



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE CAUDAL Y PUESTA EN SERVICIO DE UN TRANSMISOR MAGNÉTICO DE FLUJO, PARA EL MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE LA VARIABLE CAUDAL, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA.”

CARVAJAL CABRERA CHRISTIAN PATRICIO
PROAÑO ALOMALIZA LUIS ENRIQUE



Objetivo General:

Diseñar e implementar una estación de caudal y poner en servicio un transmisor magnético de flujo, para monitorear y controlar automáticamente la variable caudal, en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga.

Objetivos Específicos:

- Adquirir conocimientos sobre el transmisor magnético de flujo para medir el caudal volumétrico que circula por la tubería.
- Dimensionar los equipos y dispositivos necesarios que conformarán la estación de caudal.
- Configurar el transