- Pulse la tecla "+" para cambiar el valor o símbolo ciclo en la posición del cursor.
- Pulse la tecla "<" para mover el cursor al inicio de la derecha.
- Introducir hasta ocho datos de entrada (incluyendo el signo, el punto decimal):
- En el menú de búsqueda, pulse "+" para disminuir; presione "<" para encender la unidad; presione "<" para entrar en el submenú. Pulse "+" para volver a la interfaz de pantalla de trabajo.
- En el submenú, pulse la tecla "+" para la salida; luego presione "<" para entrar en el modo de modificación. En estados tales como la mejora opción de modificar, pulse la tecla "+" para seleccionar; presione "<" para confirmar.

Nota: Cuando se establece el parámetro, pulse "<" para confirmar la configuración de lo contrario es válido conjunto



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**

Abril 2021 – Agosto 2021



Tabla A.2 Menú de preferencias del usuario (La Contraseña es: 2010)
 La configuración de seteo para esta práctica es la mostrada en color azul.

Sub menú	Pantalla de menú	Significado	Seleccionar un elemento o rango de valores
1	Selección de la unidad de flujo	Selección de la unidad de flujo (Defecto 0)	0: metro ³ / h 1: metro ³ / m 2: l / h 3: l / m 4: t / h 5: t / m 6: kg / h 7: kg / m
2	Selección de algoritmos	Selección de algoritmos (Defecto 0)	00: Flujo de volumen convencional. 01: Flujo de masa convencional. 02: Flujo de volumen de gas convencionales. 03: Flujo de masa de gas convencionales.
3	Fluir Coeficiente k	Coeficiente de caudal	Ajuste el factor de metro, unidad: 190000.0 P / m³ (nota: se recomienda utilizar este valor para mejorar la fiabilidad de censo ya que si se utiliza otros valores puede variar el tiempo de muestreo del valor)
4	El flujo de salida de escala completa	Flujo de salida a escala completa (Defecto 1000)	Cuando la señal de la salida de 4 ~ 20 mA se requiere modificar su máximo de 100 l/m
5	Configuración de la densidad	Ajuste de densidad (Defecto 1.000000)	Cuando la selección del algoritmo se establece para el flujo de masa (01, 03), debe establecer esta unidad es: kg / m ³
6	Configuraciones electrónicas de la te	Los ajustes de Temperatura (Defecto temperatura: 0.000000)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
7	Ajustes de presión absoluta	Una presión absoluta de gas (Defecto 101,325)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
8	El límite inferior cortar el tráfico	Ajuste de la entrada de impulsos Porcentaje de eliminación Defecto (1.000000%)	Prensa% de la escala completa supresión de caudales valor entre 0 y 100, (Cuando se utiliza este tipo de rango de corriente y el pulso se debe establecer correctamente)
9	Tiempo de retardo de envío de señal	Este valor varío de (2 a 32 s) (Defecto 6.000000)	Esta configuración varía dependiendo el tiempo que se desee trabajar, se establece el valor de 2.000000 s
10	La cantidad acumulada despejado	La cantidad acumulada despejado	Para borrar el tipo de medida, seleccione YES y presione el botón "E"

Nota: Las palabras marcadas con color azul son datos que se deben ingresar al transmisor para que trabaje de una manera óptima, para resetear el transmisor ingresar la contraseña 2011



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



Tabla B: Escala ajustada a un máximo de operación en voltios a 100 l/min

Voltios Variador	Voltios Sensor	Caudal LPM
1	0,99	0
2,1	1	0
2,2	1	0
2,3	1,11	2,21
2,4	1,455	11,57
3	2,07	27,18
3,5	2,48	36,79
4	2,82	45,56
4,5	3,18	53,49
5	3,39	61,21
5,5	3,73	68,76
6	4,01	75,98
6,1	4,1	78,03
6,5	4,3	83,68
7	4,58	90,57

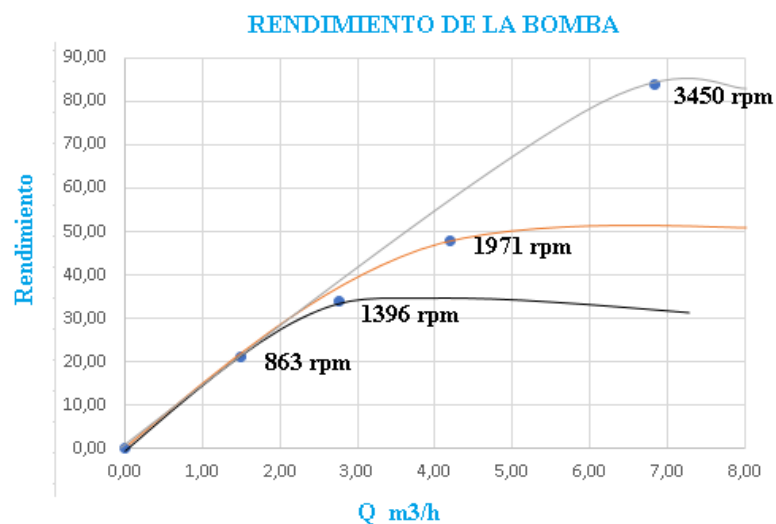


Figura B: Curvas de rendimiento min, máx, promedio y eficiencia



ANEXO C	Descripción de la tarjeta Ni myRIO	
----------------	---	--

Tarjeta Ni myRIO

Ni myRIO brinda a los profesores y alumnos una solución embebida y habilidades por wifi para obtener un enfoque atractivo, así aprender sobre control, investigar sobre mecatrónica y diseñar proyectos finales imaginativos. Los estudiantes pueden usar dicha tarjeta para explorar temas fundamentales de ingeniería donde sea que estén, puede realizar un control PID como también un control Fruzzzy o predictivo etc.

myRIO es una combinación de un microprocesador + FPGA + Puertos de Entrada/Salida. Para ser más específicos myRIO tiene procesador ARM® Cortex™-A9 dual-core de rendimiento en tiempo real y E/S personalizada. Disponible en dos versiones, la versión cubierta de NI myRIO (NI myRIO-1900) ofrece habilidad WiFi, 3 puertos de E/S y una cubierta lista para estudiantes, mientras que la versión de tarjeta únicamente (NI myRIO-1950) ofrece un tamaño más pequeño sin WiFi y con 2 puertos de E/S. La tarjeta cuenta con 8 entradas analógicas, 4 salidas analógicas; 32 líneas E/S digitales, LEDs, push-button y acelerómetro interno [46].



La tarjeta myRIO está diseñada para ser programada en LabVIEW o C/C++ en la parte del procesador y con LabVIEW en la parte del FPGA.

Todo esto hace que sea la herramienta elegida para realizar este trabajo dado su potencia y su comodidad a la hora de programarlo.



Figura C.1 Tarjeta Ni myRIO

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</p> <p>Abril 2021 – Agosto 2021</p>	
---	--	---

ANEXO C	Descripción de la tarjeta Ni myRIO	
<p>Hardware</p> <p>Figura C.2 :Diagrama de bloques de hardware de NI myRIO-1900</p>		
	<p align="center"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI Abril 2021 – Agosto 2021 </p>	

ANEXO C	Descripción de la tarjeta Ni myRIO	
----------------	---	--

Se muestra el terminal de conexiones de la myRIO con la respectiva identificación para cada pin.

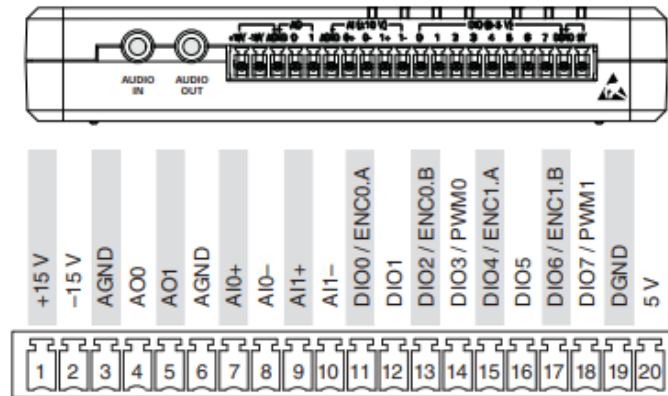


Figura C.3: Puerto de conexión de LA tarjeta NI myRIO

ANEXO D	Adquisición de datos	
----------------	-----------------------------	--

Tabla D: Base de datos adquirida de la estación de caudal

CV	PV	CV	PV	CV	PV	CV	PV
0	0	65	63.07	35	34.79	0	34.17
0	0	65	63.18	35	34.86	0	32.72
0	0	65	63.28	35	34.87	0	31.31
0	0	65	63.1	35	34.8	0	30.07
0	0	65	63.04	35	34.82	0	28.62
0	0	65	63.15	35	34.84	0	27.07
0	0	65	62.92	35	34.75	0	25.68
0	0	65	62.88	35	34.76	0	24.4
0	0	65	62.88	35	34.72	0	22.95
0	0	65	62.77	35	34.65	0	21.43
0	0	65	62.75	35	34.68	0	20.15
0	0	65	62.86	35	34.76	0	18.82
0	0	65	62.84	35	34.79	0	17.34
0	1	65	62.89	35	34.82	0	15.9
0	0.96	65	62.98	35	34.86	0	14.47
0	0.86	65	62.96	35	34.85	0	12.98
0	0.85	65	62.87	35	34.95	0	11.6
0	0.73	65	62.94	35	34.85	0	10.2
0	0.64	65	62.89	35	34.85	0	8.78
0	0.75	65	62.91	35	34.88	0	7.39
0	0.25	65	62.96	35	34.88	0	6.11
0	0.21	65	62.89	35	34.84	0	4.85
30	0.18	65	62.97	35	34.9	0	3.42
30	0.28	65	62.97	35	34.88	0	1.99
30	0.16	65	62.92	35	34.85	0	0.9
30	0.1	65	62.88	35	34.98	0	0.52
30	0.22	65	62.91	35	35.03	0	0.43
30	0.21	65	62.92	35	34.93	0	0.4
30	0.13	65	62.93	35	34.97	0	0.35
30	11.58	65	62.99	35	35.04	0	0.39
30	12.52	65	62.87	35	34.95	0	0.35
30	30.93	65	62.93	35	35.06	0	0.3
30	30.72	65	63.01	35	35.01	0	0.34
30	30.59	65	62.85	35	35.01	0	0.34
30	30.67	65	62.87	35	35.16	0	0.33
30	30.88	65	62.94	35	35.12	0	0.36
30	30.75	65	62.83	35	35.14	0	0.29
30	30.47	65	62.85	35	35.17	0	0.19

30	30.72	65	62.86	35	35.14	0	0.26
30	31.86	65	62.75	35	35.13	0	0.41
30	31.52	65	62.75	35	35.25	0	0.41
30	31.48	65	62.95	35	35.21	0	0.32
30	30.76	65	62.78	35	35.29	0	0.43
30	30.99	65	62.8	35	35.34	0	0.44
40	40.28	65	62.93	35	35.28	0	0.35
40	40.13	65	62.81	35	35.2	0	0.39
40	39.79	65	62.81	35	35.28	0	0.42
40	39.79	65	62.81	35	35.2	0	0.37
40	40.19	65	62.71	35	35.11	0	0.37
40	40.34	65	62.77	35	35.45	0	0.39
40	40.49	65	62.87	35	35.27	0	0.34
40	40.42	65	62.78	35	35.21	0	0.34
40	40.72	65	62.74	35	35.17	0	0.37
40	40.7	65	62.81	35	35.17	0	0.34
40	40.79	65	62.72	35	34.93	0	0.38
40	40.47	65	62.82	35	34.96	0	0.42
40	40.15	65	62.92	35	34.84	0	0.45
40	40.05	65	62.86	35	34.72	0	0.36
40	40.77	65	62.84	35	34.78	0	0.37
40	40.06	65	62.91	35	34.63	0	0.39
40	40.1	65	62.87	35	34.57	0	0.33
40	40.13	65	62.95	35	34.5	0	0.38
40	39.95	65	62.97	35	34.62	0	0.52
40	40.14	65	62.92	35	34.61	0	0.38
40	40.14	65	63.01	35	34.58	0	0.36
40	39.98	65	63.08	35	34.53	0	0.36
55	41.76	65	62.81	35	34.49	0	0.38
55	48.97	65	62.96	35	34.59	0	0.4
55	50.71	65	63.03	35	34.51	0	0.39
55	51.18	65	62.94	35	34.48	0	0.38
55	53.87	65	63.02	35	34.59	0	0.32
55	54.42	65	63.12	35	34.66	0	0.27
55	54.41	65	63.12	35	34.61	0	0.29
55	54.38	65	63.13	35	34.55	0	0.32
55	54.32	65	63.22	35	34.21	0	0.33
55	54.25	65	63.19	35	34.13	0	0.4
55	54.41	65	63.23	35	34.02	0	0.33
55	54.27	65	63.17	35	34.14	0	0.37
55	54.45	65	63.18	35	33.95	0	0.43
55	54.73	65	63.11	35	34.23	0	0.38
55	54.35	65	63.1	35	34.37	0	0.37
55	54.43	65	63.1	35	34.44	0	0.51

55	54.43	65	63.13	35	34.66	0	0.59
55	54.35	65	63.34	35	34.56	0	0.5
55	54.68	65	63.41	35	34.59	0	0.51
80	54.69	65	63.33	35	34.55	0	0.5
80	54.36	65	63.12	35	34.6	0	0.49
80	54.42	65	63.17	35	34.42	0	0.4
80	54.44	65	63.29	35	34.37	0	0.5
80	66.04	65	63.21	35	34.47	0	0.49
80	78.14	65	63.05	35	34.4	0	0.44
80	78.42	65	63.13	35	34.23	0	0.45
80	78.51	65	63.04	35	34.21	0	0.42
80	78.6	65	62.97	35	34.14	0	0.38
80	78.18	65	62.94	35	34.08	0	0.39
80	78.74	65	62.85	35	34.17	0	0.45
80	79.12	65	62.8	35	33.86	0	0.36
80	79.01	65	62.73	35	33.95	0	0.34
80	78.87	65	62.65	35	34.15	0	0.42
80	78.44	65	62.56	35	34.09	0	0.4
80	78.69	65	62.54	35	34.05	0	0.35
80	78.98	65	62.6	35	34.25	0	0.39
80	79.04	65	62.75	35	34.23	0	0.38
80	78.35	65	62.64	35	34.45	0	0.26
80	78.06	65	62.78	35	34.26	0	0.21
80	78.04	65	62.84	35	34.1	0	0.24
80	77.9	65	62.8	35	34.09	0	0.08
80	77.87	65	62.79	35	34.14	0	-0.02
80	78.05	65	62.73	35	33.98	0	0.06
80	78.04	65	62.59	35	34.05	0	0.18
80	78.1	65	62.65	35	34.25	0	0.17
80	78.06	65	62.9	35	34.06	0	0.2
80	78.13	65	62.81	35	34.07	0	0.28
80	78.19	65	62.76	35	34.13	0	0.16
80	78.18	65	62.91	35	34.04	0	0.18
80	78.13	65	62.93	35	34.11	0	0.24
80	78.11	65	63.02	35	34.31	0	0.25
80	78.17	65	63.08	35	34.17	0	0.21
80	78.09	65	63.05	35	34.12	0	0.24
80	78.33	65	63.1	35	34.28	0	0.26
80	78.38	65	63.13	35	34.21	0	0.17
80	78.4	65	63.03	35	34.46	0	0.3
80	78.38	65	63	35	34.64	0	0.37
80	78.35	65	63.2	35	34.51	0	0.23
80	78.4	65	63.19	35	34.81	0	0.22
80	78.49	65	63.2	35	35.13	0	0.29

80	78.17	65	63.24	35	35.05	0	0.3
80	78.29	65	63.19	35	35.07	0	0.25
80	78.28	65	63.24	35	35.12	0	0.33
80	78.41	65	63.29	35	35.2	0	0.23
80	78.51	65	63.21	35	35.19	0	0.2
80	78.49	65	63.14	35	35.26	0	0.26
80	78.42	65	63.16	35	35.2	0	0.29
80	78.35	65	63.1	35	35.3	0	0.29
80	78.31	65	63.11	35	35.19	0	0.17
80	78.15	65	63.06	35	34.95	0	0.22
80	78.15	65	63.02	35	35.12	0	0.18
80	78.05	65	63.02	35	35.06	0	0.18
80	78.01	65	63.04	35	34.99	0	0.24
80	78.1	65	62.94	35	35.04	0	0.22
80	78.2	65	62.97	35	35.05	0	0.22
80	78.08	65	62.98	35	34.99	0	0.22
80	78.03	65	62.9	35	35.07	0	0.07
80	78.05	65	62.93	35	35.23	0	-0.01
80	77.84	65	62.98	35	35.06	0	0.01
80	77.9	65	62.98	35	35.05	0	0.06
80	77.91	65	62.96	35	35.01	0	-0.04
80	77.83	65	63.06	35	34.85	0	0.01
80	77.91	65	62.97	35	34.89	0	0.12
80	77.89	65	62.95	35	34.72	0	0.07
80	77.84	65	62.98	35	34.58	0	0
80	78.09	65	62.91	35	34.65	0	0.05
80	78.03	65	62.88	35	34.68	0	0.05
80	78.03	65	62.96	35	34.47	0	0.01
80	78.05	65	62.84	35	34.47	0	0.17
80	78.08	65	62.87	35	34.51	0	0.2
80	78.18	65	62.92	35	34.35	0	0.14
80	78.19	65	62.83	35	34.31	0	0.21
80	78.25	65	62.91	35	34.46	0	0.25
80	78.25	65	62.93	35	34.37	0	0.2
80	78.27	65	62.97	35	34.56	0	0.12
80	78.27	65	62.95	35	34.55	0	0.17
65	78.29	65	63.03	35	34.52	0	0.04
65	78.3	65	62.97	35	34.6	0	0.07
65	78.3	65	63.02	35	34.63	0	0.07
65	78.31	65	63.11	35	34.53	0	0.06
65	78.29	65	63.11	35	34.64	0	0.03
65	78.33	65	63.11	35	34.65	0	0.14
65	78.28	65	63.16	35	34.57	0	0.26
65	78.32	65	63.09	35	34.79	0	0.3

65	78.21	65	63.13	35	34.76	0	0.25
65	77.99	65	63.26	35	34.65	0	0.31
65	77.85	65	63.05	35	34.75	0	0.23
65	77.68	65	63.1	35	34.88	0	0.17
65	77.54	65	63.18	35	34.81	0	0.25
65	77.42	65	63.16	35	34.85	0	0.32
65	77.28	65	63.07	35	34.78	0	0.23
65	77.15	65	63.19	35	34.69	0	0.3
65	76.98	65	63.15	35	34.83	0	0.38
65	76.89	65	63.15	35	34.87	0	0.25
65	76.67	65	63.21	35	34.83	0	0.2
65	76.46	65	63.23	35	34.91	0	0.26
65	76.37	65	63.17	35	34.96	0	0.15
65	76.18	65	63.24	35	34.92	0	0.07
65	76	65	63.34	35	35.12	0	0.15
65	75.93	65	63.31	35	35.08	0	0.14
65	75.85	65	63.32	35	35.02	0	0.16
65	75.6	65	63.23	35	35.1	0	0.31
65	75.48	65	63.27	35	35.05	0	0.33
65	75.24	65	63.3	35	34.89	0	0.27
65	74.66	65	63.23	35	34.98	0	0.25
65	74.09	65	63.21	35	34.97	0	0.31
65	73.52	65	63.23	35	34.93	0	0.36
65	72.91	65	63.12	35	34.98	0	0.28
65	72.26	65	63.27	35	34.91	0	0.28
65	71.77	65	63.22	35	34.88	0	0.3
65	71.33	65	63.24	35	35.11	0	0.29
65	70.85	65	63.31	35	35.05	0	0.31
65	70.39	65	63.32	35	34.9	0	0.39
65	69.88	65	63.23	35	34.95	0	0.36
65	69.35	65	63.33	35	34.89	0	0.41
65	68.85	65	63.36	35	34.83	0	0.52
65	68.33	65	63.29	35	34.98	0	0.43
65	67.85	65	63.25	35	34.98	0	0.42
65	67.3	65	63.13	35	34.95	0	0.57
65	66.86	65	62.93	35	35.05	0	0.55
65	66.37	65	62.91	35	35.08	0	0.5
65	65.86	65	63.12	35	34.99	0	0.6
65	65.44	65	62.96	35	34.98	0	0.59
65	65.04	65	62.84	35	34.94	0	0.54
65	64.54	65	63.01	35	34.91	0	0.64
65	64.06	65	62.97	35	34.92	0	0.63
65	63.65	65	62.9	35	34.97	0	0.57
65	63.22	65	62.95	35	35	0	0.62

65	62.85	65	62.76	35	35.12	0	0.61
65	62.81	65	62.76	35	35.04	0	0.59
65	62.84	65	62.76	35	34.96	0	0.56
65	62.74	65	62.56	35	35.01	0	0.51
65	62.73	65	62.61	35	34.97	0	0.51
65	62.76	65	62.42	35	35.05	0	0.45
65	62.72	65	62.46	35	35.06	0	0.51
65	62.68	65	62.3	35	34.92	0	0.51
65	62.77	65	62.34	35	34.87	0	0.47
65	62.73	65	62.23	35	34.91	0	0.44
65	62.76	65	62.25	35	34.93	0	0.48
65	62.84	65	62.22	35	34.89	0	0.33
65	62.79	65	62.23	35	34.99	0	0.21
65	62.75	65	62.21	35	34.85	0	0.3
65	62.81	65	62.29	35	34.78	0	0.27
65	62.88	65	62.35	35	34.76	0	0.23
65	62.83	65	62.48	35	34.75	0	0.27
65	62.93	65	62.63	35	34.71	0	0.26
65	62.93	65	62.46	35	34.74	0	0.19
65	62.85	65	62.43	35	34.78	0	0.23
65	62.86	65	62.51	35	34.77	0	0.35
65	62.86	65	62.34	35	34.85	0	0.24
65	62.75	65	62.35	35	34.92	0	0.2
65	62.75	65	62.53	35	34.84	0	0.26
65	62.73	65	62.48	35	34.96	0	0.15
65	62.62	65	62.58	35	34.97	0	0.18
65	62.58	65	62.62	35	35.01	0	0.28
65	62.53	65	62.68	35	35.11	0	0.26
65	62.48	65	62.82	35	35.13	0	0.29
65	62.49	65	62.85	35	35.1	0	0.38
65	62.46	65	62.88	35	35.06	0	0.47
65	62.39	65	62.84	35	35.09	0	0.38
65	62.39	65	62.95	35	35.01	0	0.5
65	62.41	65	63	35	35.09	0	0.51
65	62.35	65	63.02	35	35.11	0	0.45
65	62.39	65	63.07	35	35.07	0	0.44
65	62.41	65	63.01	35	35.18	0	0.51
65	62.39	65	62.96	35	35.1	0	0.59
65	62.44	65	62.96	35	35.11	0	0.44
65	62.5	65	62.87	35	35.19	0	0.53
65	62.39	65	62.89	35	35.22	0	0.59
65	62.39	65	62.93	35	35.15	0	0.53
65	62.42	65	62.85	35	35.2	0	0.56
65	62.47	65	62.9	35	35.24	0	0.66

65	62.47	65	62.99	35	35.16	0	0.68
65	62.5	65	62.87	35	35.29	0	0.57
65	62.43	65	62.9	35	35.22	0	0.67
65	62.51	65	62.92	35	35.21	0	0.67
65	62.65	65	62.81	35	35.26	0	0.57
65	62.63	65	62.75	35	35.21	0	0.68
65	62.71	65	62.78	35	35.15	0	0.75
65	62.78	65	62.72	35	35.17	0	0.65
65	62.76	65	62.61	35	35.1	0	0.64
65	62.92	65	62.68	35	35	0	0.7
65	63	65	62.63	35	35.12	0	0.6
65	62.92	65	62.6	35	35.1	0	0.48
65	63	65	62.62	35	35	0	0.58
65	63.01	65	62.64	35	35.14	0	0.52
65	62.92	65	62.63	35	35.09	0	0.45
65	63.03	65	62.68	35	35.04	0	0.47
65	63.09	65	62.59	35	35.13	0	0.53
65	62.89	65	62.58	35	35.12	0	0.48
65	62.86	65	62.71	35	35.11	0	0.51
65	63	65	62.72	35	35.19	0	0.68
65	62.89	65	62.75	35	35.13	0	0.55
65	62.96	65	62.84	35	35.06	0	0.39
65	63	65	62.84	35	35.12	0	0.51
65	62.8	65	62.75	35	34.94	0	0.52
65	62.61	65	62.74	35	34.78	0	0.34
65	62.7	65	62.72	35	34.89	0	0.41
65	62.6	65	62.75	35	34.8	0	0.51
65	62.52	65	62.74	35	34.67	0	0.38
65	62.57	65	62.71	35	34.6	0	0.42
65	62.35	65	62.77	35	34.6	0	0.45
65	62.43	65	62.82	35	34.49	0	0.4
65	62.43	65	62.83	35	34.53	0	0.33
65	62.3	65	62.87	35	34.58	0	0.43
65	62.35	65	62.91	35	34.64	0	0.48
65	62.26	65	62.93	35	34.69	0	0.4
65	62.14	65	62.93	35	34.64	0	0.47
65	62.16	65	63.06	35	34.6	0	0.58
65	62.23	65	63.12	35	34.8	0	0.48
65	62.08	65	63.07	35	34.76	0	0.41
65	62.14	65	63.11	35	34.78	0	0.48
65	62.18	65	63.13	35	34.85	0	0.44
65	61.98	65	63.14	35	34.8	0	0.33
65	61.91	65	63.17	35	34.69	0	0.44
65	62.14	65	63.14	35	34.73	0	0.34

65	61.93	65	63.12	35	34.77	0	0.23
65	61.88	65	63.16	35	34.74	0	0.34
65	61.86	65	63.18	35	34.94	0	0.48
65	61.89	65	63.14	35	35.02	0	0.4
65	61.81	65	63.19	35	35.09	0	0.45
65	62.04	65	63.25	35	35.17	0	0.61
65	62.08	65	63.2	35	35.16	0	0.5
65	62.09	65	63.23	35	35.07	0	0.42
65	62.13	65	63.26	35	35.2	0	0.55
65	62.08	65	63.24	35	35.28	0	0.52
65	62.13	65	63.22	35	35.21	0	0.53
65	62.03	65	63.24	35	35.26	0	0.54
65	62.1	65	63.25	35	35.31	0	0.53
65	62.3	65	63.27	35	35.19	0	0.47
65	62.36	65	63.35	35	35.17	0	0.49
65	62.32	65	63.25	35	35.23	0	0.48
65	62.38	65	63.27	35	35.17	0	0.44
65	62.53	65	63.13	35	35.29	0	0.46
65	62.48	65	63.06	35	35.07	0	0.45
65	62.61	65	63.03	35	35.07	0	0.41
65	62.67	65	63.03	35	35.13	0	0.49
65	62.61	65	62.94	35	34.99	0	0.51
65	62.72	65	62.97	35	34.92	0	0.52
65	62.95	65	62.92	35	35.04	0	0.41
65	62.8	35	62.84	35	35.07	0	0.49
65	62.84	35	62.81	35	34.92	0	0.48
65	63.01	35	62.87	35	35.05	0	0.39
65	63.01	35	62.84	35	34.88	0	0.41
65	62.95	35	62.8	35	34.73	0	0.34
65	63.22	35	62.78	35	34.76	0	0.28
65	63.15	35	62.7	35	34.79	0	0.29
65	63	35	62.74	35	34.71	0	0.38
65	63.11	35	62.78	35	34.85	0	0.36
65	63.2	35	62.68	35	34.91	0	0.36
65	63.18	35	62.65	35	34.91	0	0.43
65	63.29	35	62.64	35	34.99	0	0.41
65	63.33	35	62.68	35	34.97	0	0.99
65	63.29	35	62.68	35	34.86	0	1.09
65	63.21	35	62.54	35	34.9	0	1.09
65	63.14	35	62.07	35	34.88	0	1.1
65	63.18	35	61.5	35	34.77	0	1.16
65	63.18	35	61.09	35	34.84	0	1.08
65	63.14	35	60.65	35	34.8	0	0.99
65	63.09	35	60.11	35	34.81	0	1.1

65	63.14	35	59.6	35	34.78	0	1.2
65	63.16	35	59	35	34.73	0	1.09
65	63.1	35	58.42	35	34.79	0	1.16
65	63.06	35	57.91	35	34.88	0	1.23
65	63.16	35	57.38	35	34.89	0	1.31
65	63.17	35	56.84	35	34.86	0	1.15
65	63.31	35	56.38	35	34.93	0	1.2
65	63.3	35	55.84	35	34.87	0	1.18
65	63.29	35	55.09	35	34.83	0	1.26
65	63.22	35	54.45	35	34.87	0	1.34
65	63.23	35	53.97	35	34.96	0	1.3
65	63.23	35	53.46	35	34.93	0	1.35
65	63.25	35	52.85	35	34.95	0	1.43
65	63.2	35	52.25	35	34.93	0	1.34
65	63.17	35	51.71	35	34.89	0	1.3
65	63.21	35	50.59	35	34.8	0	1.46
65	63.25	35	49.46	35	34.8	0	1.29
65	63.27	35	48.31	35	34.79	0	0.71
65	63.3	35	47.05	35	34.85	0	0.57
65	63.29	35	46.13	35	34.86	0	0.59
65	63.31	35	45.38	35	34.84	0	0.74
65	63.46	35	44.79	35	34.91	0	0.85
65	63.49	35	44.09	35	34.89	0	0.98
65	63.51	35	43.42	35	34.82	0	1.01
65	63.47	35	42.77	35	34.88	0	0.97
65	63.53	35	42.26	35	34.91	0	0.94
65	63.46	35	41.72	35	34.87	0	1.07
65	63.58	35	41.19	35	34.88	0	1.17
65	63.77	35	40.5	35	34.82	0	1
65	63.64	35	39.9	35	34.79	0	1.06
65	63.62	35	39.4	35	34.74	0	1.14
65	63.54	35	38.74	35	34.73	0	1.04
65	63.3	35	38.11	35	34.69	0	1.07
65	63.26	35	37.77	35	34.72	0	0.92
65	63.36	35	37.31	35	34.72	0	0.8
65	63.17	35	36.7	35	34.62	0	0.82
65	63.21	35	36.17	35	34.73	0	0.8
65	63.4	35	35.64	35	34.72	0	0.58
65	63.25	35	35.05	35	34.64	0	0.68
65	63.36	35	34.61	35	34.7	0	0.75
65	63.3	35	34.6	35	34.69	0	0.57
65	63.27	35	34.63	35	34.64	0	0.7
65	63.22	35	34.64	35	34.66	0	0.66
65	63.2	35	34.73	35	34.63	0	0.8

65	63.09	35	34.62	35	34.61	0	0.71
65	63.1	35	34.7	35	34.66	0	0.45
65	63.13	35	34.77	35	34.64	0	0.32
65	63.06	35	34.74	35	34.63	0	0.19
65	63.02	35	34.86	35	34.72	0	0.15
65	63.01	35	34.86	35	34.71	0	0.13
65	62.94	35	34.7	35	34.62	0	0.1
65	62.86	35	34.7	35	34.74	0	-0.02
65	62.8	35	34.74	35	34.73	0	-0.1
65	62.7	35	34.74	35	34.67	0	0.03
65	62.74	35	34.82	35	34.75	0	-0.09
65	62.72	35	34.72	35	34.7	0	-0.11
65	62.6	35	35.02	35	34.66	0	0
65	62.94	35	34.96	35	34.73	0	-0.08
65	62.95	35	34.9	35	34.71	0	-0.06
65	62.85	35	34.94	35	34.59	0	0.02
65	63.11	35	34.97	35	34.74	0	0.04
65	63.17	35	34.88	35	34.62	0	-0.07
65	63.19	35	34.92	35	34.62	0	0.09
65	63.33	35	35	35	34.78	0	0.07
65	63.33	35	34.89	35	34.61	0	-0.06
65	63.43	35	34.96	35	34.67	0	-0.08
65	63.36	35	34.92	0	34.75	0	-0.1
65	63.23	35	34.8	0	34.74	0	-0.13
65	63.23	35	34.9	0	34.76	0	-0.14
65	63.2	35	34.99	0	34.85	0	-0.04
65	63.15	35	34.88	0	34.67	0	-0.07
65	63	35	34.87	0	34.72	0	-0.02
65	62.99	35	34.91	0	34.67	0	0.12
65	62.98	35	34.81	0	34.78	0	0.18
65	63.03	35	34.97	0	34.59	0	0.18
65	63.08	35	35.07	0	34.64	0	0.25
65	63.14	35	35.02	0	34.71	0	0.32
65	63.12	35	35.06	0	34.79	0	0.22
65	63.17	35	35.13	0	35	0	0.28
65	63.04	35	35.04	0	34.99	0	0.25
65	62.98	35	35.09	0	35.01	0	0.33
65	63.21	35	34.8	0	35.05	0	0.32
65	63.11	35	34.76	0	35.19	0	0.36
65	63.1	35	34.81	0	35.24	0	0.37
65	63.31	35	34.83	0	35.26	0	0.41
65	63.2	35	34.77	0	35.22	0	0.43
65	63.15	35	34.85	0	35.41	0	0.41
65	63.05	35	34.88	0	35.36	0	0.38

65	63.03	35	34.81	0	35.17	0	0.46
65	62.92	35	34.9	0	35.39	0	0.46
65	62.87	35	34.9	0	35.44	0	0.49
65	62.8	35	34.92	0	35.37	0	0.56
65	62.9	35	34.95	0	35.48	0	0.56
65	62.91	35	34.88	0	35.54	0	0.47
65	63.01	35	34.83	0	35.42	0	0.44
65	63.08	35	34.87	0	35.62	0	0.48
65	63.11	35	34.85	0	35.62	0	0.39
65	63.11	35	34.8	0	35.65	0	0.44
65	63.16	35	34.8	0	35.21	0	0.41



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**

Abril 2021 – Agosto 2021



ANEXO E	Sintonía del controlador PID
----------------	-------------------------------------

El método utilizado para la sintonía del control PID es el método de PI Haalma debido que permite validar el modelo de proceso de primer orden con retardo en el tiempo (FOTD) característico de los sistemas con respuesta al escalón.

$$P(s) = \frac{Kp}{1 + sT} e^{-sL}$$

Dónde:

Kp es la ganancia estática

T es la constante de tiempo (también denominada retraso)

L es el retardo de tiempo

Ecuación equivalente obtenida

$$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} e^{-Td*s}$$

$$Kp = 0.98602$$

$$Tp1 = 1.7063$$

$$Td = 3$$

Los términos equivalentes de las dos ecuaciones se muestran a continuación:

Kp	=	Kp
T	=	$Tp1$
L	=	Td

Como parte del proceso experimental se procede a calcular valores de sintonía para un control PI y PID haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

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

Constantes para un control PI

Haciendo uso del modelo FOTD y de las ecuaciones correspondientes se obtiene los siguientes valores

$$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} e^{-Td*s}$$

$$Kp = 0.98602$$

$$Tp1 = 1.7063$$

$$Td = 3$$

Constantes de sintonía:

Agresivo	Robusto
Kp = 0.36769697684	Kp = 0.21314368721
Ti = 1.7063	Ti = 1.7063

Constantes para un control PID

Haciendo uso del modelo FOTD y de las ecuaciones correspondientes se obtiene los siguientes valores:

$$G(s) = \frac{Kp}{1 + Tp1 * s} e^{-Td*s}$$

$$Kp = 0.98602$$

$$Tp1 = 1.7063$$

$$Td = 3$$

Constantes de sintonía:

Agresivo	Robusto
Kp = 1.0141782114	Kp = 0.49128398967
Ti = 3.2063	Ti = 3.2063
Td = 0.798256557	Td = 0.7982565574



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



Control Fuzzy

Debido a que la imagen es muy grande para poder presentar de forma óptima se procede a adjuntar en el siguiente anexo la imagen del HMI y el diagrama en bloques con una mejor visualización, en los dos controladores se ha utilizado en mismo modelo de HMI.



Figura F.1: HMI del control Fuzzy

Debido a que el controlador Fuzzy en sí solo, es un controlador que trabaja realizando cálculos de forma rápida, y en la planta que se está trabajando debido a sus limitaciones y es difícil trabajar para su respectiva sintonización, también al obtener la función de transferencia se obtiene un tiempo de espera de 3 segundos se opta por la utilización del Fuzzy integrado sobre un tiempo que significa la espera de un tiempo muerto de 1/s, para lo cual se ha utilizado la fórmula de integración de forma discreta que se la representa en la siguiente ecuación.

$$\frac{dh}{dt} = \frac{di * ki * \sqrt{2gh}}{A}$$

La cual se deduce de forma discreta la siguiente ecuación que se implementa en la programación de bloques:

$$h = dh * ts + h$$

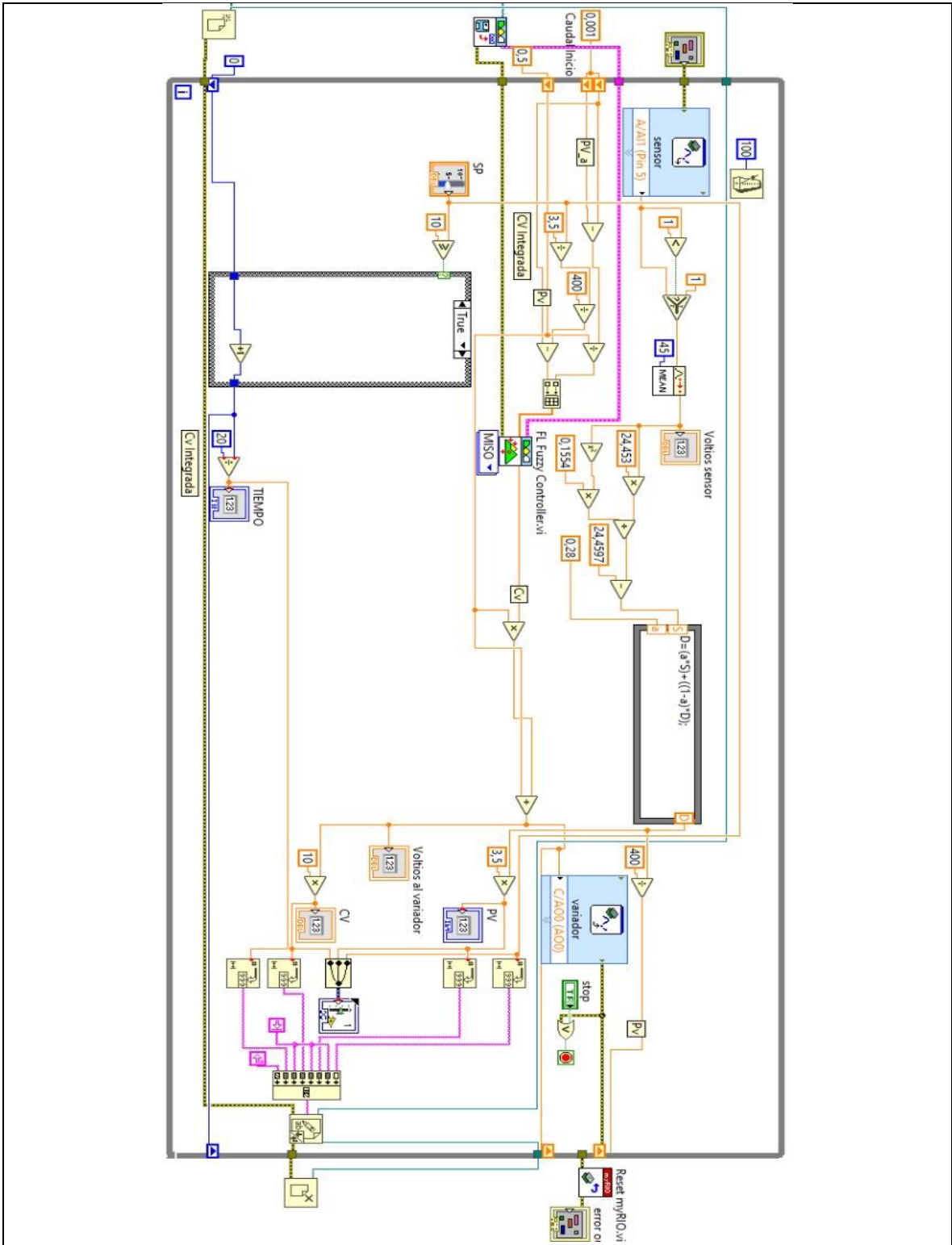


Figura F.2: Diagrama de bloques del control Fuzzy



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

Controlador PID

Ya que el diagrama de bloques es demasiado extenso y llevas bloques muy pequeños en los cuales se visualiza información de constantes importantes las cuales no son percibidas fácilmente se ve la necesidad de incluir la figura de forma más amplia.

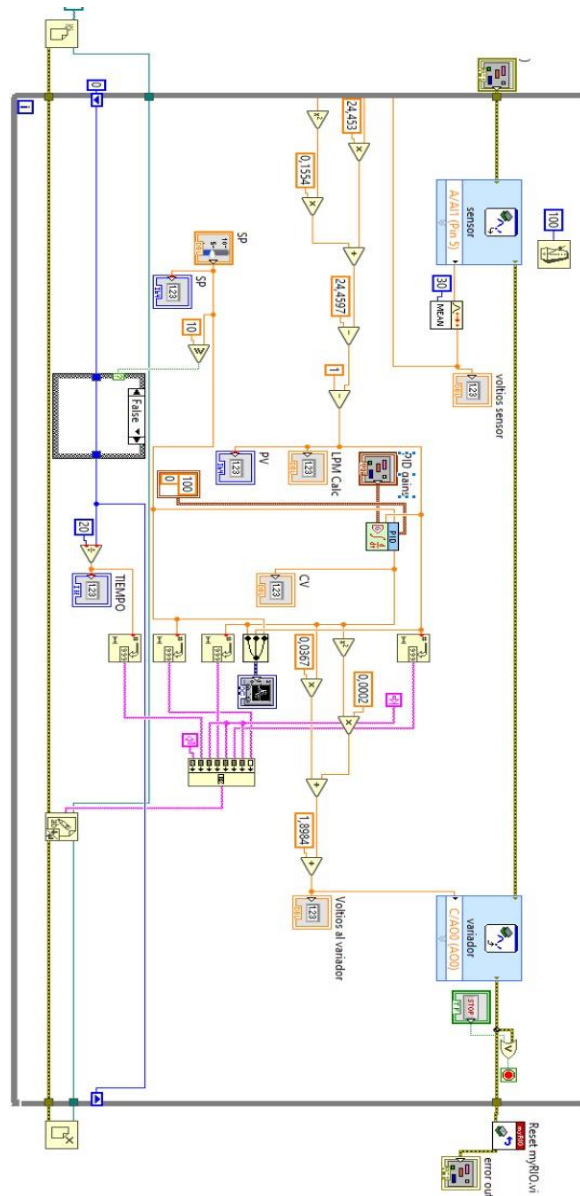


Figura G.1: Diagrama de bloques del control PID

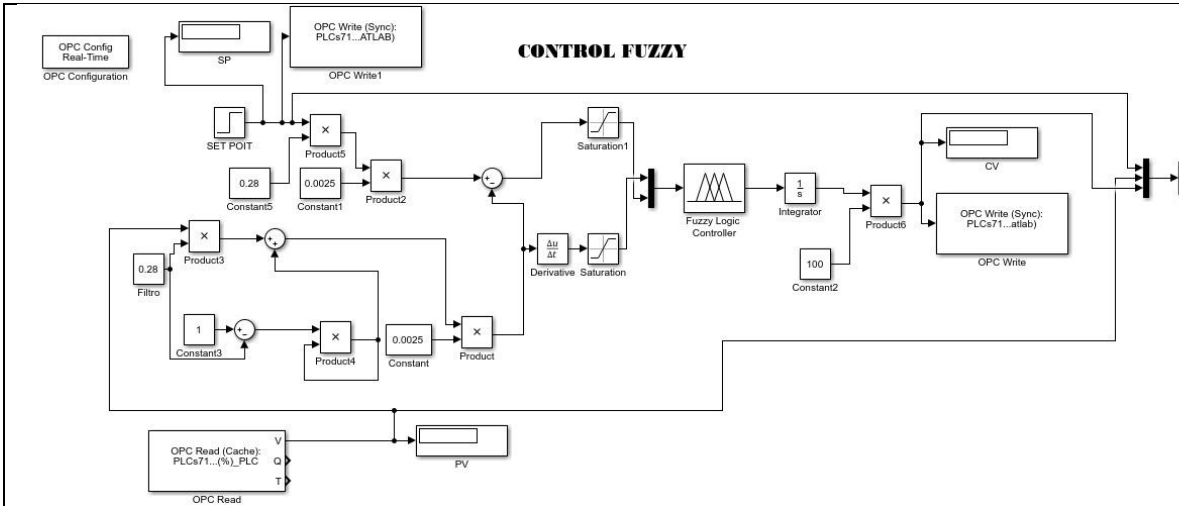


Figura F.3: Diagrama de bloques del control Fuzzy en Simulink

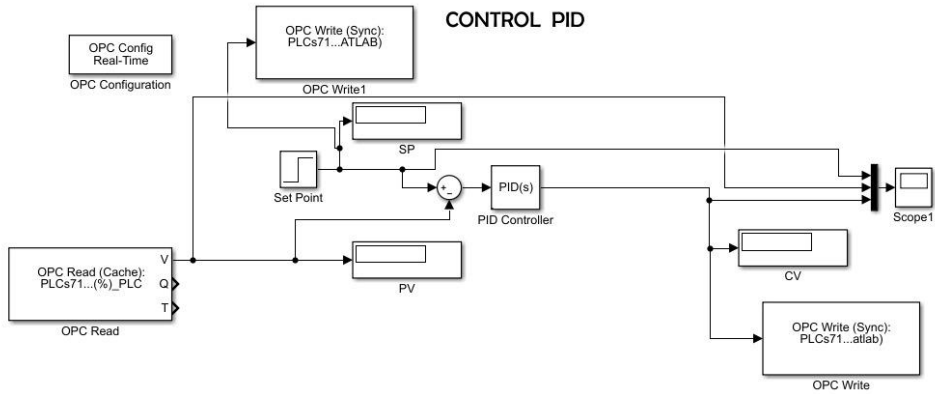


Figura G.2: Diagrama de bloques del control PID en Simulink



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



ANEXO H	Comunicación entre PLC S7-1200 y Simulink	
----------------	--	--

Comunicación

Debido a que el PLC siemens S7-1200 no soporta la programación para el controlador Fuzzy, simplemente se realiza una programación de entradas y salidas analógicas para el envío y recepción de señales en la planta que se está trabajando que se detalla a continuación.

Primero se realiza la programación en el TIA PORTAL V16 en la cual se verifican las entradas y salidas analógicas que posee el PLC para así crear una marca digital dentro del mismo.

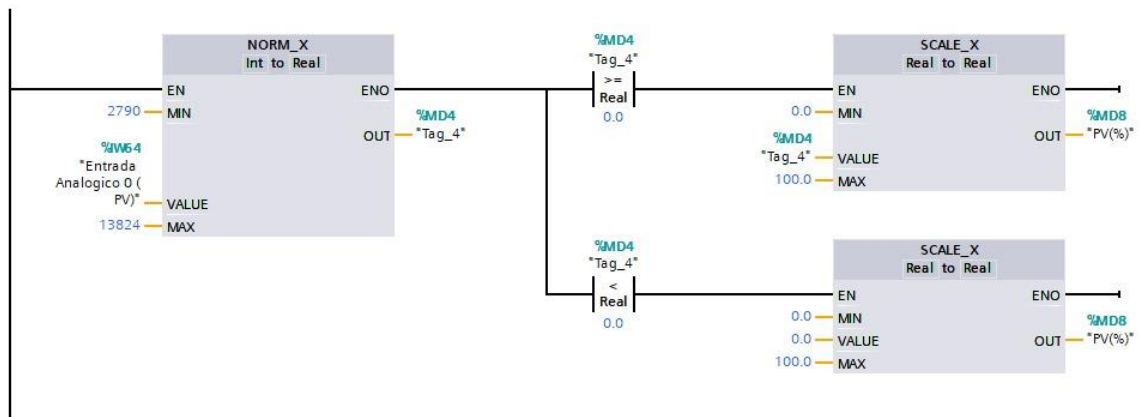


Figura H.1: Entrada analógica en TIA PORTAL V16

En la siguiente figura se observa la salida analógica proveniente del servidor OPC que se expresa en una salida real del PLC que previamente se ha visualizado la cual corresponde a la QW 112.

En este punto la escalación de las variables PV que es de 1-5V y la variable CV que es de 0-10V se realiza la escalación en este punto para facilitar la comunicación entre los controladores establecidos.

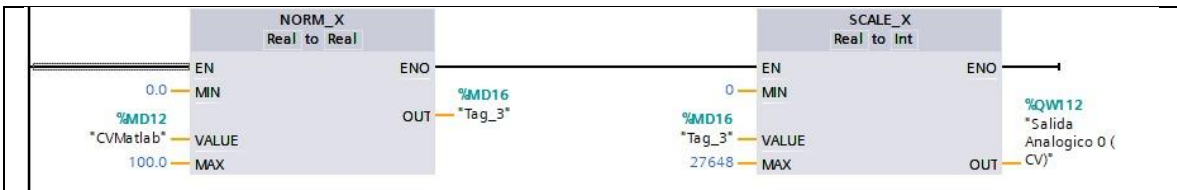


Figura H.2: Salidas analógicas en TIA PORTAL V16

Una vez configurado el TIA PORTAL V16 se procede a configurar en KEPServerEX OPC, donde primero se crea una carpeta en proyecto dentro de conectividad, como se expresa en la siguiente figura.

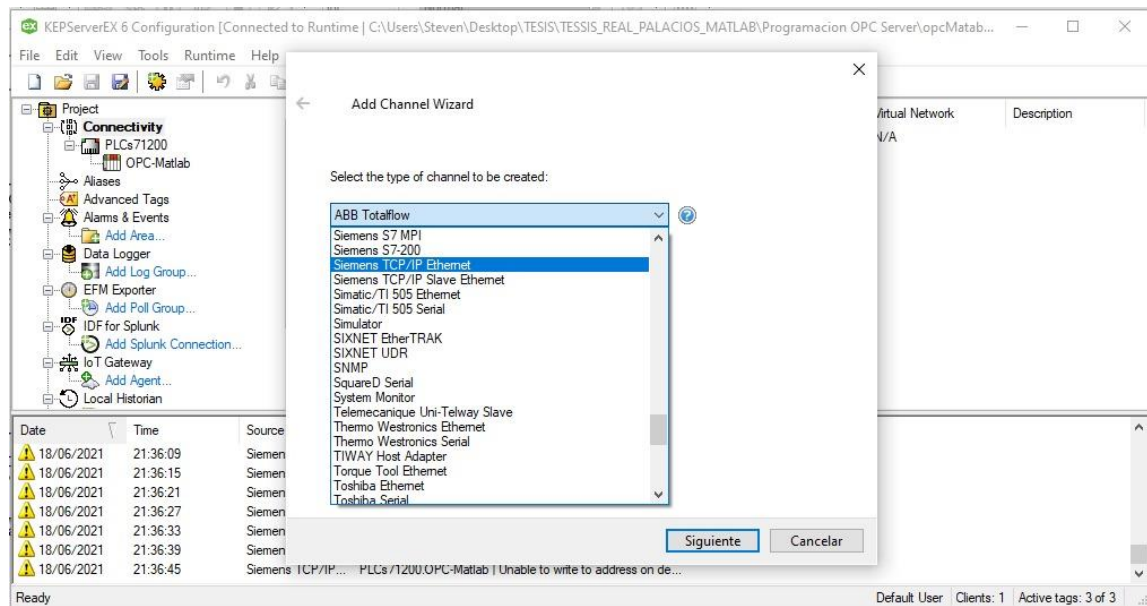


Figura H.3: Selección de entrada RJ45 del PLC

Cabe recalcar que para crear la carpeta de conectividad hay que escoger la comunicación proveniente del PLC en nuestro caso es el PLS S7-1200 con versión de software 3.0 el cual no es necesario poner en el TIA PORTAL la opción de transmitir OPC, ya que al ser una versión antigua viene por defecto, dentro de la carpeta antes mencionada se realiza la creación de la carpeta OPC-MATLAB donde se escoge en primer lugar la dirección de comunicación, el modelo del PLC, el canal de asignación de datos y la dirección IP del mismo como se muestra en la siguiente figura.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**

Abril 2021 – Agosto 2021



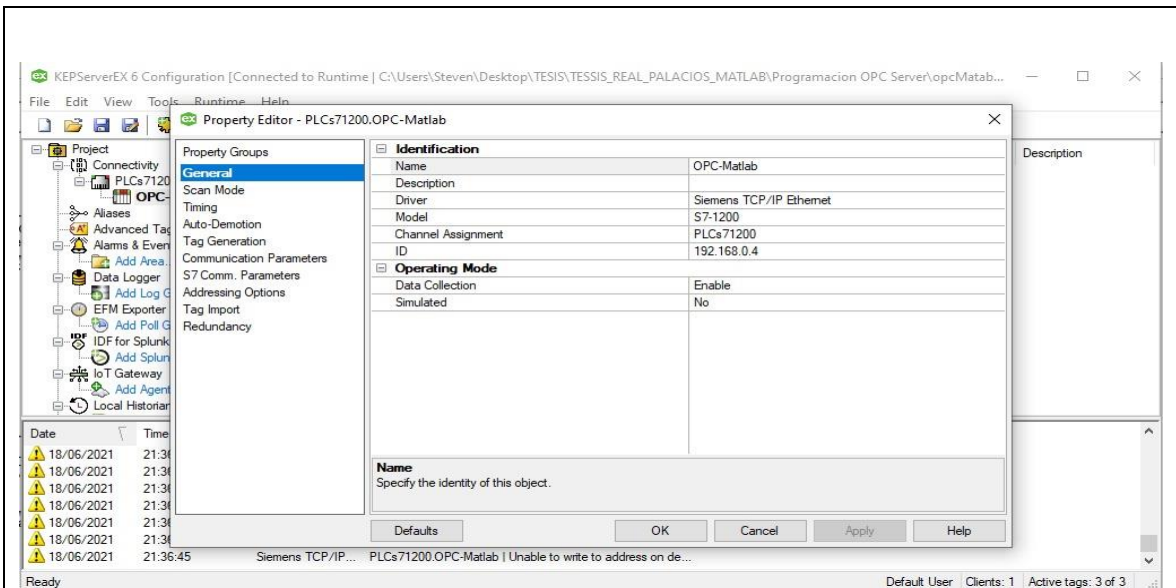


Figura H.4: Configuración del canal de comunicación

Una vez realiza la configuración se crea los tags dentro de la carpeta OPC-MATLAB, escoger el nombre de nuestra preferencia y colocamos la marca o memoria que se programó previamente del PLC como por ejemplo en nuestro caso CV(Matlab), que se envía desde Simulink al PLC. Las marcas o memorias escogidas en el PLC pueden ser cualquiera menos las marcas del sistema como se observa en la siguiente figura.

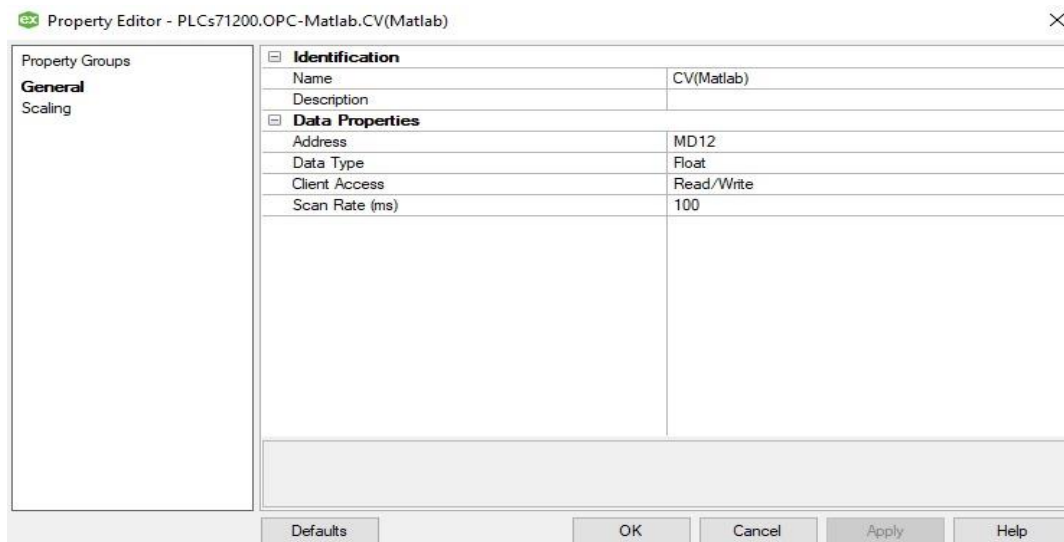


Figura H.5: Creación de variables



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



Una vez creadas las variables se procede a comprobar si están funcionando correctamente, que se reconozca las variables y no aparezcan como bloqueadas como se muestra en la siguiente figura.

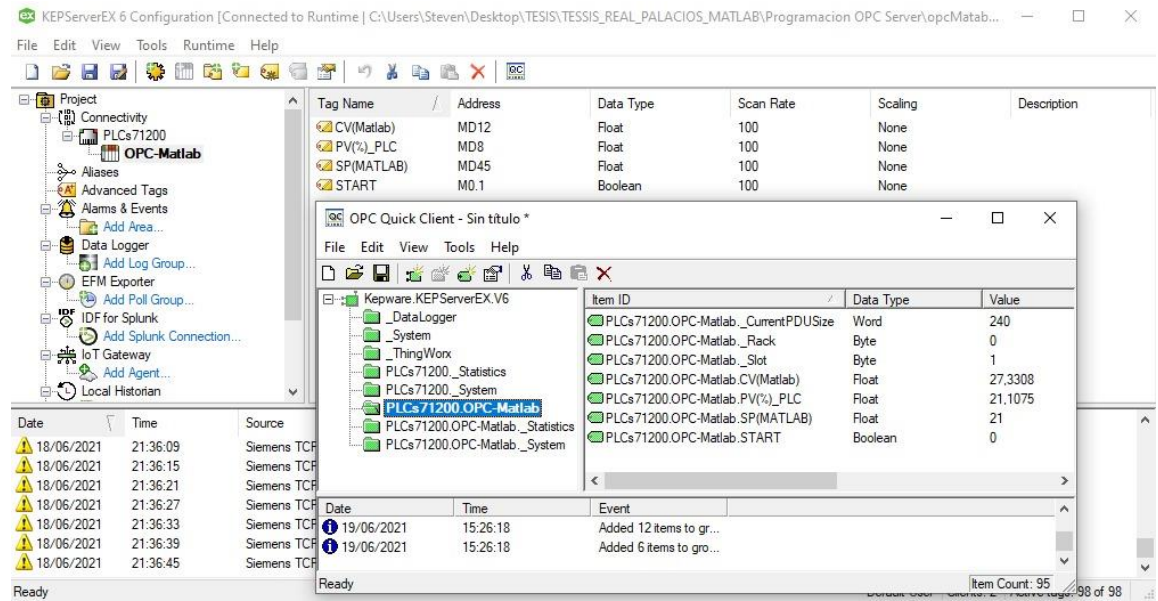


Figura H.6: Variables en correcto funcionamiento

Continuamos con la configuración OPC en MATLAB abriendo un programa en Simulink, Conjuntamente con su librería de componentes donde en el buscador escribimos la palabra OPC y escoger los bloques configuración, lectura y escritura como se muestra en la figura VIII.7.

Abrimos la configuración del OPC, luego configuración OPC clientes y añadimos el servidor KEPServer mostrado en la figura VIII.8.

Posteriormente abrir la configuración de lectura de la variable OPC en la cual añadimos lo ítems buscando la variable que necesitamos como se muestra en la figura VIII.9

Para la escritura se realiza la misma configuración, tomando en cuenta que para la lectura solo cambia la selección de las variables



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI**

Abril 2021 – Agosto 2021



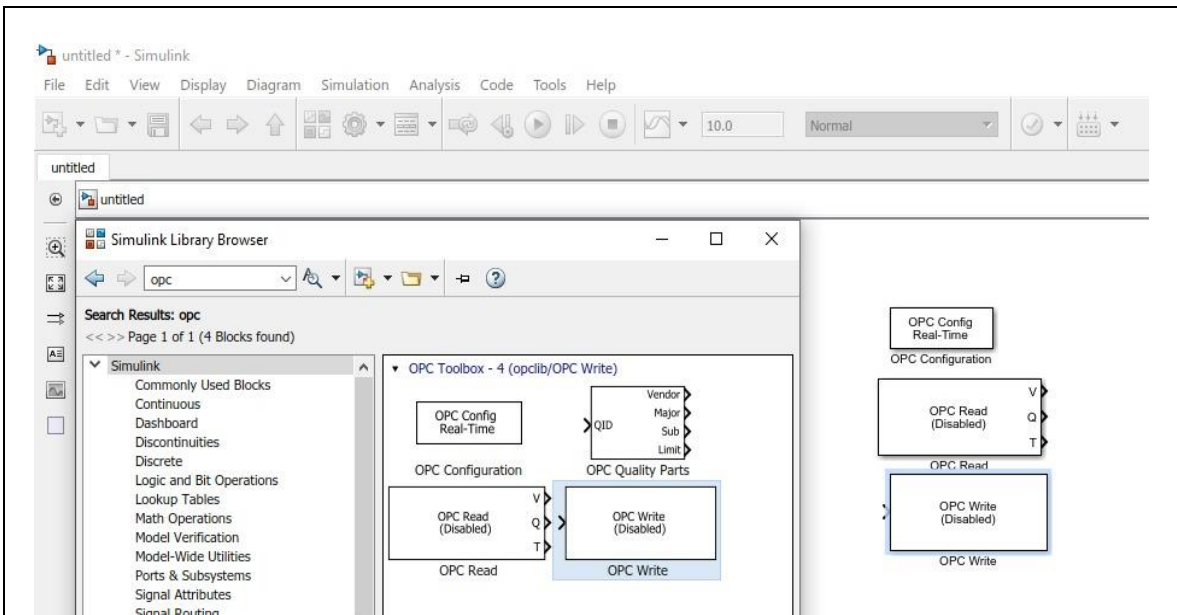


Figura H.7: Selección de los bloques OPC en Simulink

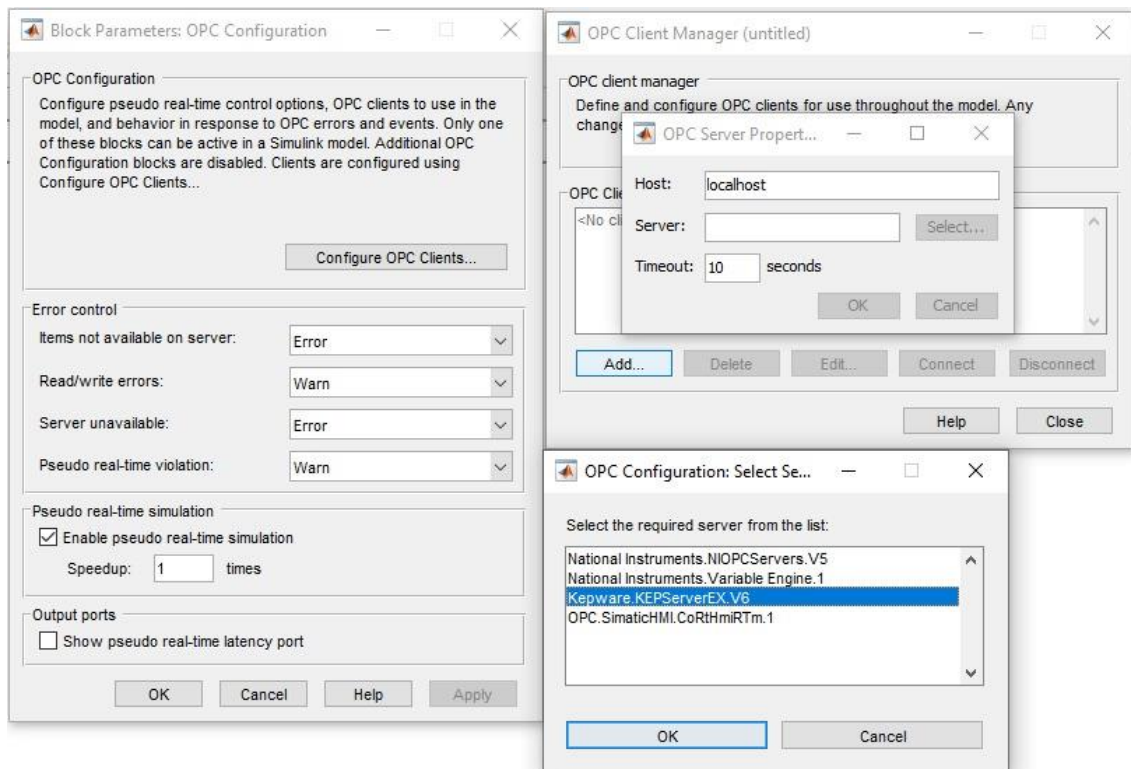


Figura H.8: Configuración de cliente OPC



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



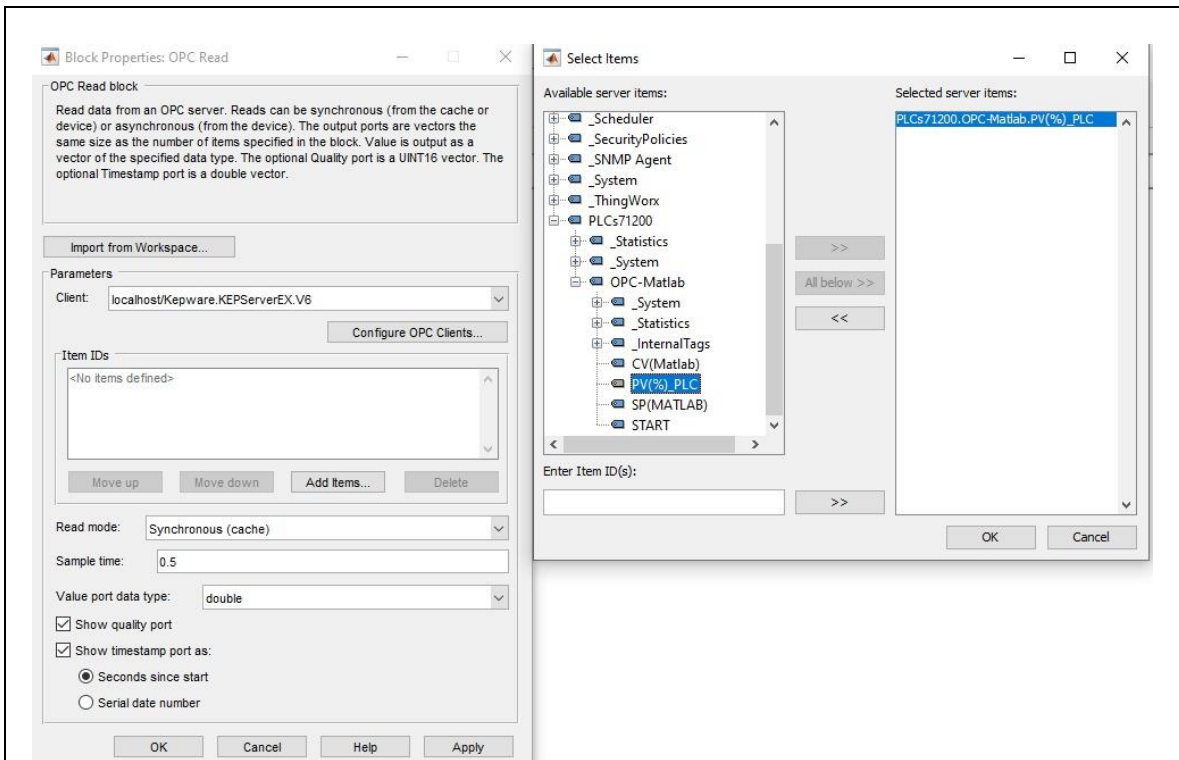


Figura H.9: Selección de ítems en cliente OPC



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

ANEXO I

Conexiones reales del módulo

En el siguiente anexo se puede observar las conexiones utilizadas en la conexión real hacia el módulo y diversos componentes utilizados en la propuesta tecnológica.

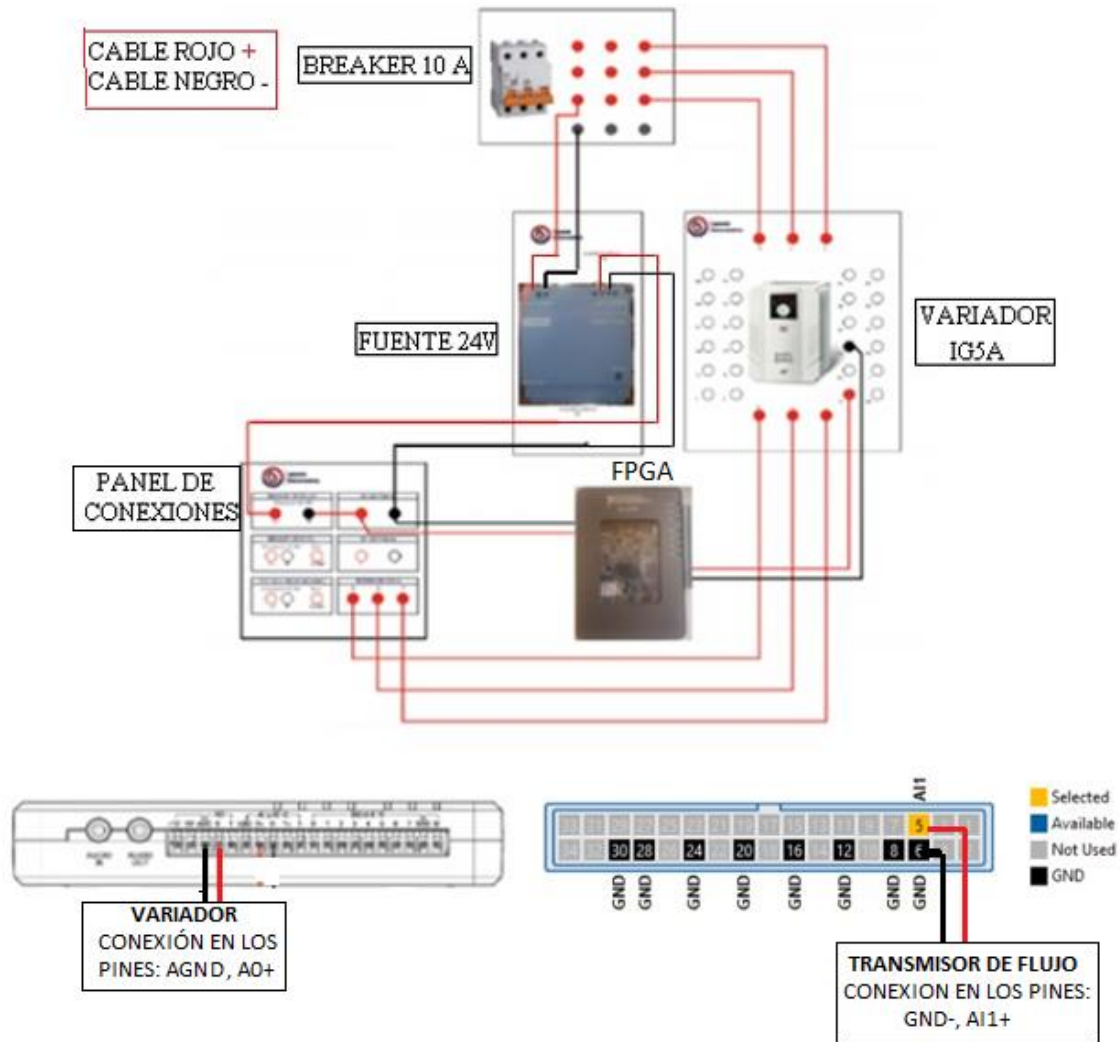


Figura I.1: Conexiones reales utilizando FPGA

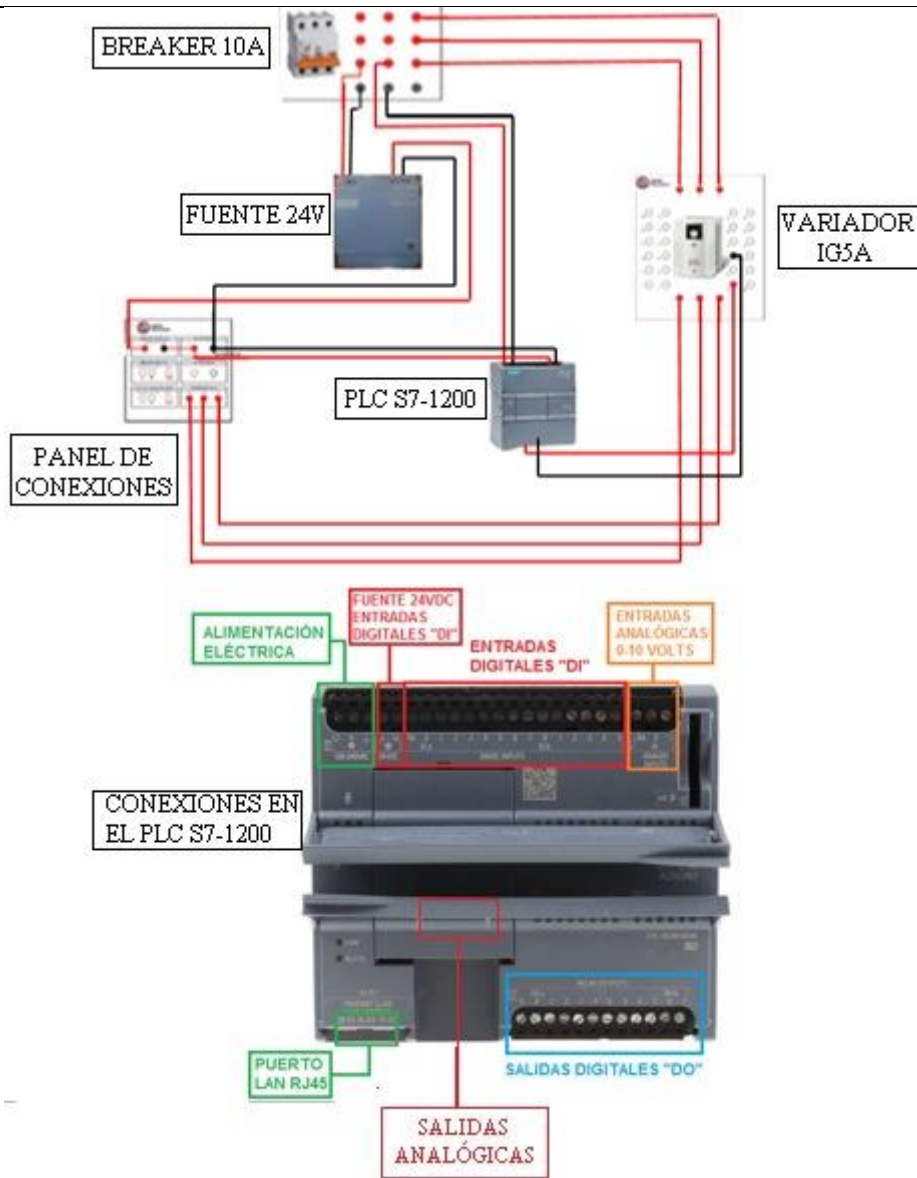


Figura I.2: Conexiones reales utilizando PLC



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
COTOPAXI

Abril 2021 – Agosto 2021





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

GUÍA DE INSTALACIÓN LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A. REAL, A. PALACIOS	P. CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

Software a instalar

TIA Portal 2016

1 OBJETIVO

Conocer la forma de instalación del TIA Portal para su utilización en prácticas de laboratorio.

2 Desarrollo

INTRODUCCIÓN

El Portal de automatización totalmente integrada (TIA Portal) te proporciona acceso sin restricciones a nuestra gama completa de servicios de automatización digitalizada, desde la planificación digital y la ingeniería integrada hasta la operación transparente. La nueva versión reduce el tiempo de comercialización, por ejemplo, por medio de herramientas de simulación, aumenta la productividad de tu planta a través de diagnósticos adicionales y funciones de administración de la energía y te ofrece una mayor flexibilidad conectándose con el nivel de administración. Las nuevas opciones benefician a los integradores de sistemas y fabricantes de equipos, así como a los operadores de planta. Por lo tanto, TIA Portal es la puerta de acceso perfecta a la automatización de la empresa digital. Como parte de la Digital Enterprise Suite, junto con PLM y MES, complementa la variedad integral de ofertas de Siemens para empresas que van en camino a Industrie 4.0.

Paso 1

Descomprimir archivos

Ubicar en la unidad de almacenamiento la carpeta TIA Portal, antes de realizar cualquier acción se debe desactivar el antivirus de la PC. Dentro de la carpeta se encontrarán seis archivos en .rar, se debe dar clic derecho extraer aquí y aparecerán los siguientes archivos.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
Energy_Suite_for_TIA_V16 8	8/05/2020 10:21	Carpeta de archivos	
Firmware S7-1200	8/05/2020 10:21	Carpeta de archivos	
Firmware S7-1500	8/05/2020 10:22	Carpeta de archivos	
PLCSIM Advanced V3.0 7	8/05/2020 10:22	Carpeta de archivos	
PLCSIM V16 6	8/05/2020 10:23	Carpeta de archivos	
Sim_EKB_Install_2019_12_13 9	8/05/2020 10:25	Carpeta de archivos	
SIMATIC_Automation_Tool_V3_1_SP4 5	8/05/2020 10:23	Carpeta de archivos	
SIMATIC_WinCC_Panel_Images_V16 4	8/05/2020 10:25	Carpeta de archivos	
SiVarc_V16 3	8/05/2020 10:25	Carpeta de archivos	
Startdrive_Advanced_V16 2	8/05/2020 10:27	Carpeta de archivos	
TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Adv_Unified_V16	8/05/2020 10:32	Carpeta de archivos	
TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16 1	8/05/2020 10:36	Carpeta de archivos	
Install_S7_PLCSIM_V16_enUS.pdf	4/05/2020 20:41	Adobe Acrobat D...	191 KB
Install_STEP7_WinCC_V16_enUS.pdf	4/05/2020 20:41	Adobe Acrobat D...	350 KB
TIA PORTAL V16.txt	4/05/2020 20:37	Documento de te...	1 KB
TIA_Portal_berblick_Produkte_e.png	4/05/2020 20:41	Archivo PNG	168 KB
TIA_Portal_V16_technical_slides_en.pdf	4/05/2020 20:41	Adobe Acrobat D...	5,991 KB
TIA16.jpg	4/05/2020 20:41	Archivo JPG	398 KB

FIGURA 1: Programas necesarios para la instalación.

Paso 2

Proceso de instalación

1. Abrir la carpeta >>TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16 >> ubicar .exe >> TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> ejecutar TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16.exe >> elegir idioma >> elegir la ruta de instalación >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR

Abrir la carpeta >>TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16 >> ubicar .exe >> TIA_Portal_STEP7_Prof_Safety_WINCC_Prof_V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >>Finalizar

2. Abrir la carpeta >>Startdrive_Advanced_V16 >> ubicar .exe >> Startdrive_Advanced_V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> ejecutar

Startdrive_Advanced_V16.exe >> elegir idioma >> elegir la ruta de instalación >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR

3. Abrir la carpeta >>SiVarc_V16 >> ubicar .exe >> SiVarc _V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> SiVarc.exe >> elegir idioma >> elegir la ruta de instalación >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR>> Repetir transferencia de licencias >> omitir >> des enmarcar la opción de búsqueda de actualizaciones >> Finalizar
4. Abrir la carpeta >>SIMATIC_WinCC_Panel_Images_V16 >> ubicar .exe >> SIMATIC_WinCC_Panel_Images V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> ejecutar SIMATIC_WinCC_Panel_Images.exe >> elegir idioma >> siguiente >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR >> des enmarcar la opción de búsqueda de actualizaciones >> Finalizar
5. Abrir la carpeta >> SIMATIC_Automation_Tool_V3_SP4 >> ubicar .exe >> SIMATIC_Automation_Tool_V3_SP4.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> elegir idioma >> siguiente >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR >> des enmarcar la opción de búsqueda de actualizaciones >> Finalizar
6. Abrir la carpeta >> PLCSIM_V16 >> ubicar .exe >> PLCSIM_V16.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> elegir idioma >> siguiente >> aceptar los permisos y confirmar >> Aceptar la configuración de seguridad >> INSTALAR >> reiniciar más tarde >> Finalizar
7. Abrir la carpeta >>SIMATIC Advancsd V3.0 >> ubicar .exe >> SIMATIC Advancsd V3.0.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> ejecutar SIMATIC Advancsd V3.0 exe >> elegir idioma >> siguiente >> siguiente >> siguiente >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR >> Repetir transferencia de licencias >> omitir >> reiniciar más tarde >> des enmarcar la opción de búsqueda de actualizaciones >> Finalizar

8. Abrir la carpeta >>Energy_Suite_for_TIA_V16 >> ubicar .exe >> Energy_Suite_for_TIA_V16 exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador, elegir el idioma >> siguiente >> descomprimir el paquete >> reiniciar la PC >> ejecutar SIMATIC Advancsd V3.0 exe >> elegir idioma >> siguiente >> aceptar los permisos y confirmar >> INSTALAR >> Repetir transferencia de licencias >> omitir >> des enmarcar la opción de búsqueda de actualizaciones >> Finalizar

9. Abrir la carpeta >> Sim_EKB_Install_2019_12_13 >> ubicar .exe >> Sim_EKB_Install_2019_12_13 exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador. >> Actualizar el Disco C

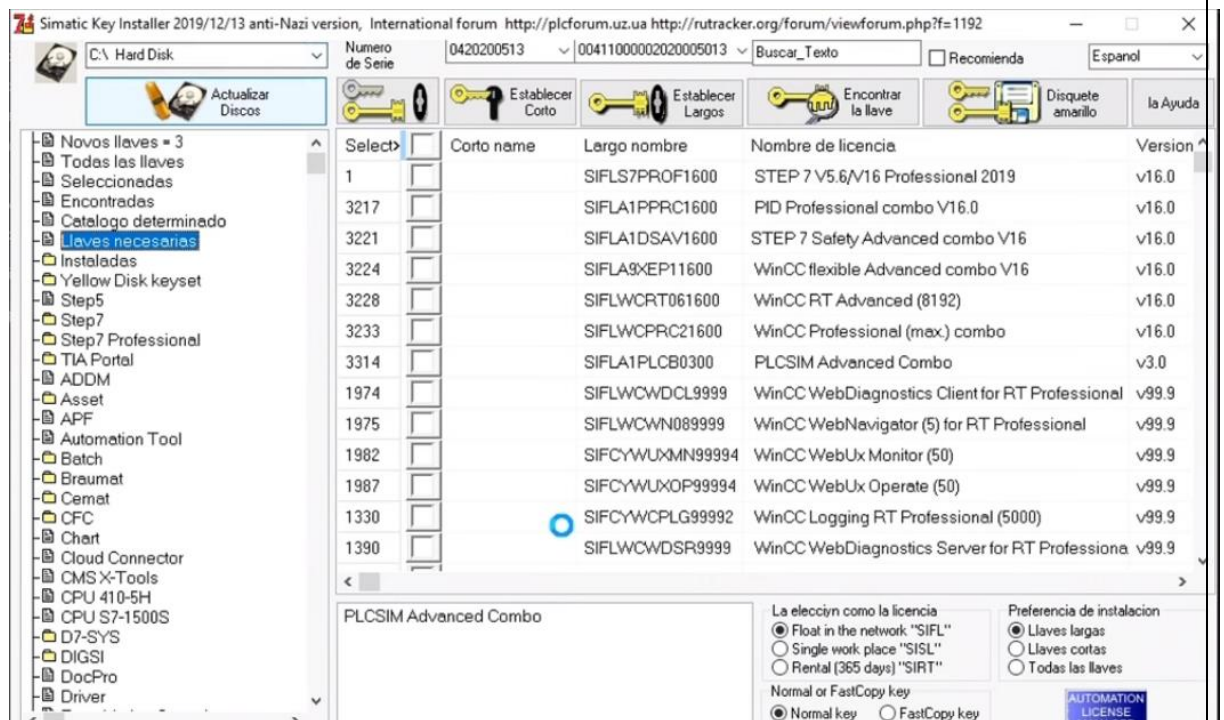


FIGURA 2: Programa de licencias.

>> Llaves necesarias >> Todas las llaves >> seleccionar todas las llaves >> aplicar todas las llaves.

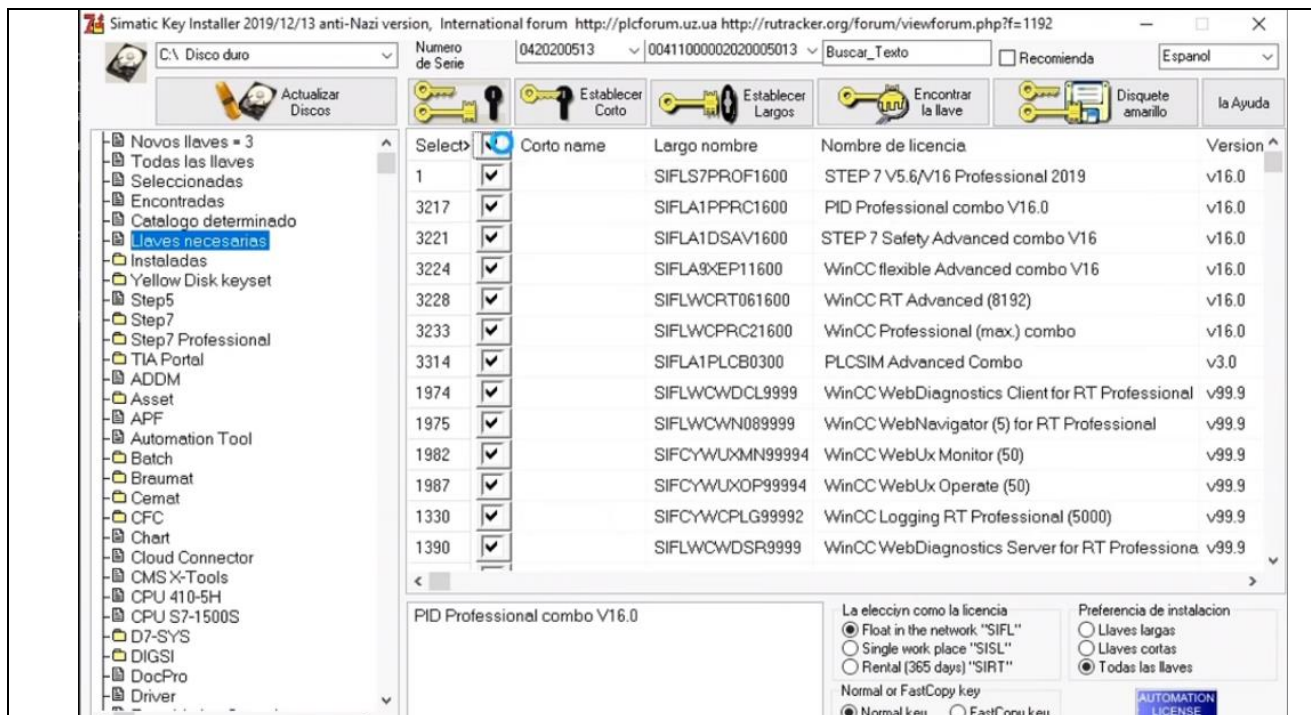


FIGURA 3: Selección de llaves necesarias.

>> OK en el error >> Seleccionar nuevamente todas las llaves >> aplicar las llaves

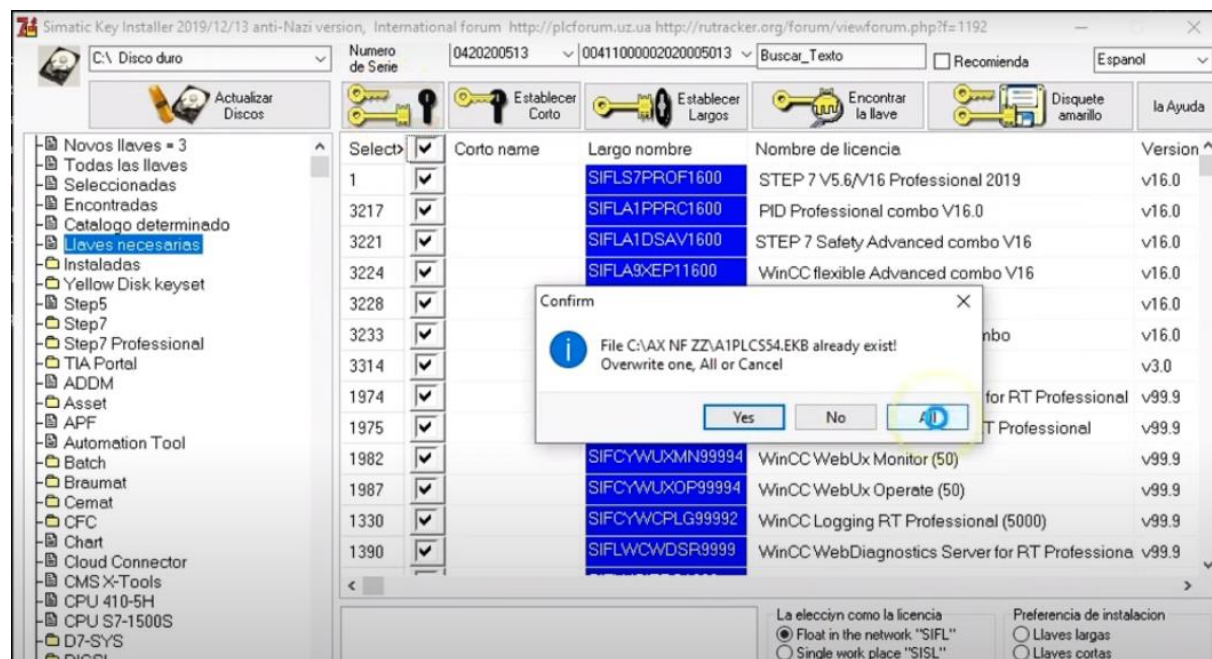


FIGURA 4: Aceptación de todas las llaves .

>> Seleccionar ALL >> cerrar todo.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

GUÍA DE INSTALACIÓN LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A. REAL, A. PALACIOS	P. CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

Software a instalar

LabView 2019 SP1

1 OBJETIVO

Conocer la forma de instalación de LabView para su utilización en prácticas de laboratorio.

2 Desarrollo

INTRODUCCIÓN

LabVIEW es un software que proporciona un potente entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de Ingeniería de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos gracias a un lenguaje de programación sin la complejidad de otras herramientas de desarrollo.

Paso 1

Descomprimir los archivos

Una vez se han descomprimido los archivos se obtiene los siguientes archivos necesarios para la instalación.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
SOLO ACTIVADOR	21/07/2021 6:42	Carpeta de archivos	
NI ACTIVADOR.rar	17/05/2020 13:06	Archivo WinRAR	1.068 KB
NI License Activator 1.2.exe	17/05/2017 9:16	Aplicación	1.494 KB
ni-labview-2019-myrio-toolkit-x86_7.0_online_repack3.exe	09/04/2021 11:02	Aplicación	6.031 KB
ni-labview-2019-myrio-toolkit-x86_7.0_online_repack3.rar	21/07/2021 8:43	Archivo WinRAR	5.108 KB
ni-labview-2019-x86_19.1_suite_online_repack.exe	10/04/2020 13:41	Aplicación	5.503 KB
ni-labview-2019-x86_19.1_suite_online_repack.rar	10/04/2020 13:41	Archivo WinRAR	4.441 KB
Readme.txt	28/04/2018 8:02	Documento de te...	1 KB

FIGURA 1: Archivos de instalación.

Paso 2

Instalación de Programas.

1. Localizar el archivo ni-labview-2019-x86-19.1_suite_online_repak.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> aceptar las licencias >> Siguiente >> Siguiente >> escoger todos los complementos necesarios Select All >> Siguiente >> Select All >> Siguiente >> aceptar acuerdos >> Siguiente >> Esperar hasta que se carguen las dos barras de color verde >> reiniciar PC.
2. Localizar el archivo ni-labview-2019-myrio-toolkit-x86_7.0_online_repac3.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >>>> aceptar las licencias >> Siguiente >> escoger todos los complementos necesarios Select All >> Siguiente >> Select All >> Siguiente >> aceptar acuerdos >> Siguiente >> Esperar hasta que se carguen las dos barras de color verde >> reiniciar PC.
3. Localizar el archivo NI License Activador 1.2.exe >> copiar el archivo >> ir a escritorio >> buscar el icono de LabView >> hacer clic derecho ubicación de archivo >> Pegar archivo >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> en todos los paquetes disponibles dar clic derecho y activar >> Opciones Activar >> cerrar ventana



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

GUÍA DE INSTALACIÓN LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A. REAL, A. PALACIOS	P. CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

Software a instalar

Matlab r2017a

1 OBJETIVO

Conocer la forma de instalación de Matlab para su utilización en prácticas de laboratorio.

2 Desarrollo

INTRODUCCIÓN

MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada por millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. combina un entorno de escritorio perfeccionado para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación que expresa las matemáticas de matrices y arrays directamente.

Paso 1

Descomprimir archivos

En la unidad de almacenamiento buscar la carpeta MATLAB y extraer los archivos y seleccionar la ruta de extracción, una vez realizada la extracción se obtendrán los siguientes archivos.

archives	26/10/2017 12:04 a...	Carpeta de archivos	
bin	26/10/2017 12:08 a...	Carpeta de archivos	
-crack-	25/10/2017 11:45 ...	Carpeta de archivos	2
etc	26/10/2017 12:08 a...	Carpeta de archivos	
help	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
java	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
resources	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
sys	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
ui	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
utils	26/10/2017 12:10 a...	Carpeta de archivos	
Readme	2/05/2017 4:03 p. m.	Documento de tex...	1 KB
setup	19/01/2017 2:17 p....	Aplicación	238 KB 1

FIGURA 1: Archivos de instalación.

Paso 2

Instalación

1. Ubicar el archivo setup.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> seleccionar >> use a file installation Key >> Siguiete >> Aceptar las licencias >> seleccionar que yo tengo una licencia y poner >> 09806-07443-53955-64350-21751-41297 >> Siguiete >> Siguiete >> Instalar >> esperar que instale >> Siguiete >> Finalizar
2. Localizar la carpera -crack- dentro de la carpera copiamos el archivo libmwlmgrimpl.dll>> abrir un explorador de archivos >> ingresar a la siguiente dirección >> \MATLAB\R2017a\bin\win64\matlab_startup_plugins\lmgrimpl\>> pegar el archivo.
3. Localizar la carpera -crack- dentro de la carpera copiamos el archivo license_R2017a.lic >>>> abrir un explorador de archivos >> ingresar a la siguiente dirección >> \MATLAB\R2017a\licenses\ >> pegar el archivo.
4. Abrir un explorador de archivos >> ingresar a la siguiente dirección >> C:\Program Files\MATLAB\R2017a\bin >> ubicar el archivo Matlab.exe >> hacer clic derecho y crear un acceso directo >> copiar el acceso directo en el escritorio.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

GUÍA DE INSTALACIÓN LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A. REAL, A. PALACIOS	P. CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

Software a instalar
KepServer

1	OBJETIVO
	Conocer la forma de instalación de KepServer para su utilización en prácticas de laboratorio.

2	Desarrollo
	<p>INTRODUCCIÓN</p> <p>Conecta diferentes dispositivos y aplicaciones, desde sistemas de control de planta hasta sistemas de gestión de negocio. Su plataforma servidora de eficacia probada en el sector, gestiona datos críticos de automatización, instalaciones e infraestructuras. permite recopilar los datos y la información procedentes de varias fuentes. Esto no solo garantiza la coherencia y la fiabilidad, sino que también reduce el número de servidores de comunicación de terceros a través de los cuales debe recoger los datos la aplicación final. Además, una sola fuente para recoger los datos en las aplicaciones del cliente reduce el tráfico en la red, la utilización de recursos en el dispositivo y el sistema y las incoherencias de los datos. En lugar de ello proporciona una plataforma gestionable y escalable para las comunicaciones en automatización.</p> <p>Paso 1</p> <p>Descomprimir archivos</p>

Dentro de la unidad de almacenamiento ubicar la carpeta OPC Server, Descomprimir el archivo .rar y dentro de la carpeta aparecerá los siguientes archivos






Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 KEPServerEX-6.4.321.0.exe	13/12/2017 19:57	Aplicación	441.627 KB
 LEEME.txt	14/04/2020 22:02	Documento de te...	1 KB
 libserver.dll	19/12/2017 22:35	Extensión de la ap...	2.306 KB
 libutil.dll	19/12/2017 22:35	Extensión de la ap...	574 KB
 OPC NET.pdf	19/12/2017 23:44	Adobe Acrobat D...	223 KB

FIGURA 1: Archivos de instalación.

Paso 2

Instalación del programa

1. Ubicar el archivo KEPServerEX-6.4.321.0.exe >> dar clic derecho y ejecutar como administrador >> elegir el idioma >> Siguiente >> aceptar las licencias >> Escoger la ubicación de instalación >>Siguiente >> Siguiente >> Siguiente >> Instalar >> Finalizar.
2. Ubicar el archivo libserver.dll >> dar clic derecho propiedades >> Firmas digitales >> Seleccionar la primera opción de firma >> detalles >> ver certificado >> Instalar certificado >> Siguiente >> Seleccionar colocar los certificados en el siguiente almacén >> Examinar >> seleccionar la carpeta Entidades de certificados raíz de confianza >> Aceptar >> Siguiente >> Finalizar >> Aceptar >> Aceptar >> Aceptar >> Aceptar.
3. Ubicar los archivos libserver.dll y libutil.dll copiar >> abrir un explorador de archivos y ingresar la siguiente dirección >> C:\Program Files (x86) \Kepware\KEPServerEX 6 >> pegar los archivos >> aceptar.
4. En caso de no poder realizar el paso anterior, abrir el administrador de tareas y buscar el servicio The KEYSVC unity service >> Dar clic derecho y Abrir servicios >> buscar todos los servicios que empiecen por KEP y detenerlos los que estén en ejecución.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A.REAL,A.PALACIOS	P.CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA:26-07-2021	FECHA:26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 306	PLC

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Control y Automatización	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Ejercicios básicos con myRio	2

1	OBJETIVO
	Familiarizar la utilización de la programación en bloques para realizar programaciones posteriores
	2.2.INTRODUCCIÓN El lenguaje de programación LabVIEW es de un nivel muy alto, tipo gráfico, inicialmente enfocado a la realización de aplicaciones para el control de la instrumentación. Los programas creados en LabVIEW toman el nombre de Instrumentos Virtuales, lo que nos da

ideas de su uso en origen ya que nos da el poder de controlar los instrumentos a nuestro gusto y comodidad, podemos realizar la respectiva programación que necesitemos como una simulación para posteriormente aplicarla en el campo industrial. Lo más importante de LabVIEW es la reducción del tiempo de desarrollo de aplicaciones y ayuda al desarrollo de una variedad de aplicaciones a programadores no expertos debido a que es una aplicación muy fácil de usar. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) fue creado por la empresa National Instruments para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986.

Investigar:

- Entradas y salidas analógicas.
- Entradas y salidas digitales
- Bloques de comunicación de myRio

2.3.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Antes de empezar es necesario tener algunos materiales y programas en el ordenador que nos facilitaran el aprendizaje de este manual, a continuación, se enlistaran todos los materiales necesarios.

Programas necesarios:

- LabVIEW 2019 SP1
- Módulo LabVIEW Real-Time
- LabVIEW myRIO Toolkit.
- Módulo LabVIEW FPGA
- Herramientas de Compilación para Vivado
- Módulo Vision Development
- Software Vision Acquisition
- Módulo LabVIEW Control Design and Simulation
- Módulo LabVIEW MathScript RT
- Módulo de Robótica para LabRIO

Equipos: Tarjeta myRio

Materiales: cable de alimentación myRio, USB myRio

MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Antes de realizar la práctica de debe tener en claro cómo se debe realizar un proceso PID, y los pasos necesarios para realizar el mismo se debe indagar los siguientes conceptos.

- Modelo Matemático
- Función de transferencia
- Función systemIdentification de Matlab
- Programación de VI
- Programación en Simulink

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Conexión del equipo

Para la conexión del equipo siga los siguientes pasos puede guiarse del diagrama de conexión expuesto gráficamente en la siguiente figura.

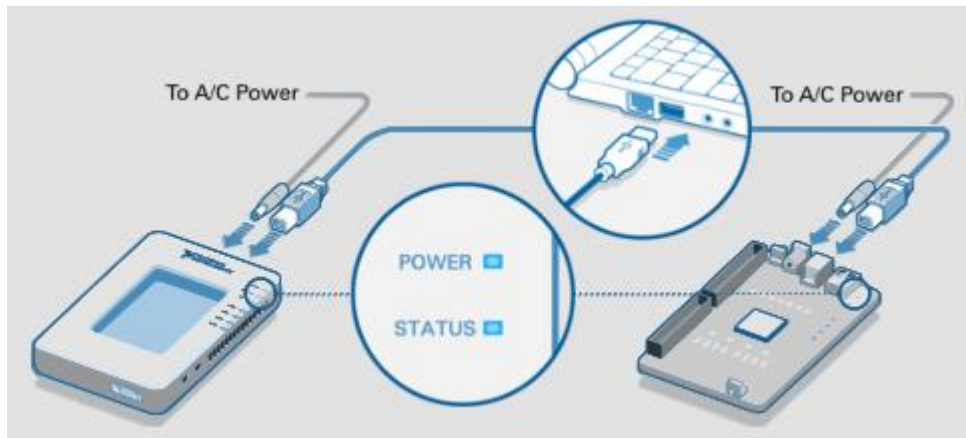


Figura 1: Conexión FPGA la PC.

LabVIEW

Según [1] LabVIEW es un lenguaje de programación que ha sido ampliamente adoptado en toda la industria, la academia y los laboratorios de investigación como el estándar para la adquisición de datos y el software de control de instrumentos.

¿Qué es?

LabVIEW es un lenguaje compilado para obtener un alto rendimiento. Cuando un programa ha sido modificado y se va a guardar o ejecutar, generalmente se recompila, al copilar el código de diagrama de bloques pasa a código máquina. El código compilado hará llamadas a otras funciones de librerías externas (LabVIEW Run-Time Engine) para tareas como dibujar gráficos o acceso a ficheros [2].

¿Para qué sirve?

Sirve para realzar sistemas de programación de acorde a nuestro gusto o al gusto que el cliente pida, la programación se la realiza en LabVIEW como una simulación de lo que aplicaremos en la vida real lo cual nos permitirá ver fallas que se pueden ir corrigiendo para el trabajo final.

A continuación, mostraremos paso a paso como crear un archivo en LabVIEW.

1.- Abrir LabVIEW y dar clic derecho en crear nuevo proyecto.

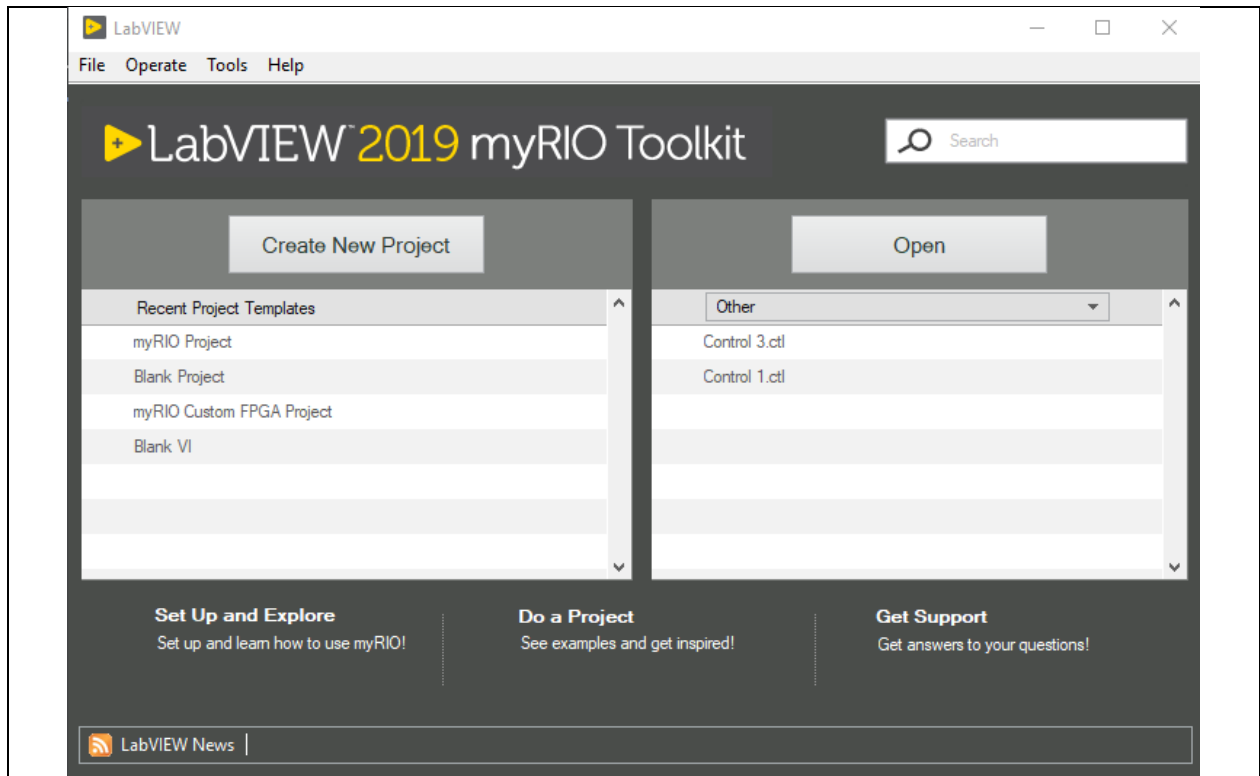


FIGURA 2: Presentación de LabVIEW 2019 SP1

2.- Posteriormente dar clic derecho en Blank VI que es en el formato en el cual trabajar.

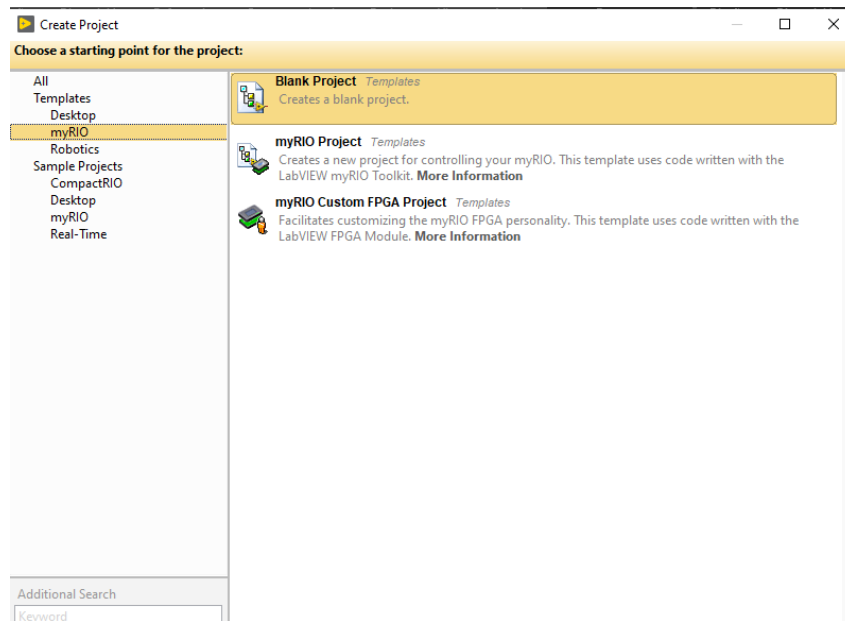


FIGURA 3: Diferentes formatos para trabajar en LabVIEW 2019 SP1

Primeros pasos en myRio-1900

Una vez adquirida la tarjeta se debe comprobar que se tengan todos los softwares necesarios para su utilización sin ningún problema a posterior, a continuación, se detallan los programas necesarios para ello.

Una vez realizado la instalación completa de todo lo necesario para poder programar en la tarjeta se procede a conectar la misma al PC.

1-Actualizaion de Software.

Se conecta la tarjeta FPGA al pc y automáticamente aparece una ventana donde puede visualizar las acciones principales que se realizan en la tarjeta.

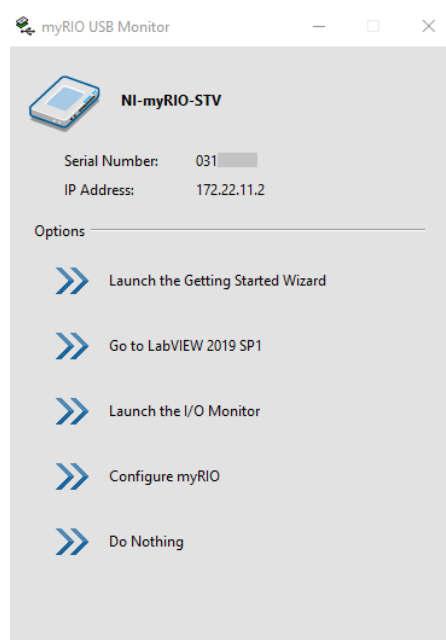


FIGURA 4: Monitor de reconocimiento USB

Para la actualización del software del chasis de la tarjeta escogemos la opción de “Launch the Getting Started Wizard” en donde presenta automáticamente la tarjeta y sus datos y acciones a tomar para la actualización solo se debe presionar “next”

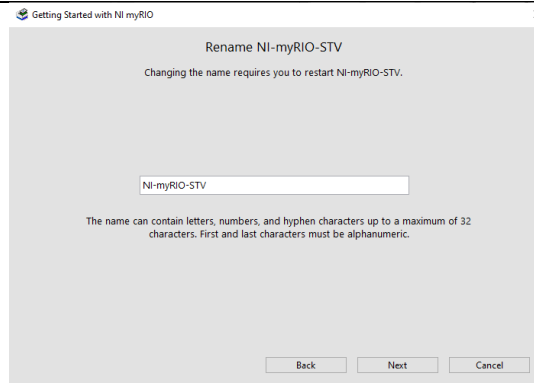


FIGURA 5: Monitor de reconocimiento de tarjeta

En la ventana se escoge el nombre de la tarjeta de preferencia, a continuación, se muestra la ventana de prueba del funcionamiento de los elementos que posee la tarjeta por defecto.

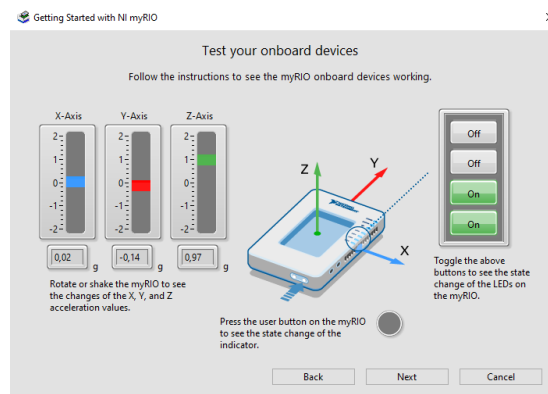


FIGURA 6: Ventana de prueba de carga correcta de software.

Una vez comprobado el funcionamiento de la tarjeta con los componentes puestos en la misma ya se puede terminar este punto de forma exitosa.

2- Nuevo proyecto:

Primero se debe abrir LabVIEW y seleccionar crear nuevo proyecto, Templates-myRIO-myRIO Project-Finalizar

A continuación, se introduce el nombre del proyecto y dónde se quiere guardar en Project Room. Se selecciona la tarjeta myRIO que tiene que estar conectada al PC, y finalizar

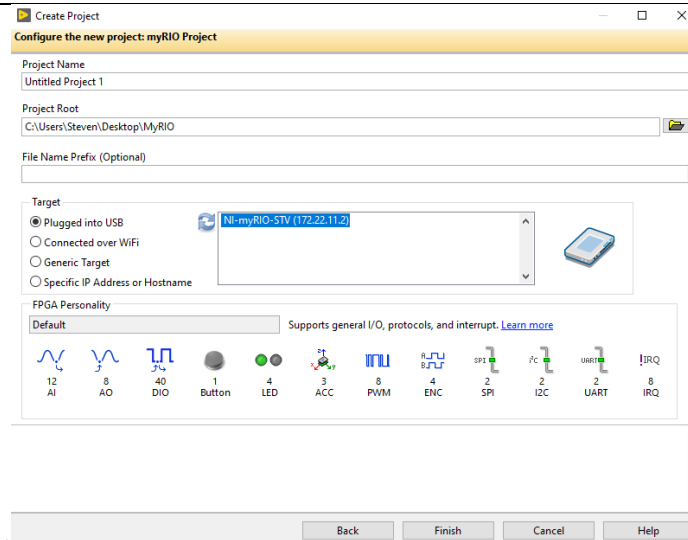


FIGURA 7: Ventana creación de nuevo proyecto.

Al crearse el proyecto, viene con un proyecto el cual podemos comprobar el funcionamiento y la conexión de la tarjeta como se muestra a continuación.

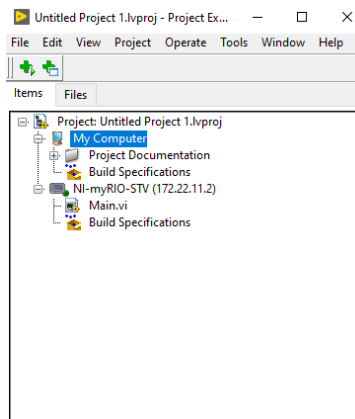


FIGURA 8: Ventana de proyecto.

Al abrir el “Main” tenemos que se puede modificar el mismo y tener una plantilla básica de su programación y puesta en marcha desde cero en caso de querer realizar otro proyecto en blanco.

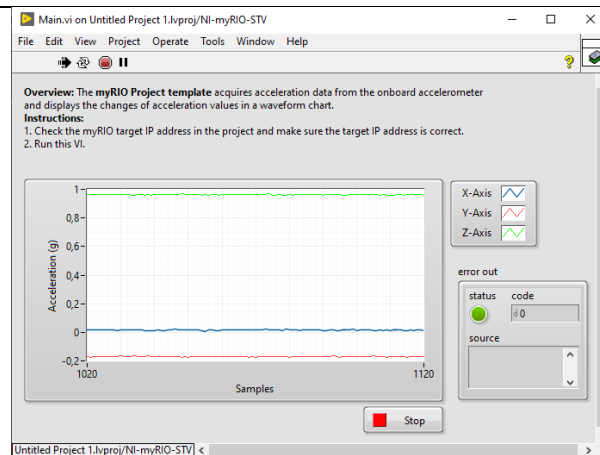


FIGURA 9: Panel frontal de programa de inicio.

Una vez comprobado el funcionamiento del programa cargado en la tarjeta se puede continuar con el siguiente paso.

3- LEDs internos

En el diagrama de bloque buscar la función de myRIO y sus elementos dando un click derecho y se busca “myRIO”, en donde se encuentran las funciones básicas de entradas y salidas de la tarjeta.

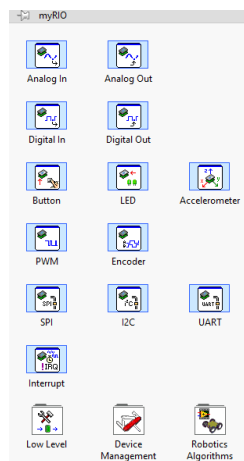


FIGURA 10: Bloques de funciones de myRIO.

Se escoge el bloque Led en el cual se configura cuantos leds a utilizar y el nombre que sea necesario para la identificación del bloque de ser necesario.

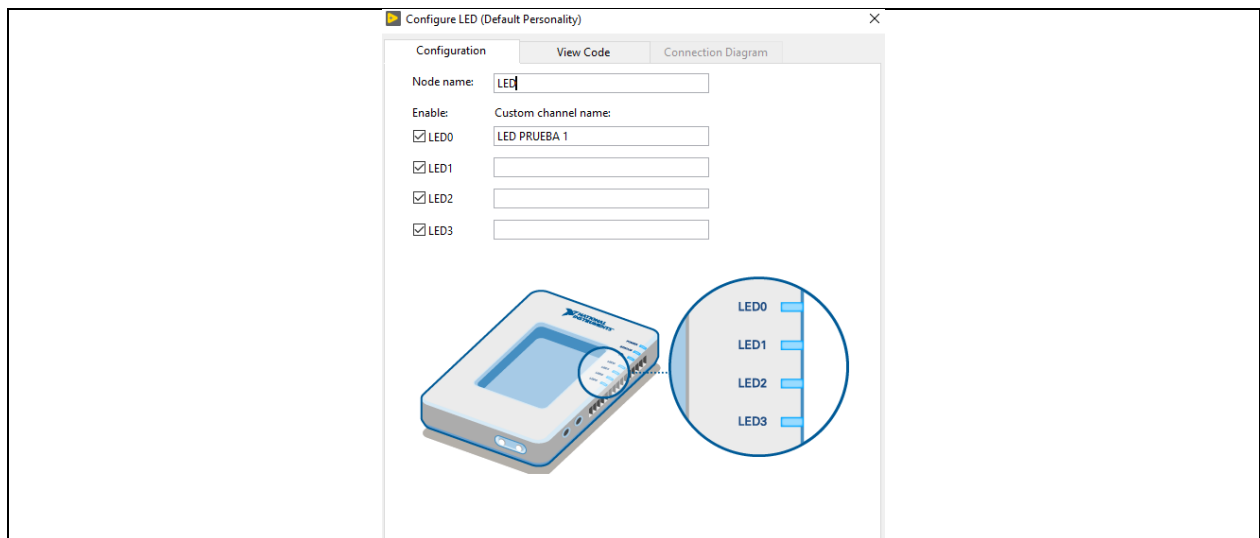


FIGURA 11: Ventana de configuración de LEDs integrados.

A continuación, se realiza la conexión de un botón digital que posee el software para dar el control al led programado que de esta manera funcionan las salidas digitales.

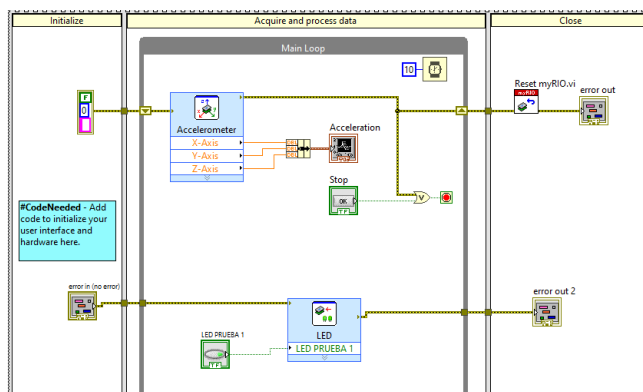


FIGURA 12: Panel de programación de LEDs.

4- Señales analógicas

Para la lectura y escritura de señales analógicas seguimos el mismo procedimiento, con la diferencia que se debe escoger el canal a utilizar como entrada o salida. Como se muestra en la siguiente imagen. La conexión dependerá del puerto que el usuario desee utilizar.

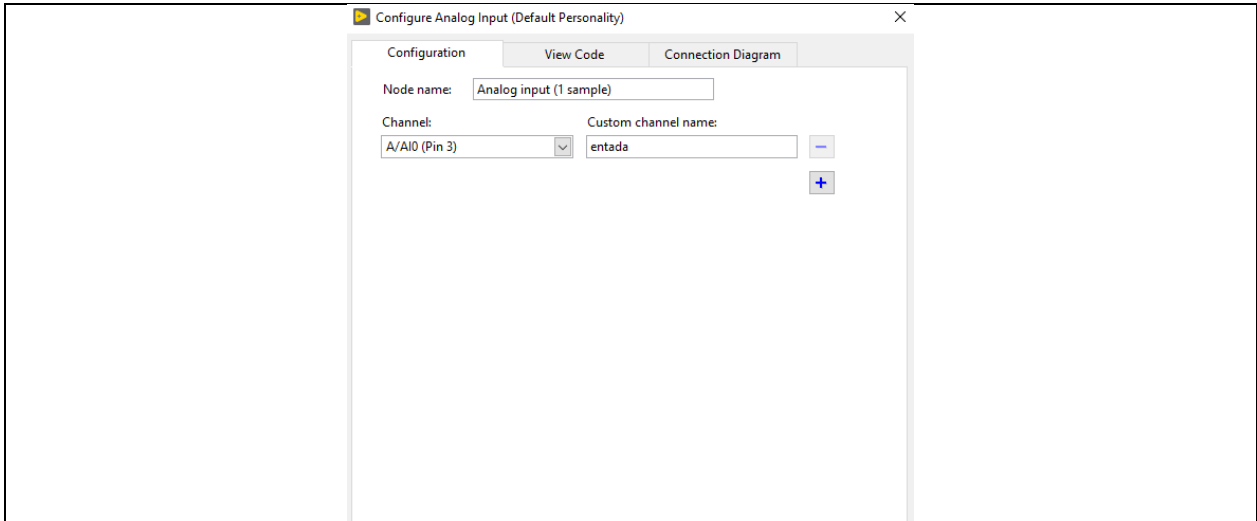


FIGURA 13: Ventana de configuración de entrada analógica.

De igual forma se realiza para la escritura desde VI utilizando un dial para la visualización en tiempo real de lo que se está enviando y recibiendo.

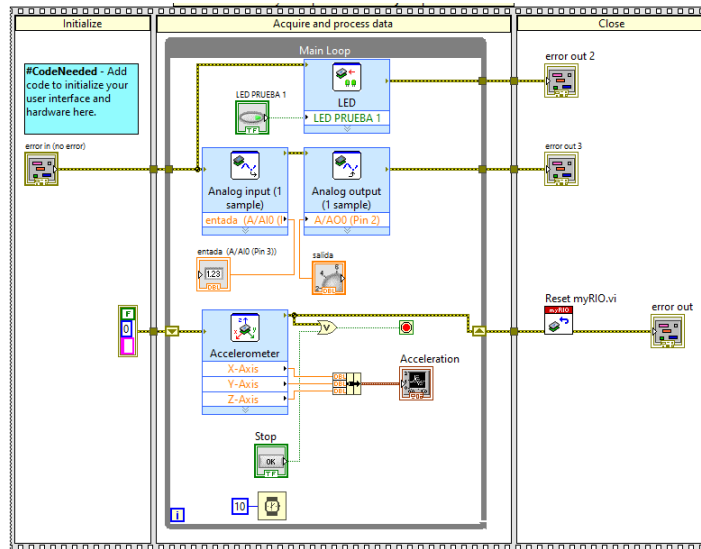


FIGURA 14: Programación en bloques de entrada y salida de señal analógica.

En la imagen anterior se observa la programación en bloques necesaria para la adquisición de datos y envío de los mismos para el control de los mismos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA:

NÚMERO DE PRÁCTICA:

NOMBRE(S):

FECHA:

PARTE NUMÉRICA

1	Datos de entradas y salidas analógicas
----------	--

2	A continuación, expresar con sus propias palabras y adjuntando imágenes de los distintos resultados obtenidos
----------	---

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las imágenes de los ejercicios resueltos y la programación
----------	--

PARTE ANÁLITICA

4	Analizar la programación y explicar que se debe hacer para que la myRio se quede operando de forma continua.
----------	--

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5	Describa con sus palabras las dificultades obtenidas, poner una tabla comparativa de voltaje ingresado y medido en VI.
----------	--

CONSULTAS

6	Desarrolle las consultas de las entadas analógicas y lugar donde se guardan los archivos de la myRio
----------	--

CONCLUSIONES

7	Escriba por lo menos 4 conclusiones
----------	-------------------------------------

ANEXOS

8	Especificaciones de los materiales utilizados (Pueden ser bajados de internet)
----------	---

BIBLIOGRAFÍA

9	Poner la bibliografía utilizada
----------	---------------------------------

(Ejemplo) ASKELAND, Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Iberoamérica,1987, Págs.: 97-103



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A.REAL,A.PALACIOS	P.CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA:26-07-2021	FECHA:26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 306	PLC

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Control y Automatización	DURACIÓ N (HORAS)
02	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	PID control de flujo con PLC y myRIO	3

1	OBJETIVO
	<p>Objetivo de la práctica:</p> <p>Estudiar el comportamiento y el uso de las variables SP (señal de consigna), PV (variable de proceso) y CV (variable de control) que son las que permiten la realización de cualquier control SISO como es el caso del control de flujo.</p>

2.1. INTRODUCCIÓN

Control de Flujo

Se basa principalmente en el control de un flujo de líquido o aire en un espacio determinado utilizando un transmisor que pueda censar la cantidad exacta que pasa por la tubería.

PID

Un controlador PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada

Sintonización PID

La sintonización del controlador consiste en darle valores a los sistemas de acción integral, derivativo y la ganancia (K_c , T_i y T_d) de forma que el lazo del controlador responda adecuadamente a las perturbaciones.

2.5. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos: Modulo de Flujo N°3, PLC S7-1200, Tarjeta myRio, Variador de frecuencia iG5A, Fuente 24v

Materiales: 20 Cables Badana, cable de alimentación myRio, cable USB myRio, cable de ethernet

MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de operación del módulo de flujo N°3
- No corra dentro del laboratorio

- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.6. TRABAJO PREPARATORIO

2.6.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Antes de realizar la práctica debe tener en claro cómo se debe realizar un proceso PID, y los pasos necesarios para realizar el mismo se debe indagar los siguientes conceptos.

- Modelo Matemático
- Función de transferencia
- Función systemIdentification de Matlab
- Programación de VI
- Programación en Simulink
- Ecuación de interpolación

2.6.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Conexión del equipo

Para la conexión del equipo siga los siguientes pasos puede guiarse del diagrama de conexión expuesto gráficamente en las siguientes figuras.

1) Utilizando myRIO.

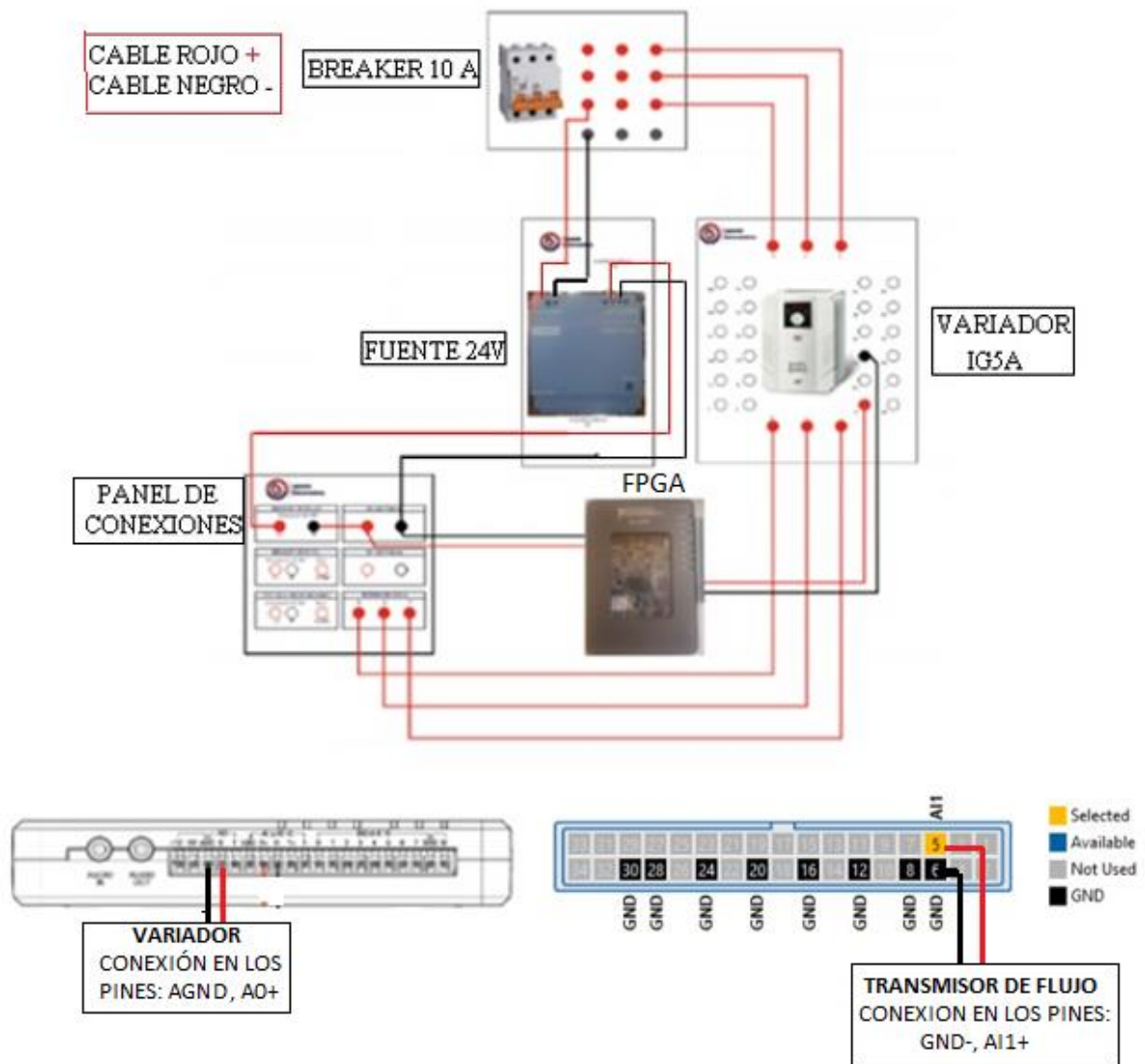


Figura 1: Conexiones reales utilizando FPGA

2) Utilizando PLC

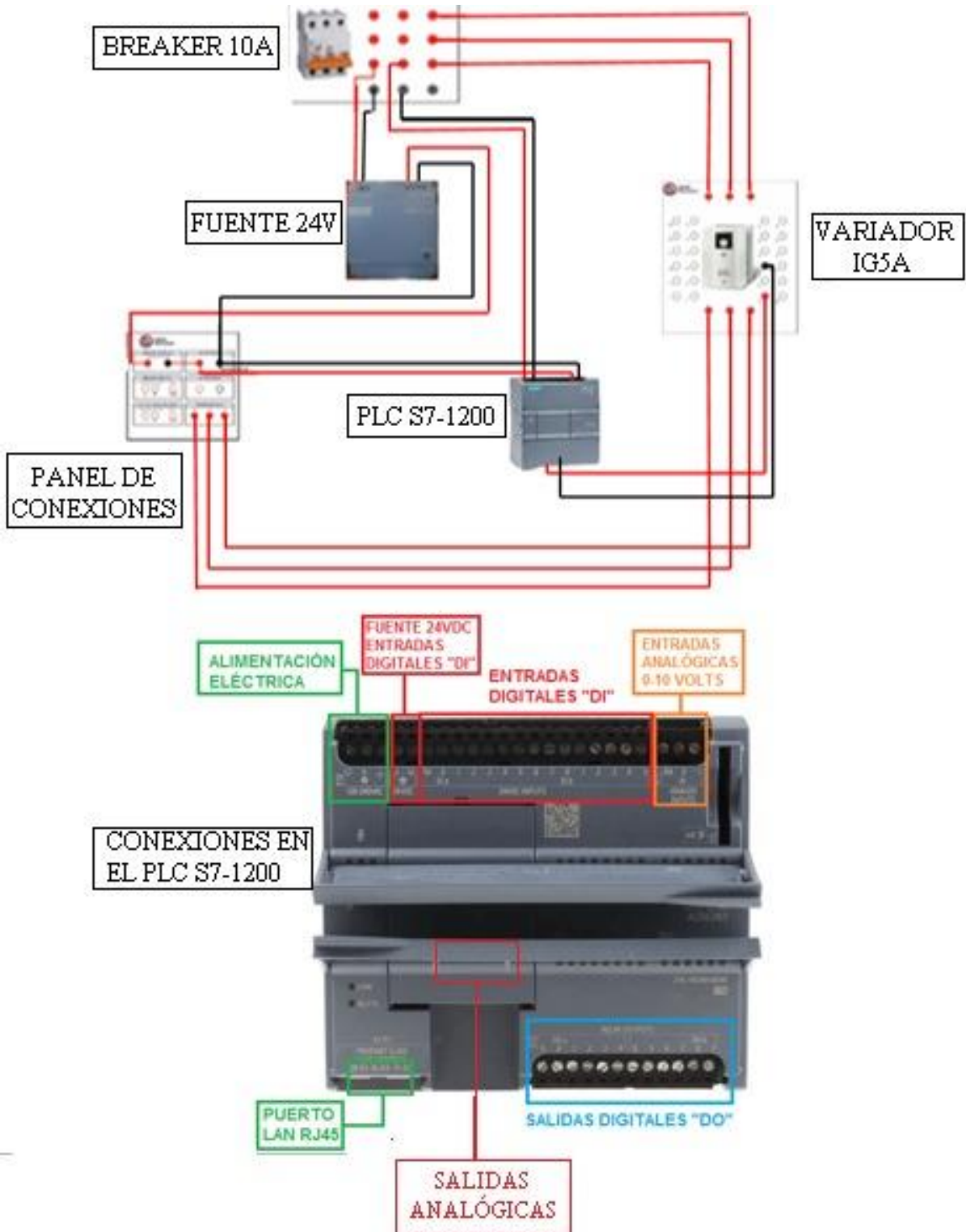


Figura 2: Conexiones reales utilizando PLC

Una vez realizada las conexiones necesarias se debe realizar las configuraciones que se estime pertinente en el transmisor de flujo y la configuración del variador para que funcione mediante una entrada analógica.

Configuración del Transmisor de Flujo

- PASO 1: Retirar tapa, girando antihorario y verificar que el Trasmisor de flujo esté conectado, en la pantalla principal indica la siguiente interfaz



Figura 3 Pantalla de trabajo

Primera fila: indica el caudal acumulado que mide cada vez que se enciende el sensor, es un número entero fijo de cinco bits.

Segunda fila: Indica el caudal acumulado es decir los L/m que han circulado desde que el sensor ha comenzado a censar (desde su compra e instalación).

Tercera fila: Indica el flujo instantáneo como un número entero más 2 decimales, las unidades se pueden configurar en el menú.

- PASO 2: Ingresar en el menú

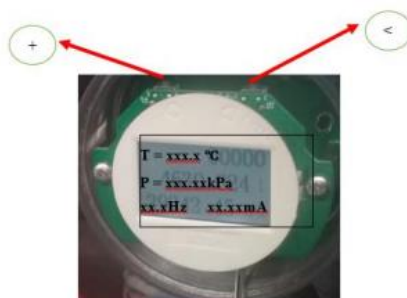


Figura 4 Variables a configurar en la pantalla

PASO 3: Introduzca el estado de configuración de la contraseña para eso siga los

- siguientes pasos
- Pulse la tecla "<" clave (pulsación larga "<" alrededor de 1 a 2 segundos para confirmar e introducir la contraseña estado inicial.
- Pulse la tecla "+" (pulsación larga "+" alrededor de 1 a 2 segundos para salir, para cancelar el estado de entrada, devolución a la pantalla
- Pulse la tecla "+" en el estado de entrada, el ciclo para cambiar el valor en la posición del cursor. Pulse la tecla "<" mueve el cursor de entrada de posición;

- Ponemos la contraseña pulsación larga la Tecla "<" clave o contraseña para transmisor de flujo del módulo N.03 es: 2010.
- Pulse la tecla "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar la contraseña para entrar a la configuración presionando 2 segundos.

Parámetros que el usuario puede modificar.

Instrucciones para moverse dentro del menú del transmisor:

- Pulse el botón "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar.
- Pulse la tecla "+" para cambiar el valor o símbolo ciclo en la posición del cursor.
- Pulse la tecla "<" para mover el cursor al inicio de la derecha.
- Introducir hasta ocho datos de entrada (incluyendo el signo, el punto decimal):
- En el menú de búsqueda, pulse "+" para disminuir; presione "<" para encender la unidad; presione "<" para entrar en el submenú. Pulse "+" para volver a la interfaz de pantalla de trabajo.
- En el submenú, pulse la tecla "+" para la salida; luego presione "<" para entrar en el modo de modificación. En estados tales como la mejora opción de modificar, pulse la tecla "+" para seleccionar; presione "<" para confirmar.

Nota: Cuando se establece el parámetro, pulse "<" para confirmar la configuración de lo contrario es válido conjunto

Tabla I.1 Menú de preferencias del usuario (La Contraseña es: 2010)

La configuración de seteo para esta práctica es la mostrada en color azul.

Sub menú	Pantalla de menú	Significado	Seleccionar un elemento o rango de valores
1	Selección de la unidad de flujo	Selección de la unidad de flujo (Defecto 0)	0: metro 3 / h 1: metro 3 / m 2: l / h 3: 1 / m 4: t / h 5: t / m 6: kg / h 7: kg / m
2	Selección de algoritmos	Selección de algoritmos (Defecto 0)	00: Flujo de volumen convencional. 01: Flujo de masa convencional. 02: Flujo de volumen de gas convencionales. 03: Flujo de masa de gas convencionales.
3	Fluir Coeficiente k	Coeficiente de caudal	Ajuste el factor de metro, unidad: 190000.0 P / m ³ (nota: se recomienda utilizar este valor para mejorar la fiabilidad de censo ya que si se

			utiliza otros valores puede variar el tiempo de muestreo del valor)
4	El flujo de salida de escala completa	Flujo de salida a escala completa (Defecto 1000)	Cuando la señal de la salida de 4 ~ 20 mA se requiere modificar su máximo de 100 l/m
5	Configuración de la densidad	Ajuste de densidad (Defecto 1.000000)	Cuando la selección del algoritmo se establezca para el flujo de masa (01, 03), debe establecer esta unidad es: kg / m ³
6	Configuraciones electrónicas de la te	Los ajustes de Temperatura (Defecto temperatura: 0.000000)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
7	Ajustes de presión absoluta	Una presión absoluta de gas (Defecto 101,325)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
8	El límite inferior cortar el tráfico	Ajuste de la entrada de impulsos Porcentaje de eliminación Defecto (1.000000%)	Prensa% de la escala completa supresión de caudales valor entre 0 y 100, (Cuando se utiliza este tipo de rango de corriente y el pulso se debe establecer correctamente)
9	Tiempo de retardo de envío de señal	Este valor varío de (2 a 32 s) (Defecto 6.000000)	Esta configuración varía dependiendo el tiempo que se desee trabajar, se establece el valor de 2.000000 s
10	La cantidad acumulada despejado	La cantidad acumulada despejado	Para borrar el tipo de medida, seleccione YES y presione el botón "E"

Nota: Las palabras marcadas con color azul son datos que se deben ingresar al transmisor para que trabaje de una manera óptima, para resetear el transmisor ingresar la contraseña 2011

Verificar el funcionamiento de la planta y sus rangos de operación para poder obtener ecuaciones de escalación de las variables PV y CV para realizar un control de lazo abierto, ingresando 0-10v al variador en la entrada analógica y comprobar en la salida, el sensor el flujo que circule por el mismo.

Tabla 1: Rango de funcionamiento y configuración de la planta

Voltios variador	Voltios sensor	LPM	Acción
1-2.3	0.99-1	0	No hay circulación de fluido
2.3-3	1.11-2.07	2.21-27.18	Circula un mínimo de fluido con errores
3-3.5	2.07-2.48	27.18-36.79	Circulación de fluido inestable
3.5-6.5	2.48-4.3	36.79-83.68	Circulación de fluido óptimo para trabajar
6.5-10	4.3-5	83.68-116.5	El circuito se colapsa en el tanque de nivel

Las siguientes ecuaciones responden a las variables PV y CV que son necesarias para adquirir los datos para realizar el modelo matemático, utilizando la ecuación de interpolación o punto pendiente dando como resultado las siguientes.

$$y = 0.1554x^2 + 24.453x - 24.597 \quad (\text{Entrada})(PV)$$

$$y = 0.0002x^2 + 0.0367x + 1.8984 \quad (\text{Salida})(CV)$$

Se puede

Para la obtención del modelo matemático de debe crear un programa en VI el que permita realizar un control de lazo abierto, además realice el guardado de los datos de forma automática en un archivo de texto de las variables.

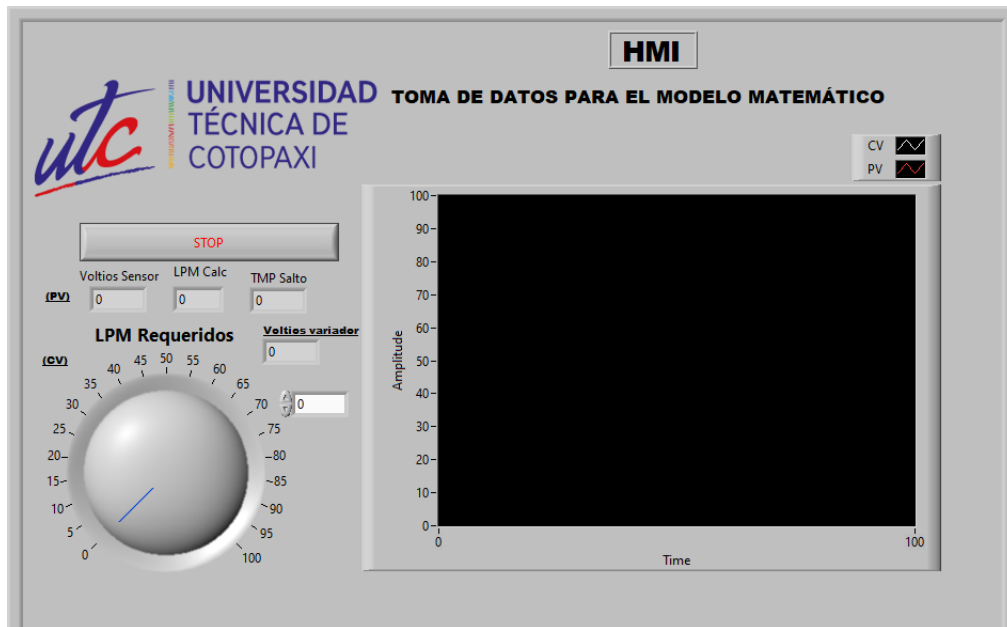


Figura 5: HMI para toma de datos del modelo matemático.

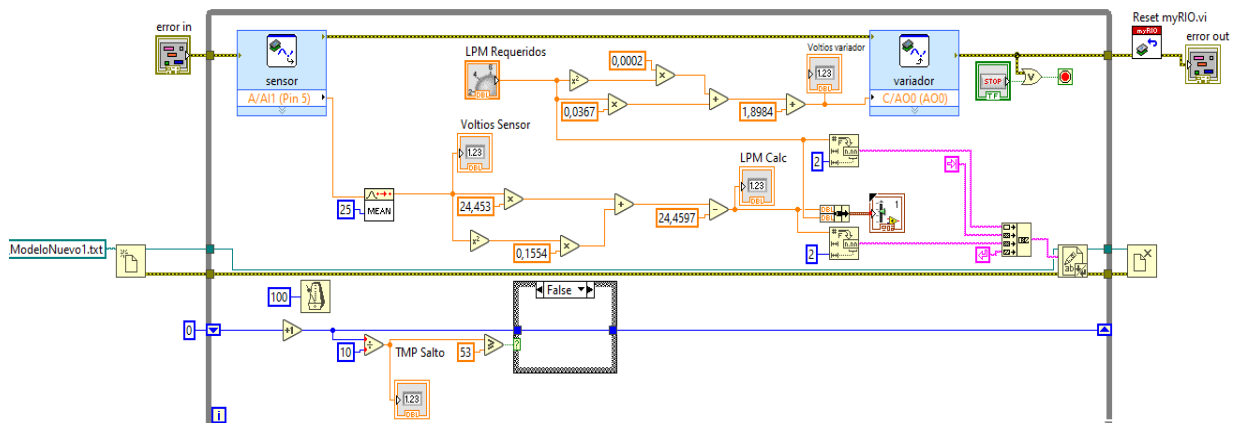


Figura 6: Programación en bloques para toma de datos del modelo matemático.

Una vez obtenidos los datos suficientes para la obtención del modelo matemático se abre el programa de Matlab y copiamos los datos de PV en la variable “input3” y los datos de CV en la variable “output3” como se muestra en la siguiente figura.

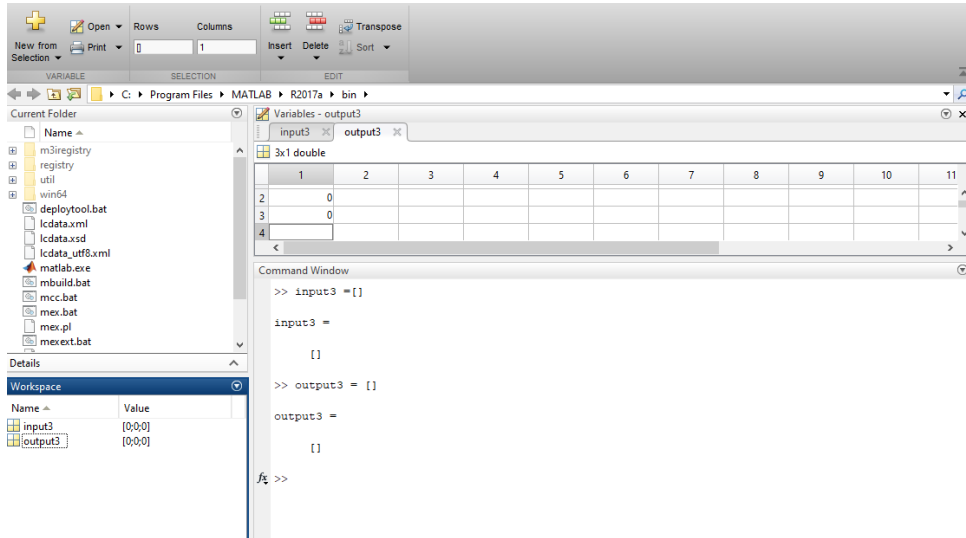


Figura 7: carga de valores para obtención de la función de transferencia

Se debe realizar el llamado de la función systemIdentification de Matlab en la que se deben cargar los datos para generar la función de transferencia en modelo de procesos como se observa en la siguiente figura.

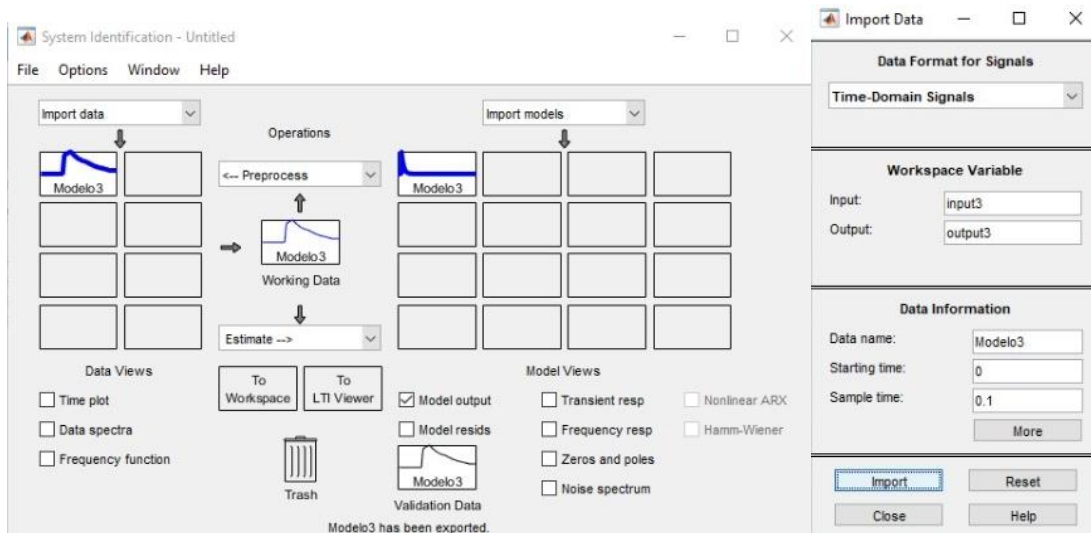


Figura 8: Estimación de función de transferencia

Una vez realizado la carga de los datos del modelo matemático se obtiene la función de transferencia necesaria para realizar las simulaciones necesarias para la sintonización del PID.

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$K_p = 0.98602$
 $T_{p1} = 1.7063$
 $T_d = 3$

Figura 9: Función de transferencia

Una vez obtenida la función de transferencia de debe realizar la estimación del modelo de control que debe ser aceptable para poder continuar con el paso de simulación del proceso.

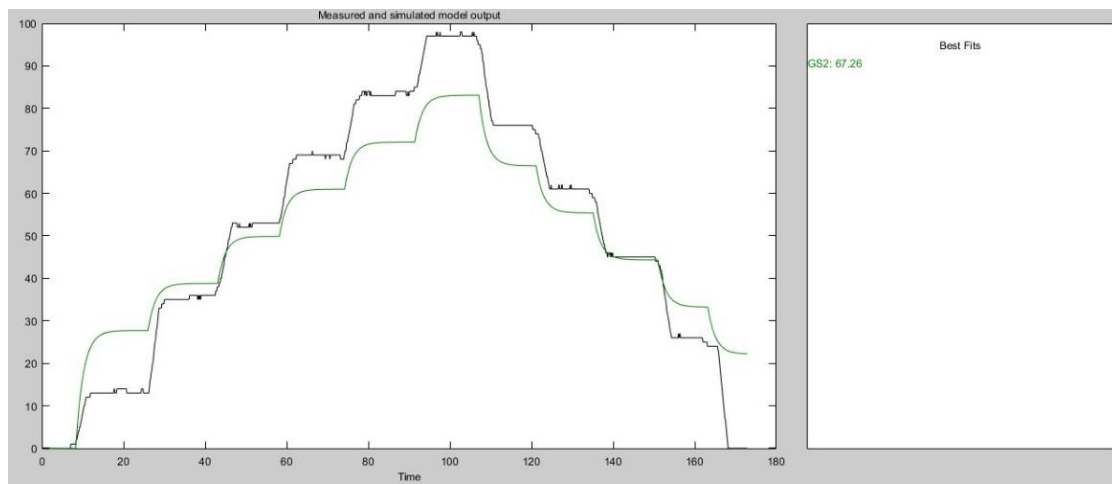


Figura 10: Estimación de modelo

- 1) Abrir la carpeta TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>>Control PID>>PIDsimulado.slx y abrir el archivo de simulación utilizando Simulink.
- 2) Dar a ejecutar programa.

Al tener la función de transferencia y la estimación del modelo de control se realiza un programa de simulación en Simulink que permita observar el comportamiento del módulo.

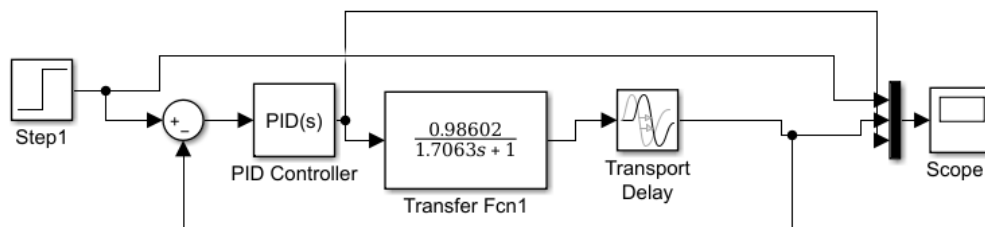


Figura 11: Simulación de proceso

Ya realizado la simulación abrir el bloque de PID controller y poner tune PID para realizar una estimación de respuesta de sistema y realizar la sintonización del control PID.

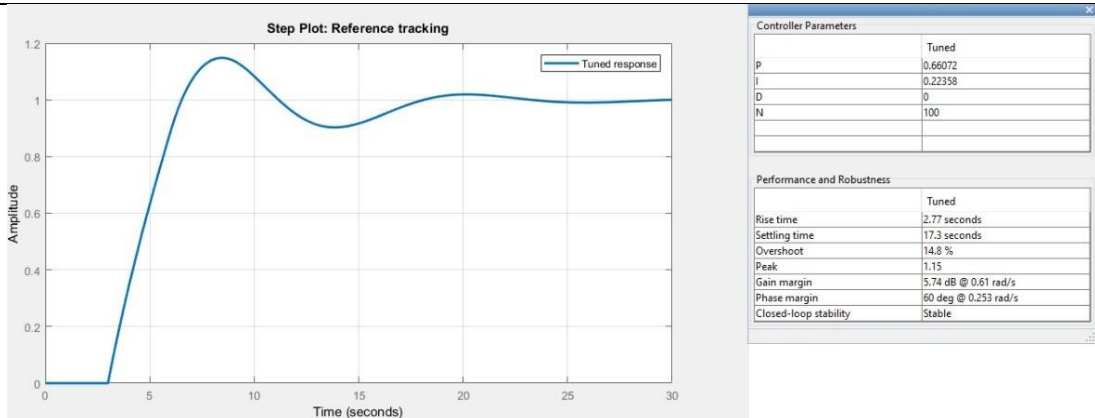


Figura 12: Sintonización de PID

- 1) Abrir la carpeta TESSIS_REAL_PALACIOS_LabView>> buscar el proyecto con el nombre "TESSIS_REAL_PALACIOS.lvproj">> abrir el VI con el nombre>>CONTROL PID.vi>> seleccionar la señal de consigna y dar en ejecutar.

Ya realizando la sintonización del PID se puede realizar un programa en bloque en VI en el cual se pueda conectar al módulo de forma real y así observar la correcta sintonización del controlador.

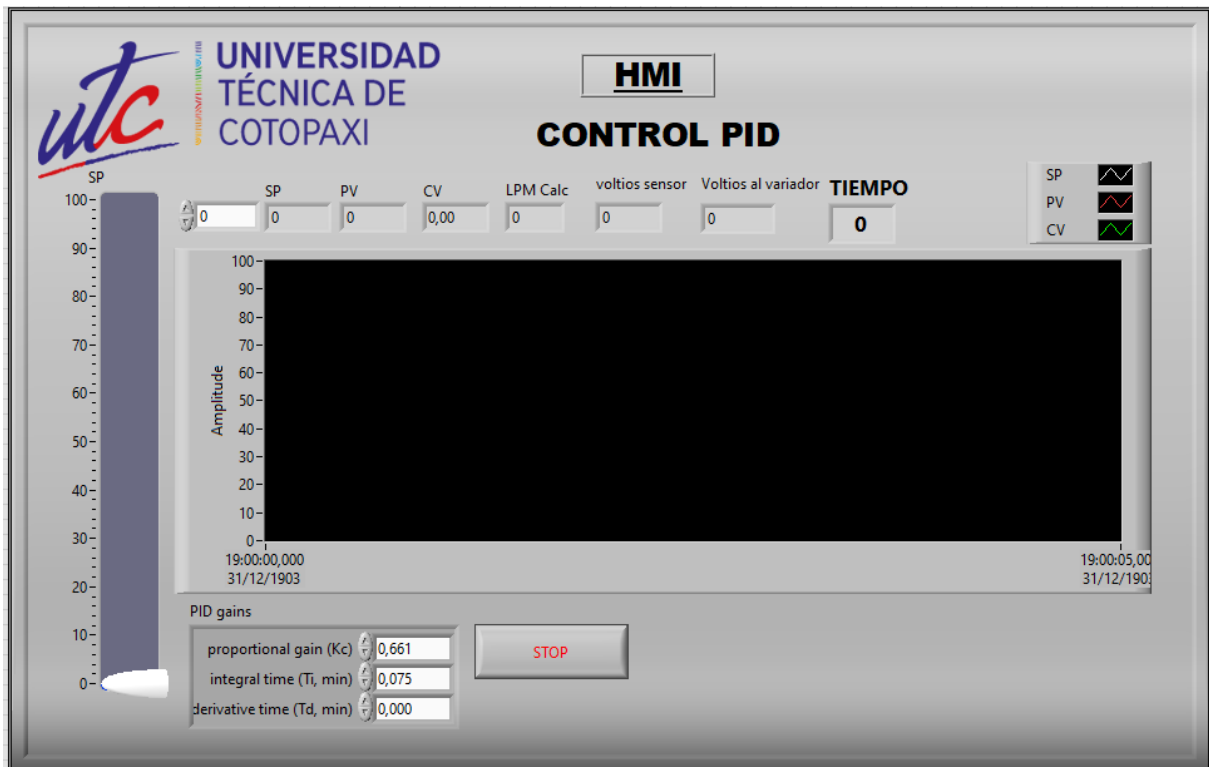


Figura 13: HMI del control PID

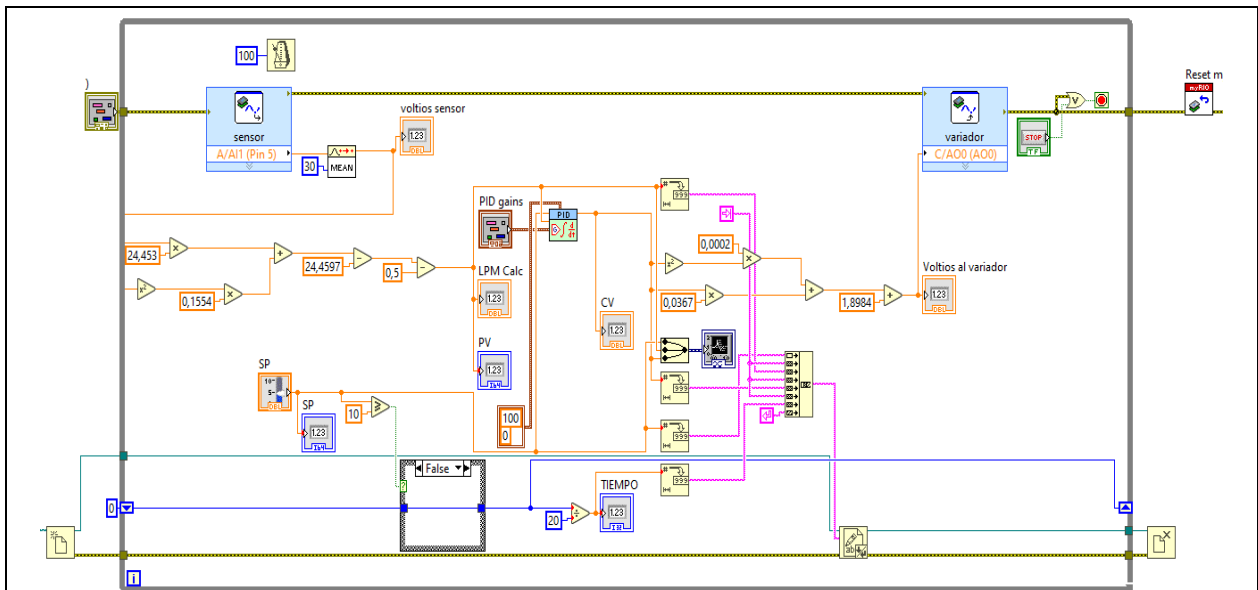


Figura 14: Programación en bloques del control PID

En el caso de la implementación del control en Simulink utilizando el PLC se debe realizar los siguientes pasos.

Abrir la carpeta >> TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB >> PLC1 >> ejecutar el archivo PLC.ap16

Primero se realiza la programación en el TIA PORTAL V16 en la cual se verifican las entradas y salidas analógicas que posee el PLC para así crear una marca digital dentro del mismo.

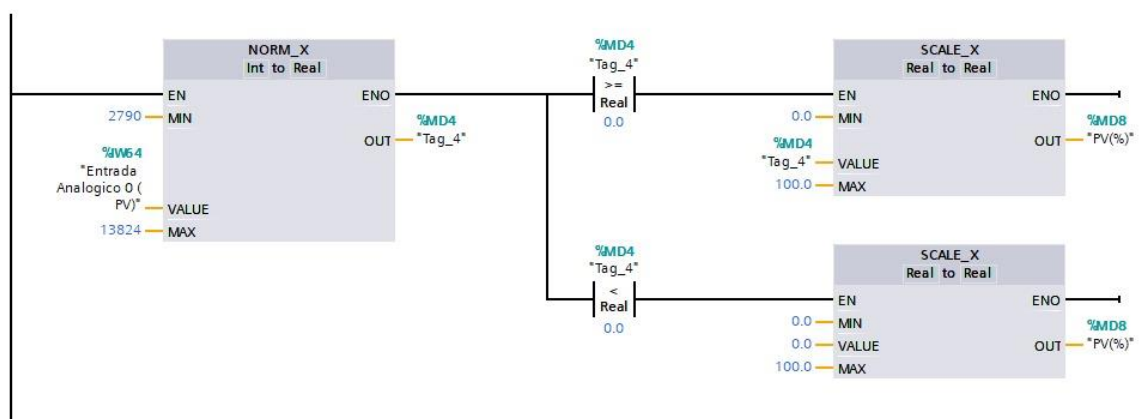


Figura 15: Entrada analógica en TIA PORTAL V16

En la siguiente figura se observa la salida analógica proveniente del servidor OPC que se expresa en una salida real del PLC que previamente se ha visualizado la cual corresponde a la QW 112.

En este punto la escalación de las variables PV que es de 1-5V y la variable CV que es de 0-10V se realiza la escalación en este punto para facilitar la comunicación entre los controladores establecidos.



Figura 16: Salidas analógicas en TIA PORTAL V16

Una vez configurado el TIA PORTAL V16 se procede a configurar en KEPServerEX OPC, donde primero se crea una carpeta en proyecto dentro de conectividad, como se expresa en la siguiente figura.

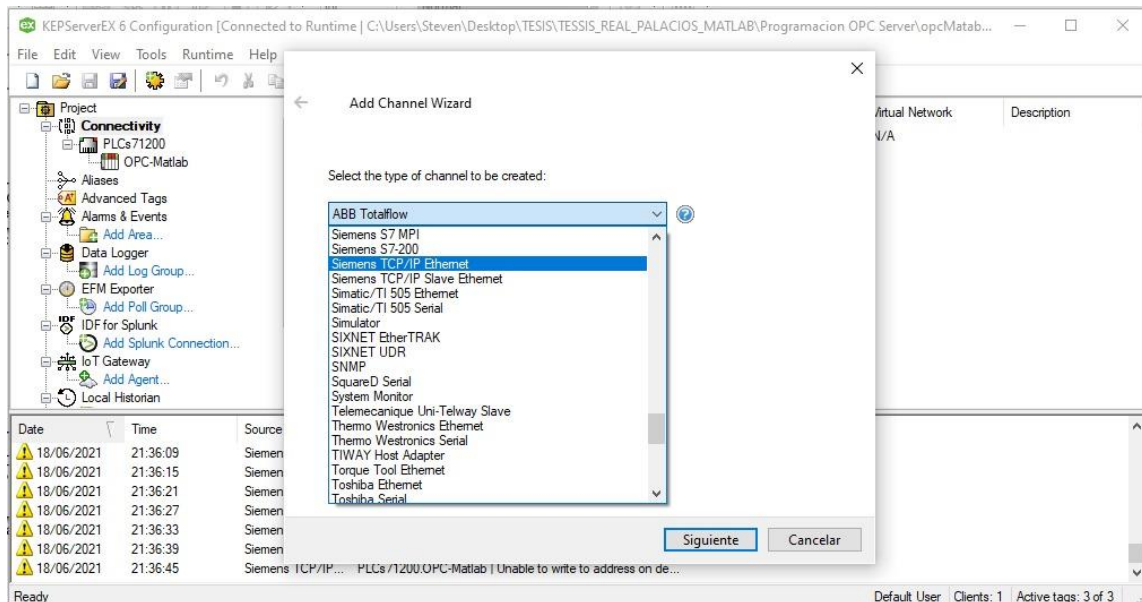


Figura 17: Selección de entrada RJ45 del PLC

Cabe recalcar que para crear la carpeta de conectividad hay que escoger la comunicación proveniente del PLC en nuestro caso es el PLS S7-1200 con versión de software 3.0 el cual no es necesario poner en el TIA PORTAL la opción de transmitir OPC, ya que al ser una versión antigua viene por defecto, dentro de la carpeta antes mencionada se realiza la creación de la carpeta OPC-MATLAB donde se escoge en primer lugar la dirección de comunicación, el modelo del PLC, el canal de asignación de datos y la dirección IP del mismo como se muestra en la siguiente figura.

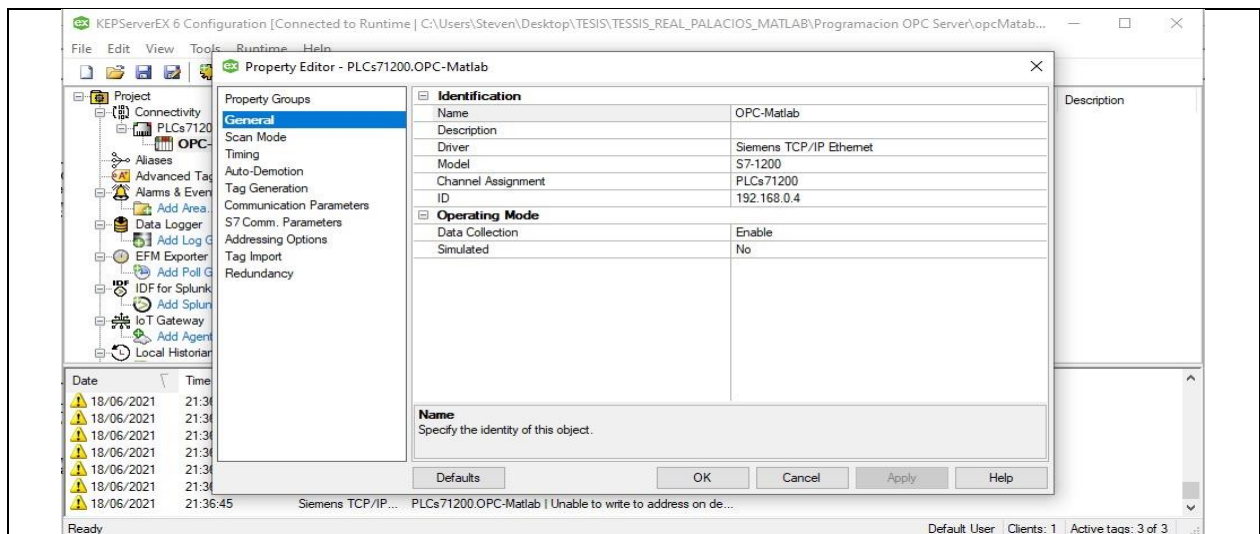


Figura 18: Configuración del canal de comunicación

Una vez realiza la configuración se crea los tags dentro de la carpeta OPC-MATLAB, escoger el nombre de nuestra preferencia y colocamos la marca o memoria que se programó previamente del PLC como por ejemplo en nuestro caso CV(Matlab), que se envía desde Simulink al PLC. Las marcas o memorias escogidas en el PLC pueden ser cualquiera menos las marcas del sistema como se observa en la siguiente figura.

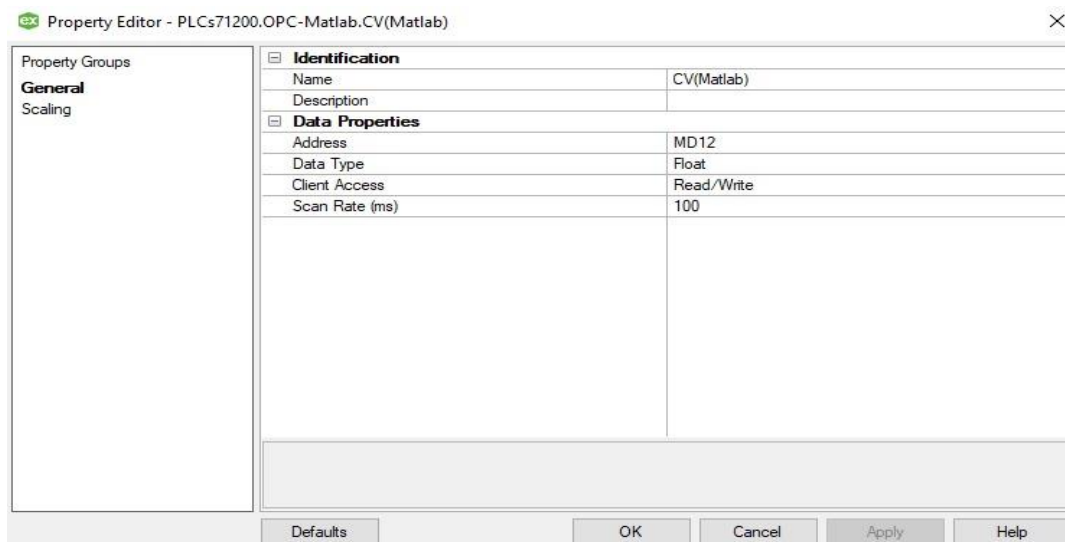


Figura 19: Creación de variables

Una vez creadas las variables se procede a comprobar si están funcionando correctamente, que se reconozca las variables y no aparezcan como bloqueadas como se muestra en la siguiente figura.

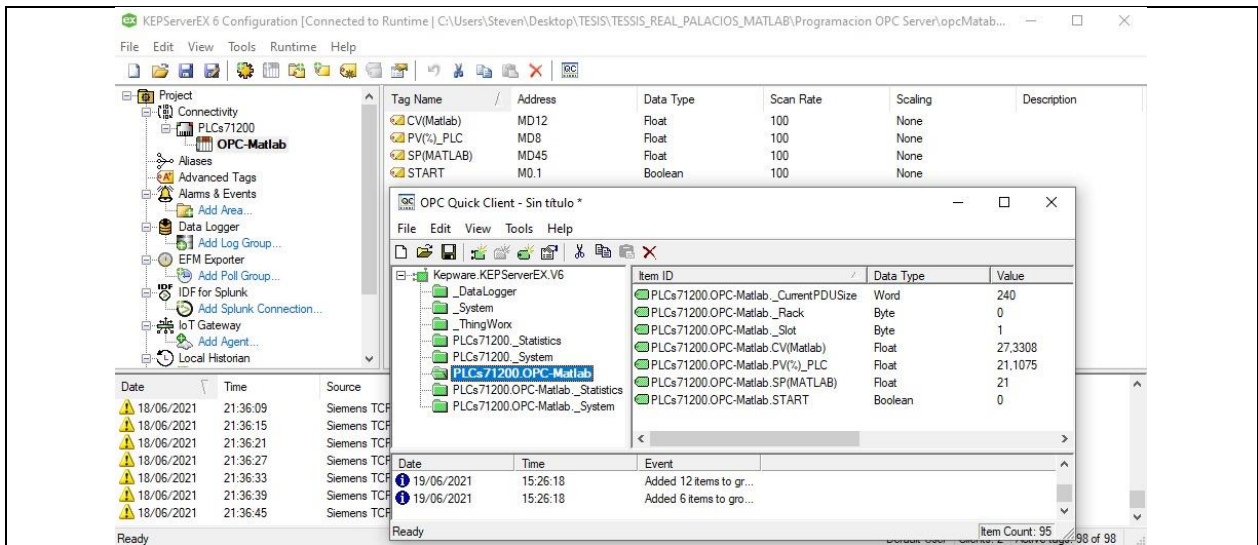


Figura 20: Variables en correcto funcionamiento

Continuamos con la configuración OPC en MATLAB abriendo un programa en Simulink, Conjuntamente con su librería de componentes donde en el buscador escribimos la palabra OPC y escoger los bloques configuración, lectura y escritura como se muestra en la figura 21.

Abrimos la configuración del OPC, luego configuración OPC clientes y añadimos el servidor KEPServer mostrado en la figura 22.

Posteriormente abrir la configuración de lectura de la variable OPC en la cual añadimos lo ítems buscando la variable que necesitamos como se muestra en la figura 23.

Para la escritura se realiza la misma configuración, tomando en cuenta que para la lectura solo cambia la selección de las variables

Esta configuración se encuentra en la carpeta >>TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>>Programación OPC Server>>OPCMatlab.opf

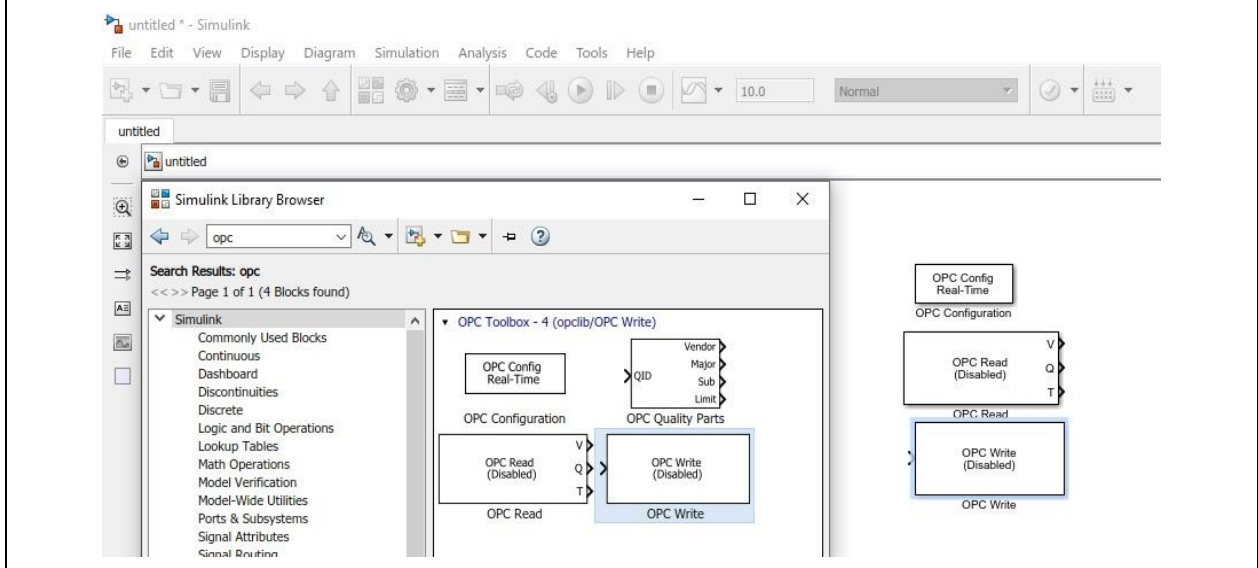


Figura 21: Selección de los bloques OPC en Simulink

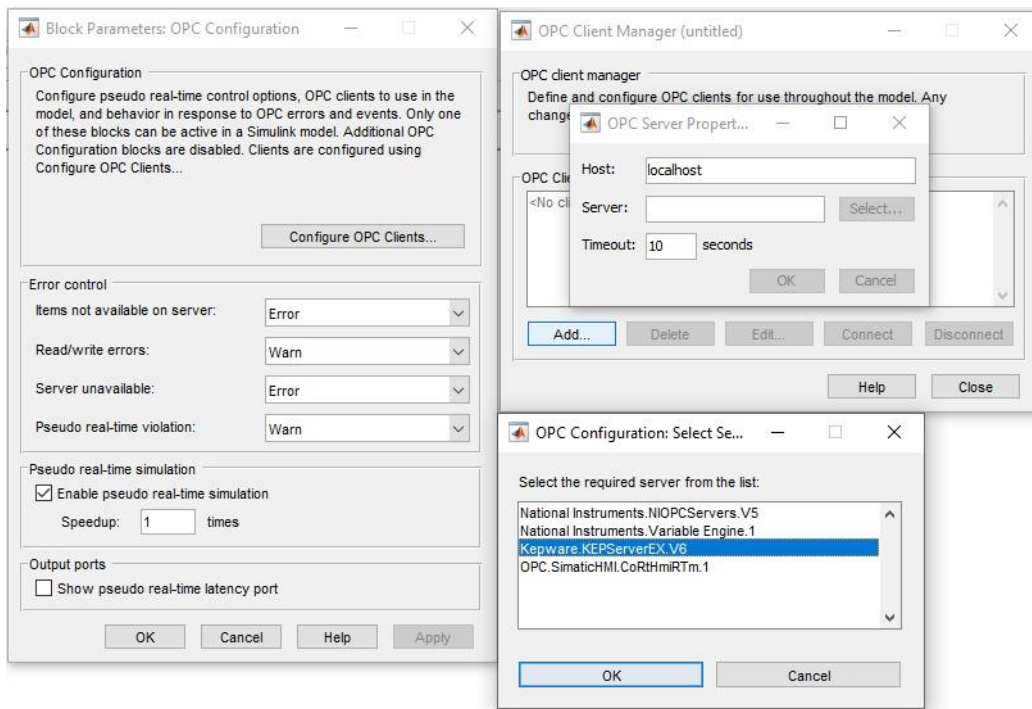


Figura 22: Configuración de cliente OPC

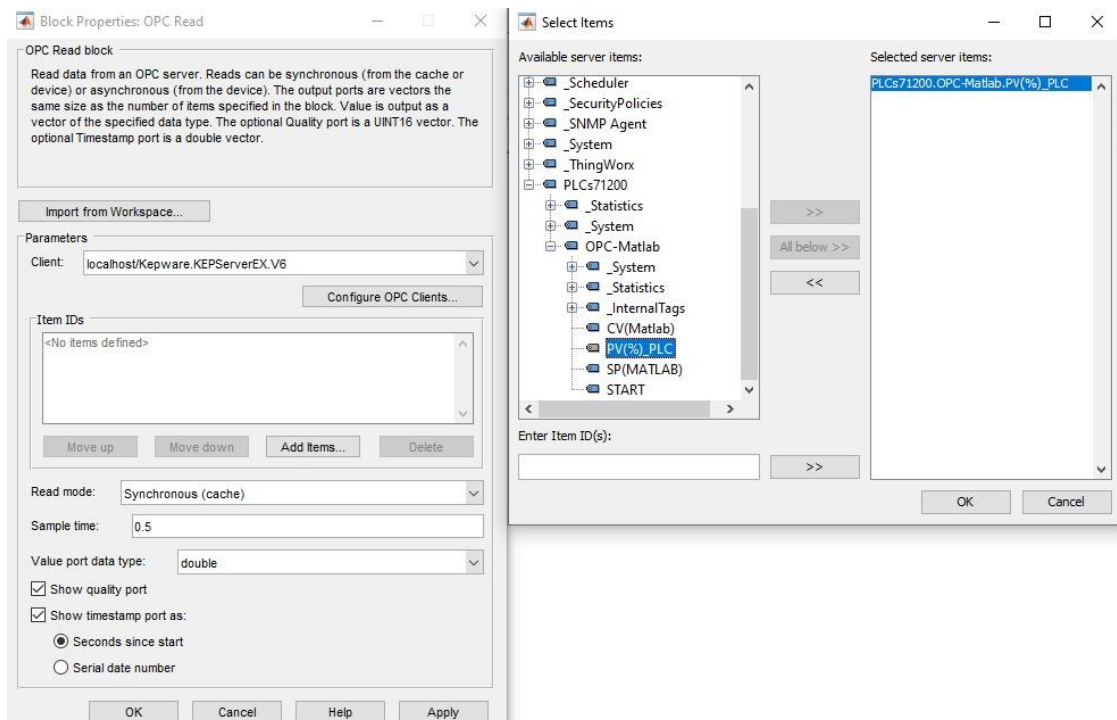


Figura 23: Selección de ítems en cliente OPC

Al terminar la configuración del servidor OPC se procede a realizar un programa que permita la comunicación en tiempo real como se aprecia en la figura 24.

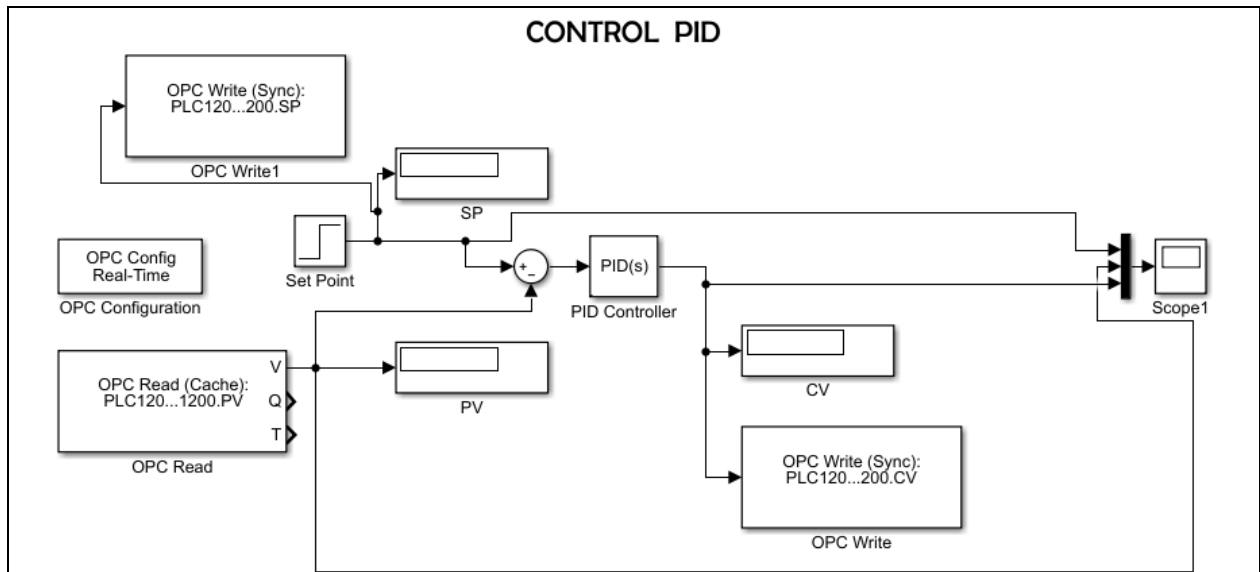


Figura 24: control PID implementación real.

Este archivo se encuentra en la carpeta >>TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>> Control PID >> PIDreal.slx Ejecutar utilizando la aplicación de Simulink

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA:

NÚMERO DE PRÁCTICA:

NOMBRE(S):

FECHA:

PARTE NUMÉRICA

1	Datos de módulo Físico
----------	------------------------

Parámetros de funcionamiento			
Bomba			
Caudal de sensor 1			

Tabla 1: parámetros de funcionamiento del modulo.

2	A continuación, expresar con sus propias palabras y adjuntando imágenes de los distintos comportamientos del control PID
----------	--

Tiempo de respuesta, etc.

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las fotografías de la curva CV (control value) con la perturbación abierta en distintos porcentajes
----------	---

PARTE ANÁLITICA

4	Describa con sus palabras que sucedió con cada de las curvas
----------	---

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5	(Describa e interprete los resultados obtenidos) Describa con sus palabras las dificultades obtenidas y los resultados de respuesta del controlador PID.
----------	---

CONSULTAS

6	Desarrolle las consultas de la sección 2.1
----------	--

CONCLUSIONES

7	Escriba por lo menos 4 conclusiones
----------	-------------------------------------

ANEXOS

8	Especificaciones de los materiales utilizados (Pueden ser bajados de internet)
----------	---

BIBLIOGRAFÍA

9	Poner la bibliografía utilizada
----------	---------------------------------

(Ejemplo) ASKELAND, Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Iberoamérica,1987, Págs.: 97-103



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE CONTROL CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
A.REAL,A.PALACIOS	P.CORRALES	J. VILLARROEL
FECHA:26-07-2021	FECHA:26-07-2021	FECHA: 26-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 306	PLC

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Control y Automatización	DURACIÓN (HORAS)
03	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	Control Fuzzy de flujo con PLC y myRIO	3

1	OBJETIVO
	<p>Objetivo de la práctica:</p> <p>Estudiar el comportamiento y el uso de las variables SP (señal de consigna), PV (variable de proceso) y CV (variable de control) que son las que permiten la realización de cualquier control SISO como es el caso del control de flujo.</p>

2.1. INTRODUCCIÓN

Control de Flujo

Se basa principalmente en el control de un flujo de líquido o aire en un espacio determinado utilizando un transmisor que pueda censar la cantidad exacta que pasa por la tubería.

PID

Un controlador PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada

Sintonización PID

La sintonización del controlador consiste en darle valores a los sistemas de acción integral, derivativo y la ganancia (K_c , T_i y T_d) de forma que el lazo del controlador responda adecuadamente a las perturbaciones.

2.7.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos: Modulo de Flujo N°3, PLC S7-1200, Tarjeta myRio, Variador de frecuencia iG5A, Fuente 24v

Materiales: 20 Cables Badana, cable de alimentación myRio, cable USB myRio, cable de ethernet

MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de operación del módulo de flujo N°3
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.8. TRABAJO PREPARATORIO

2.8.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Antes de realizar la práctica se debe tener en claro cómo se debe realizar un proceso PID, y los pasos necesarios para realizar el mismo se debe indagar los siguientes conceptos.

- Modelo Matemático
- Función de transferencia
- Función systemIdentification de Matlab
- Programación de VI
- Programación en Simulink
- Ecuación de interpolación

2.8.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Conexión del equipo

Para la conexión del equipo siga los siguientes pasos puede guiarse del diagrama de conexión expuesto gráficamente en las siguientes figuras.

Utilizando myRIO.

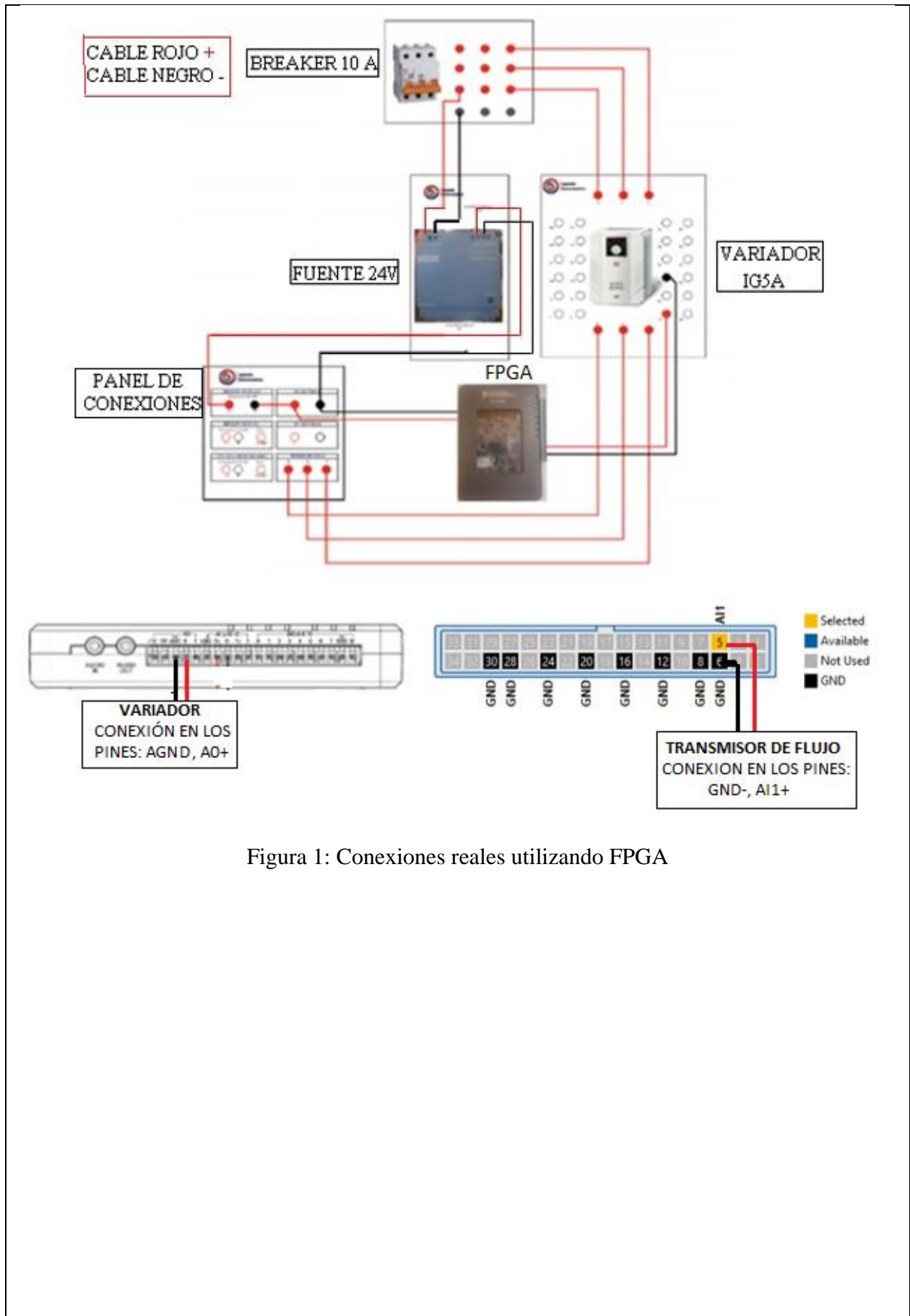


Figura 1: Conexiones reales utilizando FPGA

Utilizando PLC

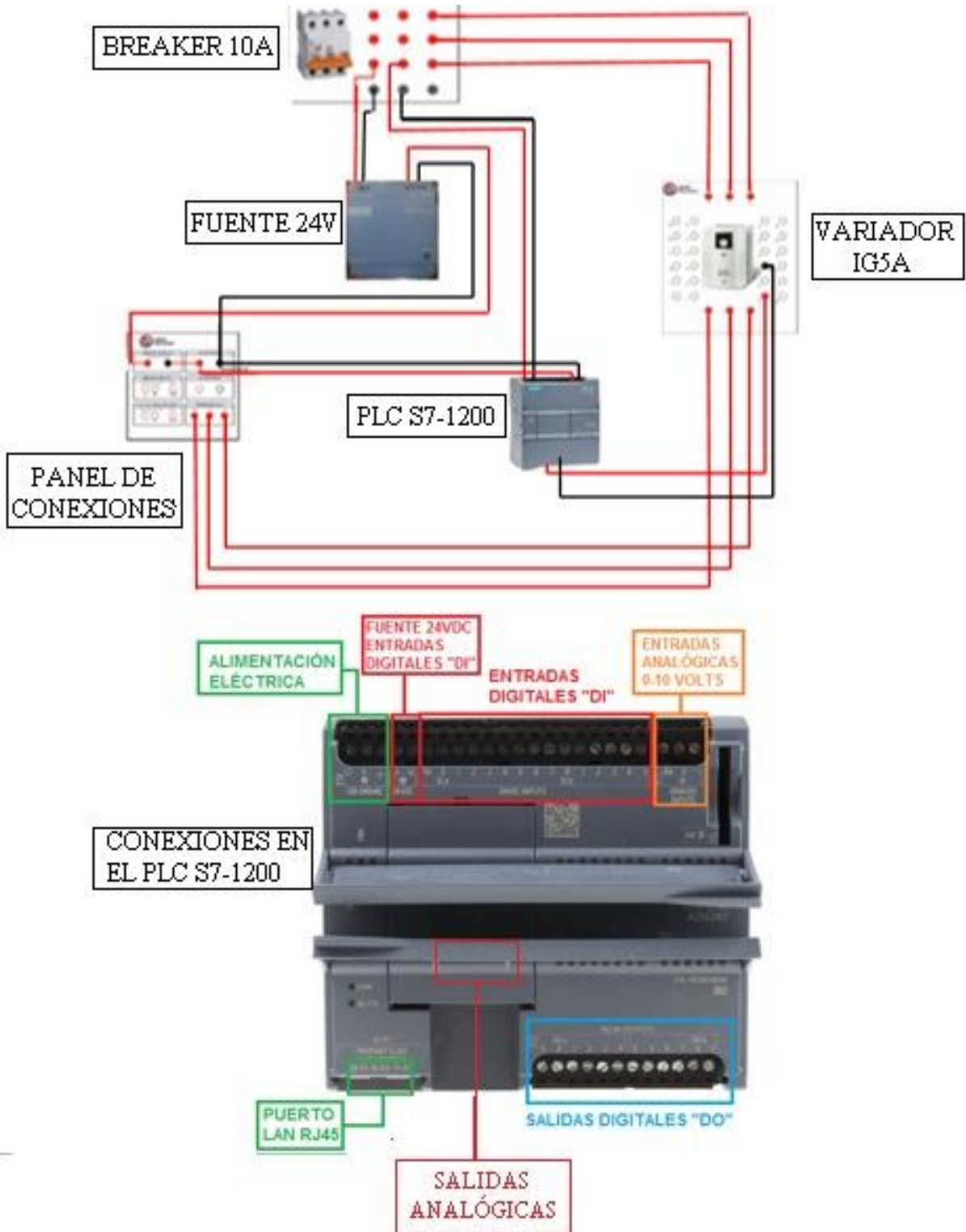


Figura 2: Conexiones reales utilizando PLC

Una vez realizada las conexiones necesarias se debe realizar las configuraciones que se estime pertinente en el transmisor de flujo y la configuración del variador para que funcione mediante una entrada analógica.

Configuración del Transmisor de Flujo

- PASO 1: Retirar tapa, girando antihorario y verificar que el Trasmisor de flujo esté conectado, en la pantalla principal indica la siguiente interfaz



Figura 3 Pantalla de trabajo

Primera fila: indica el caudal acumulado que mide cada vez que se enciende el sensor, es un número entero fijo de cinco bits.

Segunda fila: Indica el caudal acumulado es decir los L/m que han circulado desde que el sensor ha comenzado a censar (desde su compra e instalación).

Tercera fila: Indica el flujo instantáneo como un número entero más 2 decimales, las unidades se pueden configurar en el menú.

- PASO 2: Ingresar en el menú



Figura 4 Variables a configurar en la pantalla

PASO 3: Introduzca el estado de configuración de la contraseña para eso siga los

- siguientes pasos
- Pulse la tecla "<" clave (pulsación larga "<" alrededor de 1 a 2 segundos para confirmar e introducir la contraseña estado inicial.
- Pulse la tecla "+" (pulsación larga "+" alrededor de 1 a 2 segundos para salir, para cancelar el estado de entrada, devolución a la pantalla
- Pulse la tecla "+" en el estado de entrada, el ciclo para cambiar el valor en la posición del cursor. Pulse la tecla "<" mueve el cursor de entrada de posición;

- Ponemos la contraseña pulsación larga la Tecla "<" clave o contraseña para transmisor de flujo del módulo N.03 es: 2010.
- Pulse la tecla "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar la contraseña para entrar a la configuración presionando 2 segundos.

Parámetros que el usuario puede modificar.

Instrucciones para moverse dentro del menú del transmisor:

- Pulse el botón "+" para salir del estado de entrada.
- Pulse la tecla "<" para confirmar la operación de guardar.
- Pulse la tecla "+" para cambiar el valor o símbolo ciclo en la posición del cursor.
- Pulse la tecla "<" para mover el cursor al inicio de la derecha.
- Introducir hasta ocho datos de entrada (incluyendo el signo, el punto decimal):
- En el menú de búsqueda, pulse "+" para disminuir; presione "<" para encender la unidad; presione "<" para entrar en el submenú. Pulse "+" para volver a la interfaz de pantalla de trabajo.
- En el submenú, pulse la tecla "+" para la salida; luego presione "<" para entrar en el modo de modificación. En estados tales como la mejora opción de modificar, pulse la tecla "+" para seleccionar; presione "<" para confirmar.

Nota: Cuando se establece el parámetro, pulse "<" para confirmar la configuración de lo contrario es válido conjunto

Tabla I.1 Menú de preferencias del usuario (La Contraseña es: 2010)

La configuración de seteo para esta práctica es la mostrada en color azul.

Sub menú	Pantalla de menú	Significado	Seleccionar un elemento o rango de valores
1	Selección de la unidad de flujo	Selección de la unidad de flujo (Defecto 0)	0: metro 3 / h 1: metro 3 / m 2: l / h 3: 1 / m 4: t / h 5: t / m 6: kg / h 7: kg / m
2	Selección de algoritmos	Selección de algoritmos (Defecto 0)	00: Flujo de volumen convencional. 01: Flujo de masa convencional. 02: Flujo de volumen de gas convencionales. 03: Flujo de masa de gas convencionales.
3	Fluir Coeficiente k	Coeficiente de caudal	Ajuste el factor de metro, unidad: 190000.0 P / m ³ (nota: se recomienda utilizar este valor para mejorar la fiabilidad de censo ya que si se

			utiliza otros valores puede variar el tiempo de muestreo del valor)
4	El flujo de salida de escala completa	Flujo de salida a escala completa (Defecto 1000)	Cuando la señal de la salida de 4 ~ 20 mA se requiere modificar su máximo de 100 l/m
5	Configuración de la densidad	Ajuste de densidad (Defecto 1.000000)	Cuando la selección del algoritmo se establezca para el flujo de masa (01, 03), debe establecer esta unidad es: kg / m ³
6	Configuraciones electrónicas de la te	Los ajustes de Temperatura (Defecto temperatura: 0.000000)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
7	Ajustes de presión absoluta	Una presión absoluta de gas (Defecto 101,325)	Un valor cálculo de la presión absoluta de gas al seleccionar 02, 03, cuando el algoritmo, esto debe establecer. La unidad está: kPa (Nota: El vacío dará lugar a flujo de 0.0 a 0))
8	El límite inferior cortar el tráfico	Ajuste de la entrada de impulsos Porcentaje de eliminación Defecto (1.000000%)	Prensa% de la escala completa supresión de caudales valor entre 0 y 100, (Cuando se utiliza este tipo de rango de corriente y el pulso se debe establecer correctamente)
9	Tiempo de retardo de envío de señal	Este valor varío de (2 a 32 s) (Defecto 6.000000)	Esta configuración varía dependiendo el tiempo que se desee trabajar, se establece el valor de 2.000000 s
10	La cantidad acumulada despejado	La cantidad acumulada despejado	Para borrar el tipo de medida, seleccione YES y presione el botón "E"

Nota: Las palabras marcadas con color azul son datos que se deben ingresar al transmisor para que trabaje de una manera óptima, para resetear el transmisor ingresar la contraseña 2011

Verificar el funcionamiento de la planta y sus rangos de operación para poder obtener ecuaciones de escalación de las variables PV y CV para realizar un control de lazo abierto, ingresando 0-10v al variador en la entrada analógica y comprobar en la salida, el sensor el flujo que circule por el mismo.

Tabla 1: Rango de funcionamiento y configuración de la planta

Voltios variador	Voltios sensor	LPM	Acción
1-2.3	0.99-1	0	No hay circulación de fluido
2.3-3	1.11-2.07	2.21-27.18	Circula un mínimo de fluido con errores
3-3.5	2.07-2.48	27.18-36.79	Circulación de fluido inestable
3.5-6.5	2.48-4.3	36.79-83.68	Circulación de fluido óptimo para trabajar
6.5-10	4.3-5	83.68-116.5	El circuito se colapsa en el tanque de nivel

Las siguientes ecuaciones responden a las variables PV y CV que son necesarias para adquirir los datos para realizar el modelo matemático, utilizando la ecuación de interpolación o punto pendiente dando como resultado las siguientes.

$$y = 0.1554x^2 + 24.453x - 24.597 \quad (\text{Entrada})(PV)$$

$$y = 0.0002x^2 + 0.0367x + 1.8984 \quad (\text{Salida})(CV)$$

Se puede

Para la obtención del modelo matemático de debe crear un programa en VI el que permita realizar un control de lazo abierto, además realice el guardado de los datos de forma automática en un archivo de texto de las variables.

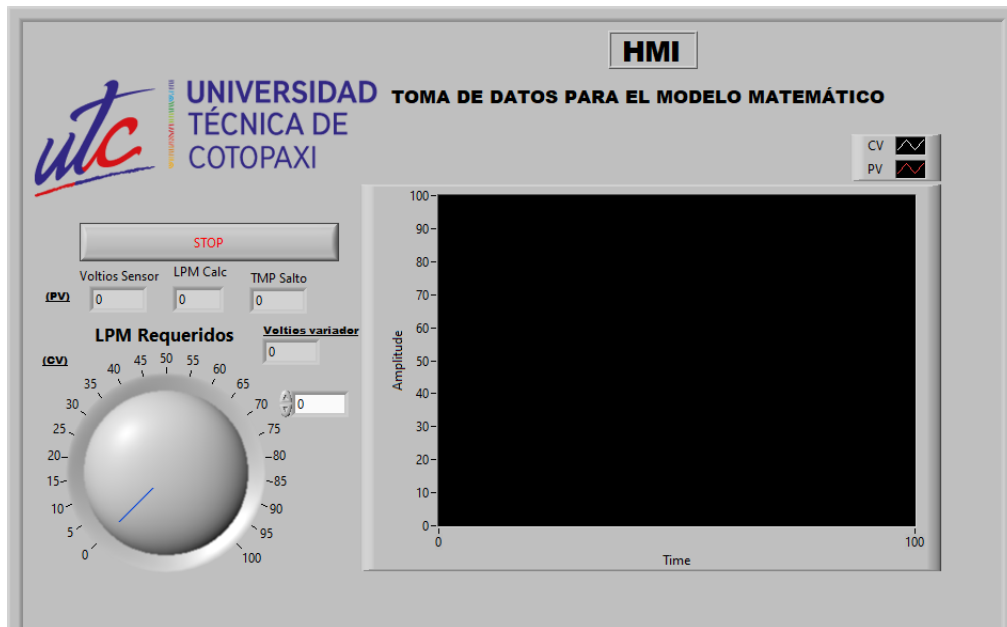


Figura 5: HMI para toma de datos del modelo matemático.

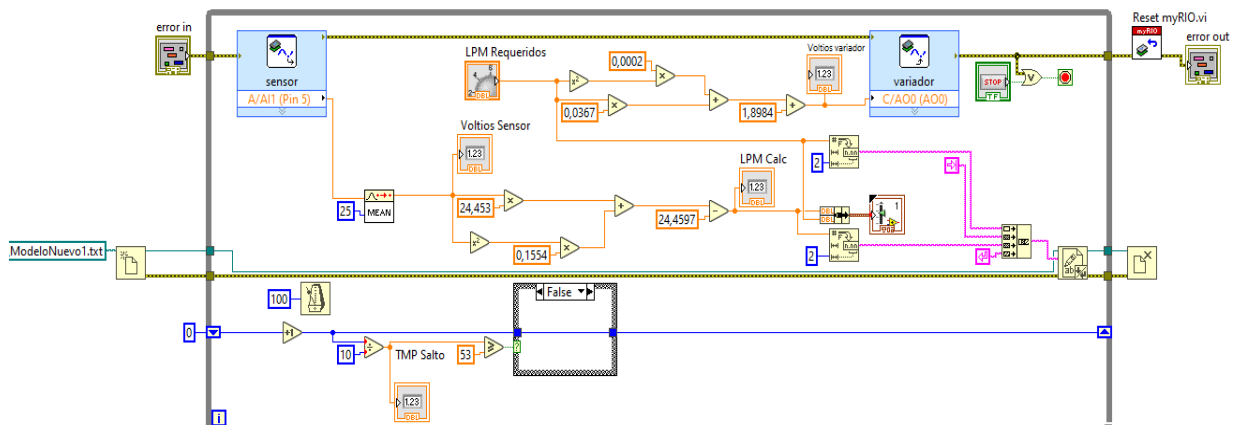


Figura 6: Programación en bloques para toma de datos del modelo matemático.

Una vez obtenidos los datos suficientes para la obtención del modelo matemático se abre el programa de Matlab y copiamos los datos de PV en la variable “input3” y los datos de CV en la variable “output3” como se muestra en la siguiente figura.

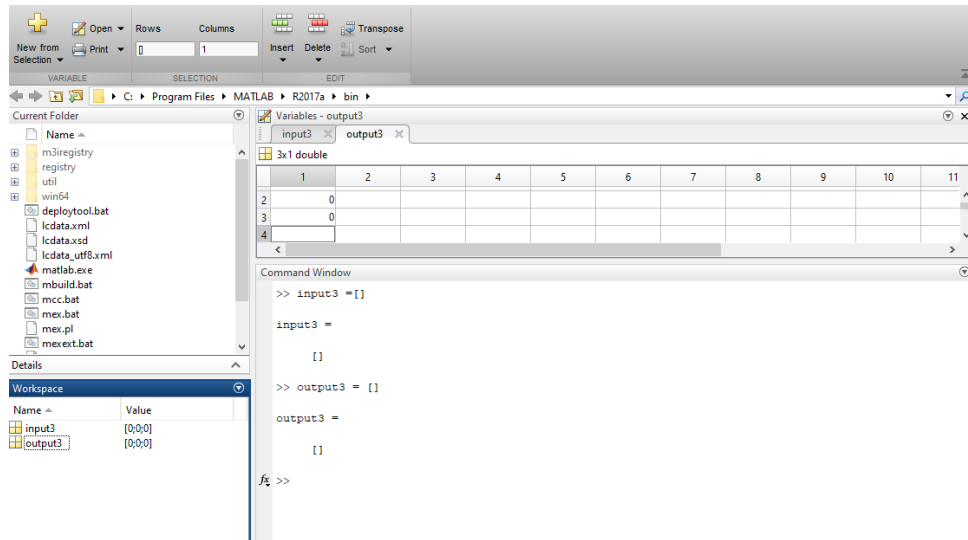


Figura 7: carga de valores para obtención de la función de transferencia

Se debe realizar el llamado de la función systemIdentification de Matlab en la que se deben cargar los datos para generar la función de transferencia en modelo de procesos como se observa en la siguiente figura.

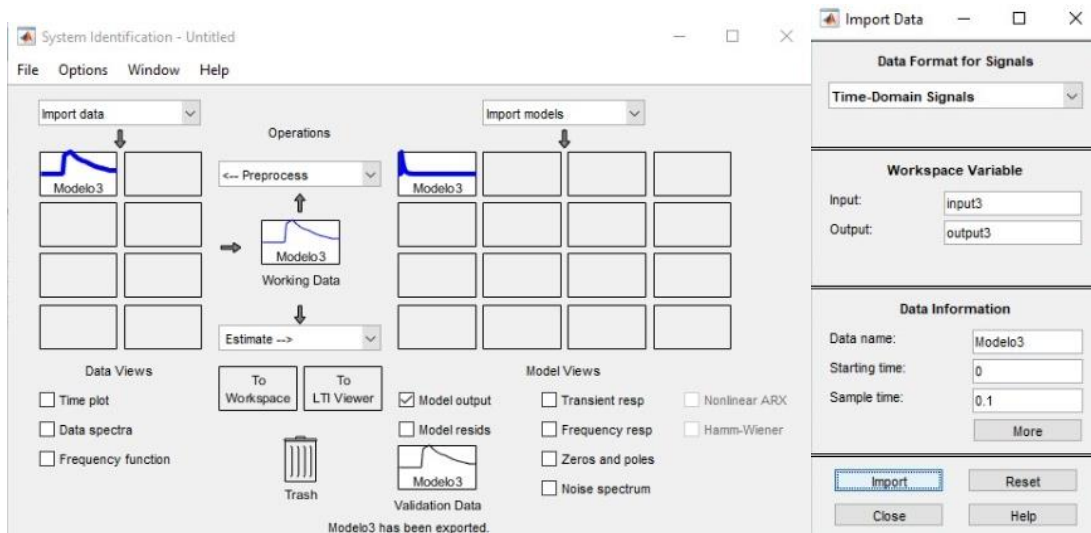


Figura 8: Estimación de función de transferencia

Una vez realizado la carga de los datos del modelo matemático se obtiene la función de transferencia necesaria para realizar las simulaciones necesarias para la sintonización del PID.

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$K_p = 0.98602$
 $T_{p1} = 1.7063$
 $T_d = 3$

Figura 9: Función de transferencia

Una vez obtenida la función de transferencia de debe realizar la estimación del modelo de control que debe ser aceptable para poder continuar con el paso de simulación del proceso.

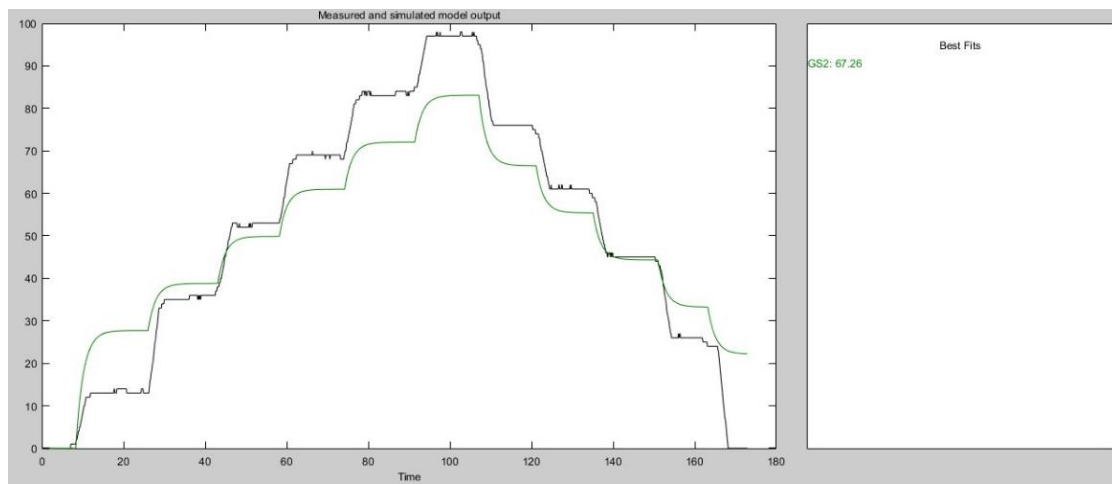


Figura 10: Estimación de modelo

- 3) Abrir la carpeta TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>>Control Fuzzy>>fuzzySimulado.slx y abrir el archivo de simulación utilizando Simulink.
- 4) Dar a ejecutar programa.

Al tener la función de transferencia y la estimación del modelo de control se realiza un programa de simulación en Simulink que permita observar el comportamiento del módulo.

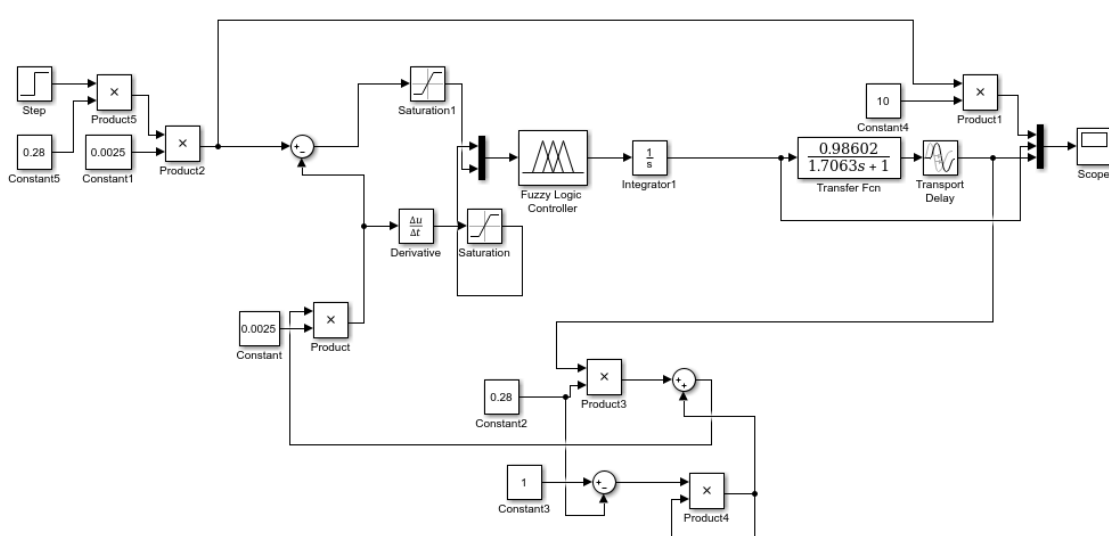


Figura 11: Simulación de proceso

Abrir el archivo de reglas ubicado en TESSIS_REAL_PALACIOS_LabView >> tmp >> caudal.fs

Una vez realizado el programa se procede a realizar el diseño del controlador Fuzzy que depende mucho de la experiencia del operador de tal manera que pueda operar de forma óptima.

Se comienza con el diseño de las funciones de membresía tanto para la derivada del error, error y la salida del del sistema, como se muestra en la siguiente figura 12.

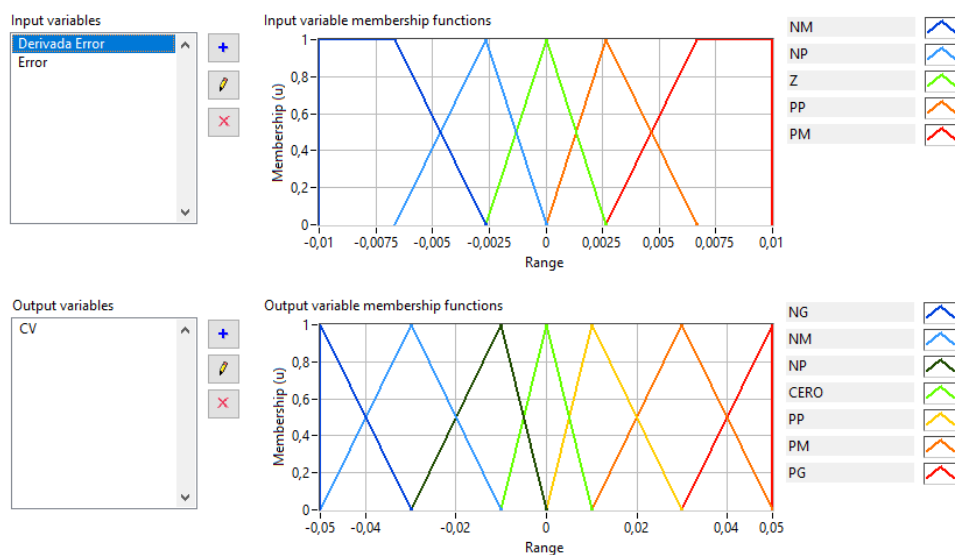


Figura 12: Variables de fuzificación

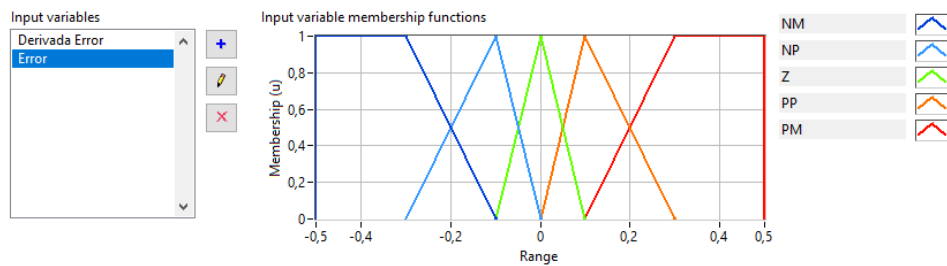


Figura 13: Variable de error de fuzificacion

Una vez realizado la asignación de las funciones de membresía se procede a la asignación de las reglas para que el controlador pueda funcionar.

Tabla 2: Reglas de fuzificacion

Derivada\Error	NM	NP	Z	PP	PM
NM	Z	PP	PM	PG	PG
NP	NP	Z	PP	PM	PG
Z	NG	NP	Z	PP	PG
PP	NG	NM	NP	Z	PP
PM	NG	NG	NM	NP	Z

Abrir la carpeta TESSIS_REAL_PALACIOS_LabView >> abrir el proyecto con el nombre >>TESSIS_REAL_PALACIOS.lvproj>> y buscar el VI >> CAUDAL_FUZZY_PLANTA.vi ejecutarlo poniendo siempre una señal de consigna.

Ya realizando las reglas del control Fuzzy se puede realizar un programa en bloque en VI en el cual se pueda conectar al módulo de forma real y así observar la correcta sintonización del controlador.

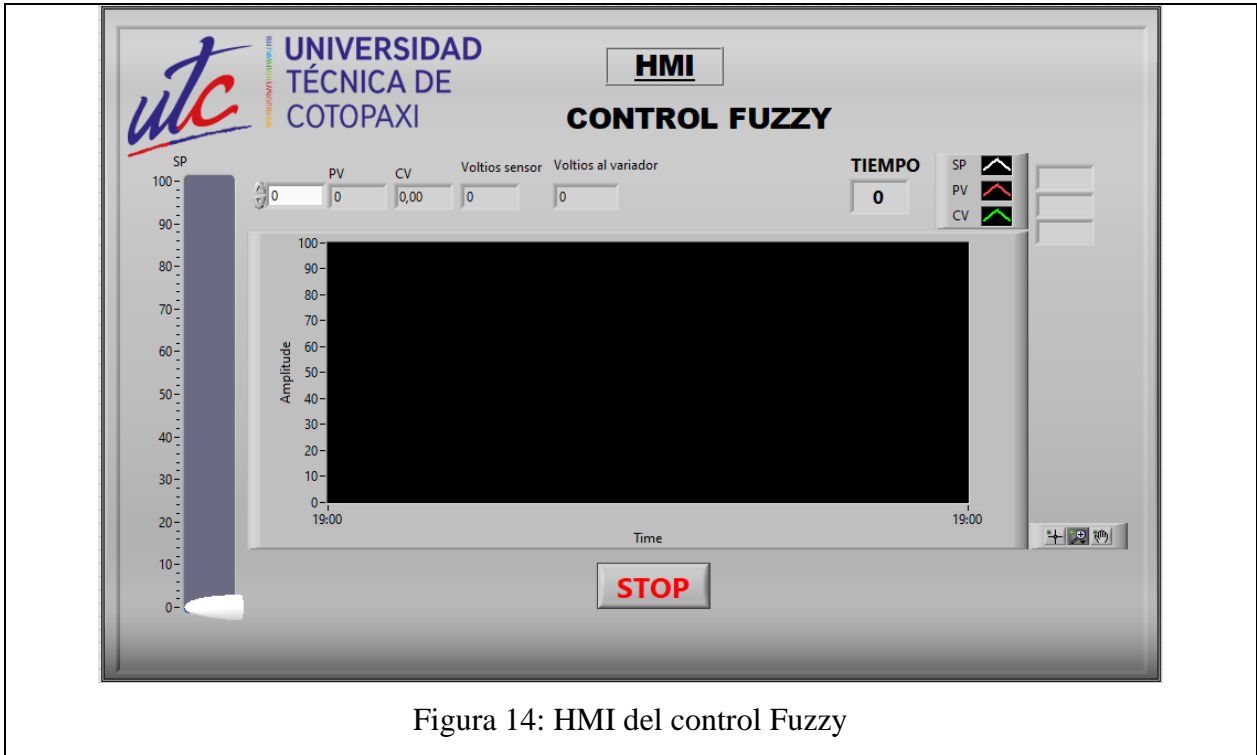


Figura 14: HMI del control Fuzzy

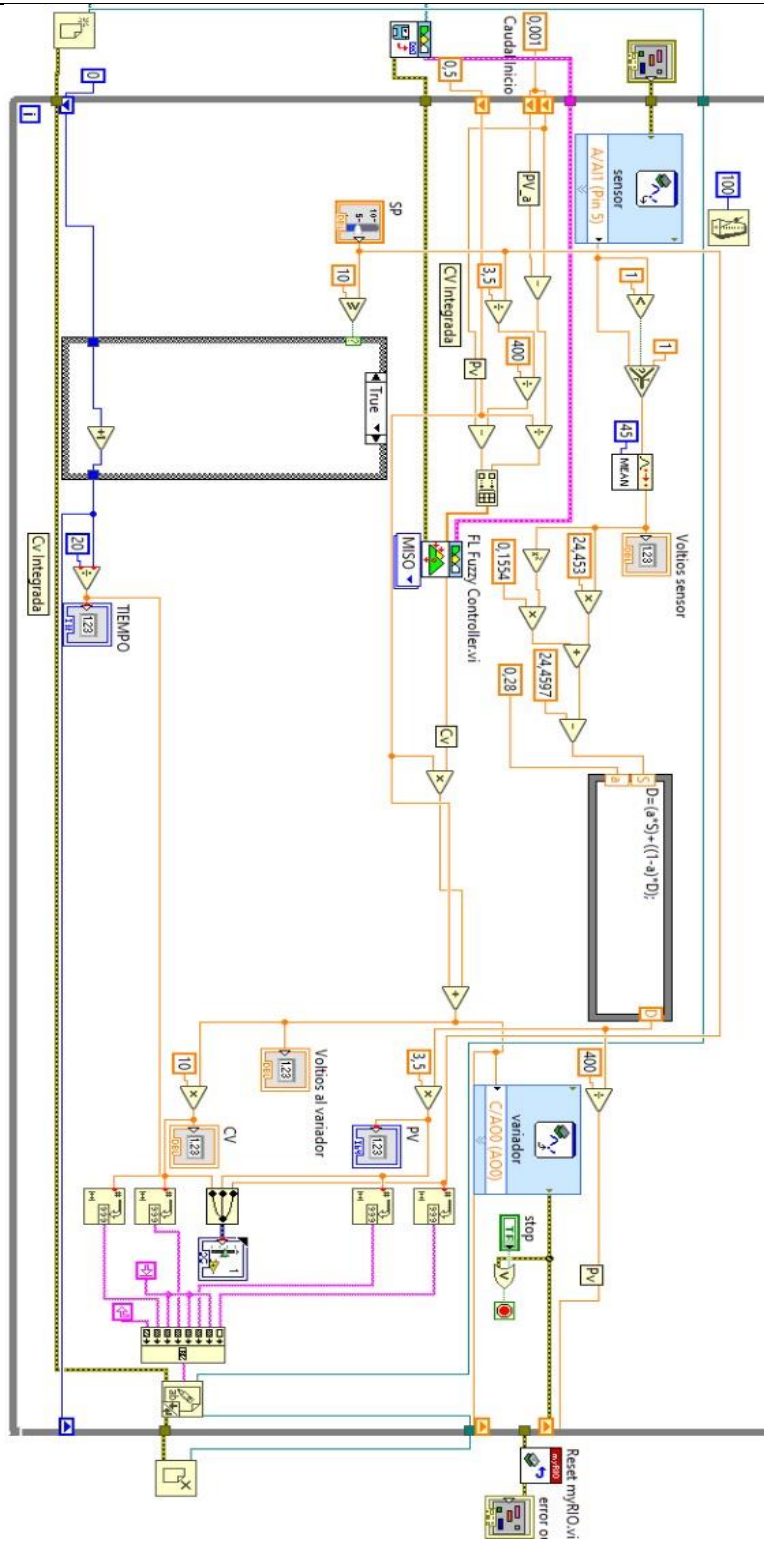


Figura 15: Programación en bloques del control PID

En el caso de la implementación del control en Simulink utilizando el PLC se debe realizar los siguientes pasos.

Debido a que el PLC siemens S7-1200 no soporta la programación para el controlador Fuzzy, simplemente se realiza una programación de entradas y salidas analógicas para el envío y recepción de señales en la planta que se está trabajando que se detalla a continuación.

Abrir la carpeta >> TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB >> PLC1 >> ejecutar el archivo PLC.ap16

Primero se realiza la programación en el TIA PORTAL V16 en la cual se verifican las entradas y salidas analógicas que posee el PLC para así crear una marca digital dentro del mismo.

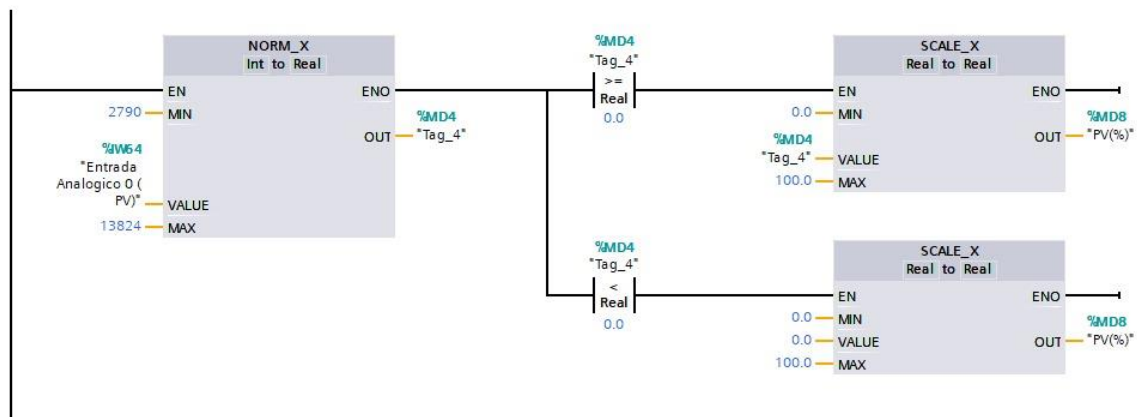


Figura 16: Entrada analógica en TIA PORTAL V16

En la siguiente figura se observa la salida analógica proveniente del servidor OPC que se expresa en una salida real del PLC que previamente se ha visualizado la cual corresponde a la QW 112. En este punto la escalación de las variables PV que es de 1-5V y la variable CV que es de 0-10V se realiza la escalación en este punto para facilitar la comunicación entre los controladores establecidos.



Figura 17: Salidas analógicas en TIA PORTAL V16

Una vez configurado el TIA PORTAL V16 se procede a configurar en KEPServerEX OPC, donde primero se crea una carpeta en proyecto dentro de conectividad, como se expresa en la siguiente figura.

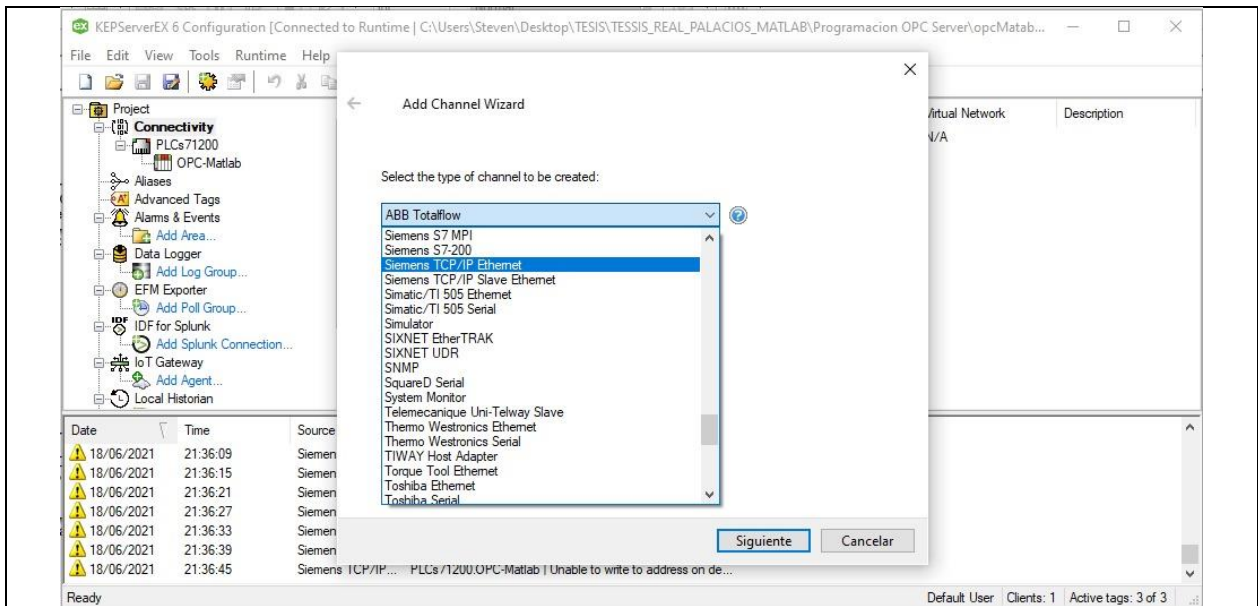


Figura 18: Selección de entrada RJ45 del PLC

Cabe recalcar que para crear la carpeta de conectividad hay que escoger la comunicación proveniente del PLC en nuestro caso es el PLS S7-1200 con versión de software 3.0 el cual no es necesario poner en el TIA PORTAL la opción de transmitir OPC, ya que al ser una versión antigua viene por defecto, dentro de la carpeta antes mencionada se realiza la creación de la carpeta OPC-MATLAB donde se escoge en primer lugar la dirección de comunicación, el modelo del PLC, el canal de asignación de datos y la dirección IP del mismo como se muestra en la siguiente figura.

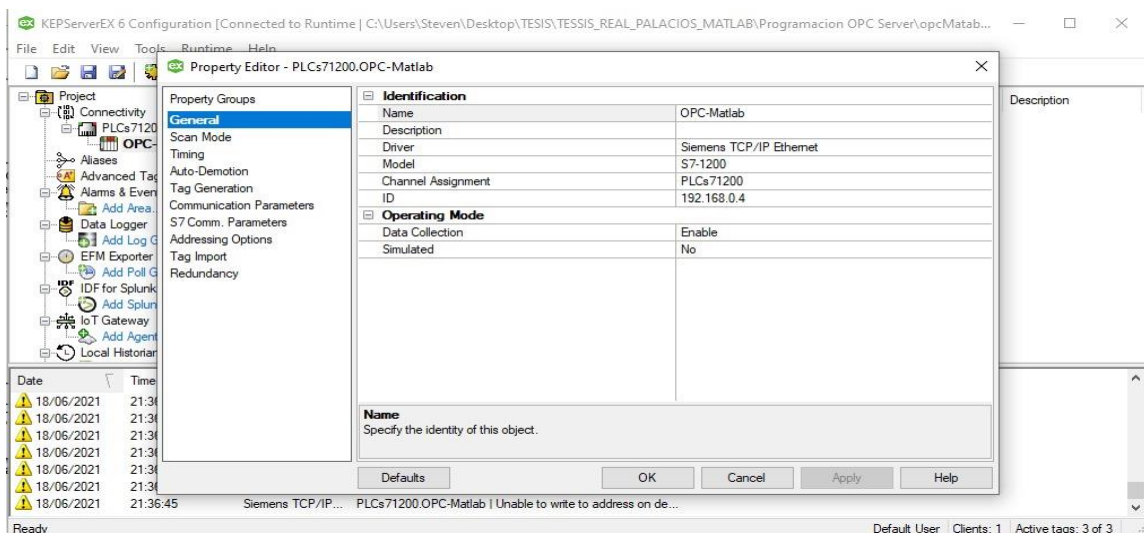


Figura 19: Configuración del canal de comunicación

Una vez realiza la configuración se crea los tags dentro de la carpeta OPC-MATLAB, escoger el nombre de nuestra preferencia y colocamos la marca o memoria que se programó previamente

del PLC como por ejemplo en nuestro caso CV(Matlab), que se envía desde Simulink al PLC. Las marcas o memorias escogidas en el PLC pueden ser cualquiera menos las marcas del sistema como se observa en la siguiente figura.

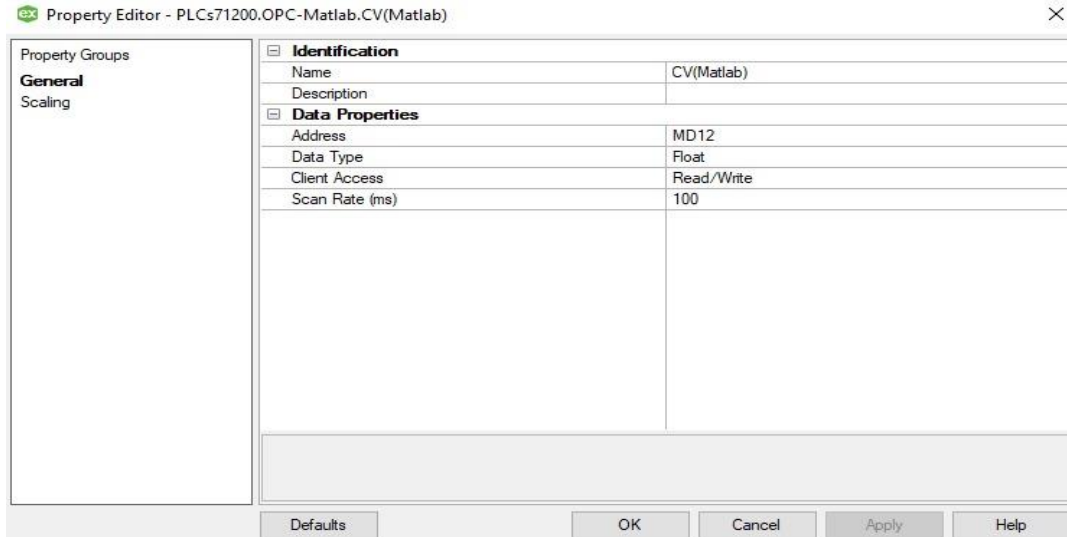


Figura 20: Creación de variables

Una vez creadas las variables se procede a comprobar si están funcionando correctamente, que se reconozca las variables y no aparezcan como bloqueadas como se muestra en la siguiente figura.

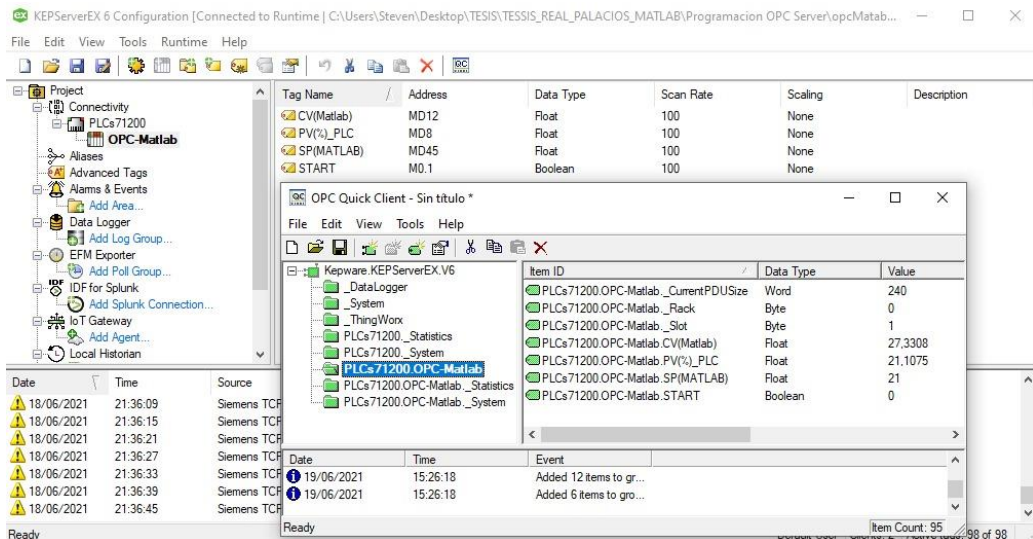


Figura 21: Variables en correcto funcionamiento

Continuamos con la configuración OPC en MATLAB abriendo un programa en Simulink, Conjuntamente con su librería de componentes donde en el buscador escribimos la palabra OPC y escoger los bloques configuración, lectura y escritura como se muestra en la figura 22.

Abrimos la configuración del OPC, luego configuración OPC clientes y añadimos el servidor KEPServer mostrado en la figura 23.

Posteriormente abrir la configuración de lectura de la variable OPC en la cual añadimos los ítems buscando la variable que necesitamos como se muestra en la figura 24.

Para la escritura se realiza la misma configuración, tomando en cuenta que para la lectura solo cambia la selección de las variables

Esta configuración se encuentra en la carpeta >>TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>>Programación OPC Server>>OPCMatlab.opf

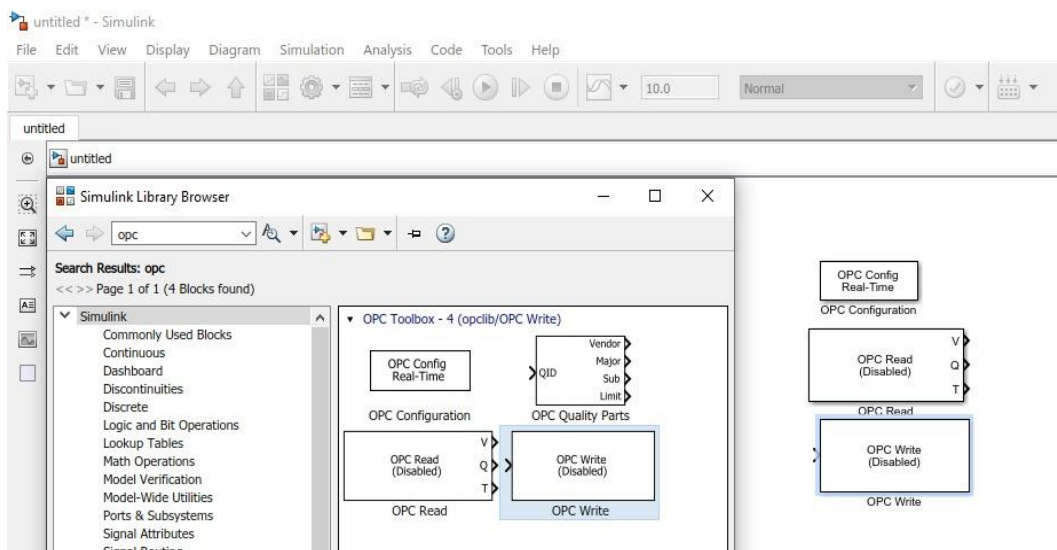


Figura 22: Selección de los bloques OPC en Simulink

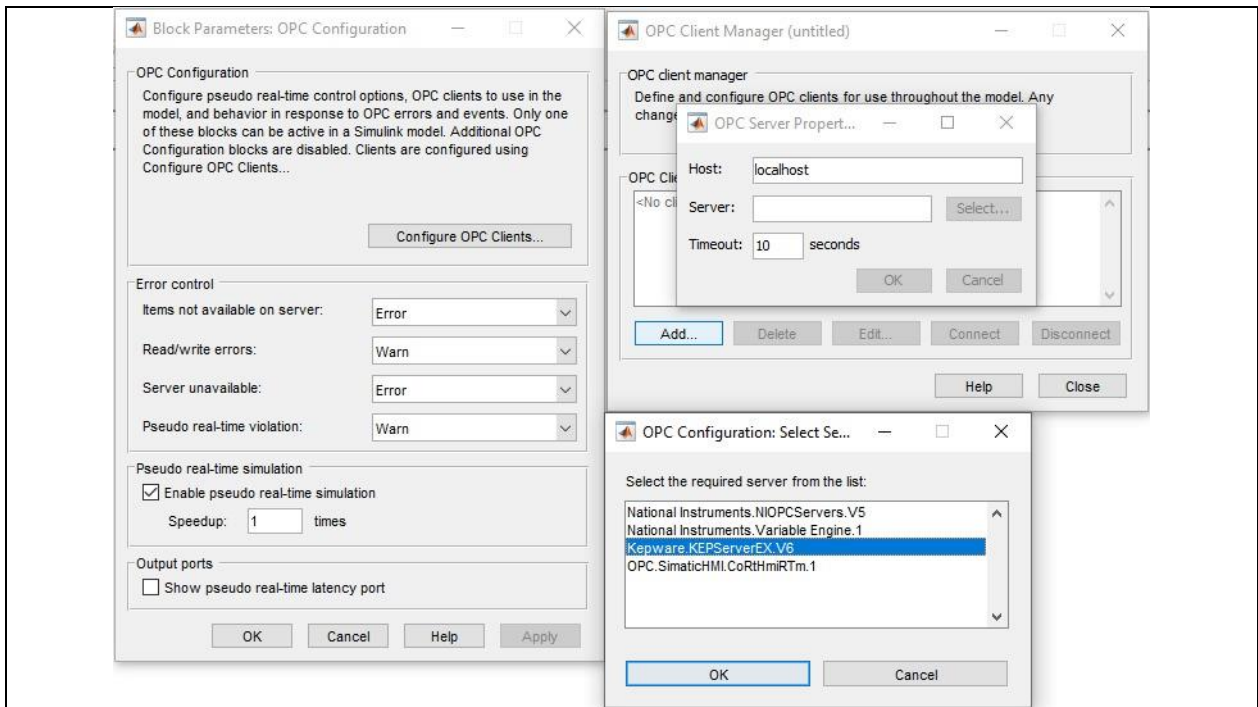


Figura 23: Configuración de cliente OPC

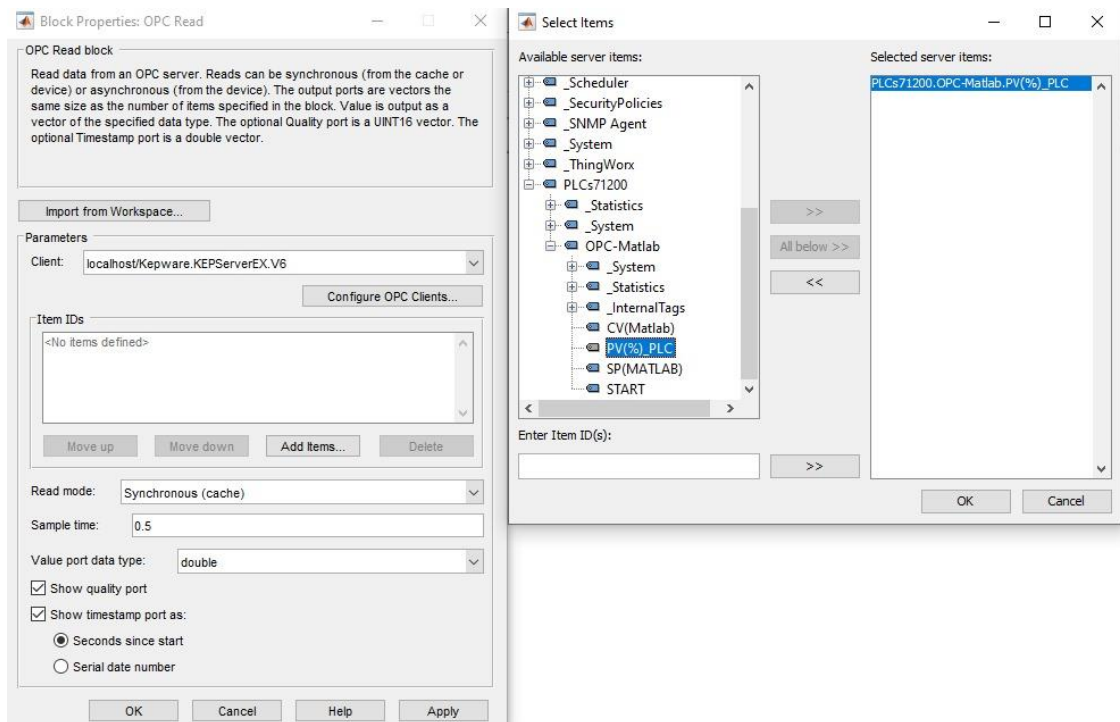


Figura 24: Selección de ítems en cliente OPC

Al terminar la configuración del servidor OPC se procede a realizar un programa que permita la comunicación en tiempo real como se aprecia en la figura 24.

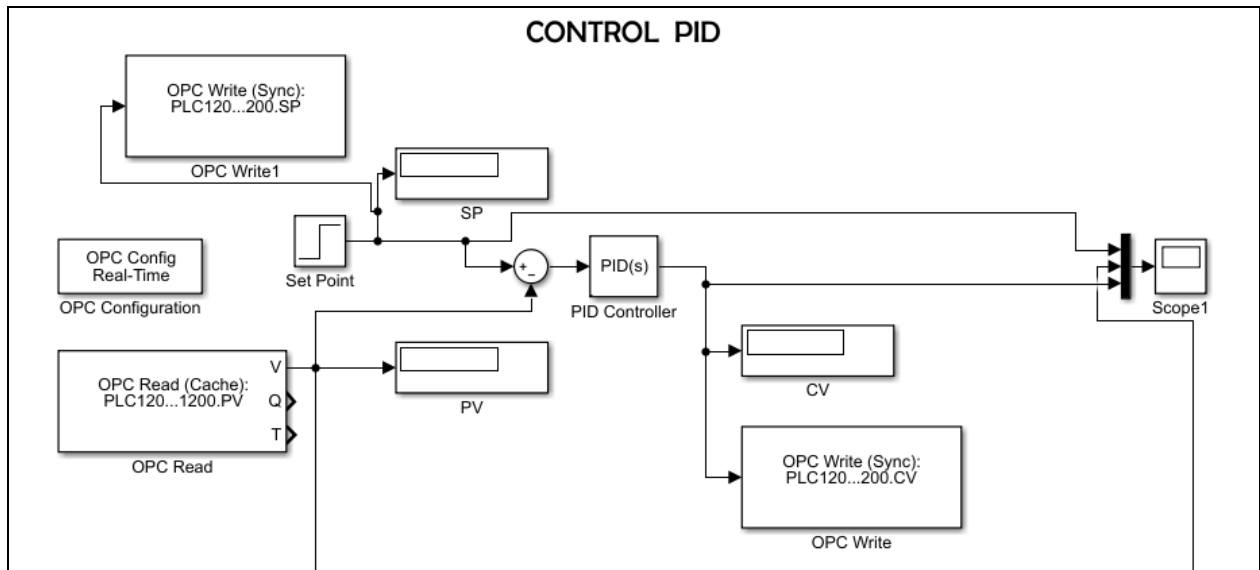


Figura 25: control PID implementación real.

Este archivo se encuentra en la carpeta >>TESSIS_REAL_PALACIOS_MATLAB>> Control PID >> PIDreal.slx Ejecutar utilizando la aplicación de Simulink

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA:

NÚMERO DE PRÁCTICA:

NOMBRE(S):

FECHA:

PARTE NUMÉRICA

1	Datos de módulo Físico
----------	------------------------

Parámetros de funcionamiento			
Bomba			
Caudal de sensor 1			

Tabla 1: parámetros de funcionamiento del módulo.

2	A continuación, expresar con sus propias palabras y adjuntando imágenes de los distintos comportamientos del control PID
----------	--

Tiempo de respuesta, etc.

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las fotografías de la curva CV (control value) con la perturbación abierta en distintos porcentajes
----------	---

PARTE ANÁLITICA

4	Describa con sus palabras que sucedió con cada de las curvas
----------	---

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5	(Describa e interprete los resultados obtenidos) Describa con sus palabras las dificultades obtenidas y los resultados de respuesta del controlador PID.
----------	---

CONSULTAS

6	Desarrolle las consultas de la sección 2.1
----------	--

CONCLUSIONES

7	Escriba por lo menos 4 conclusiones
----------	-------------------------------------

ANEXOS

8	Especificaciones de los materiales utilizados (Pueden ser bajados de internet)
----------	--

BIBLIOGRAFÍA

9	Poner la bibliografía utilizada
----------	---------------------------------

(Ejemplo) ASKELAND, Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Iberoamérica,1987, Págs.: 97-103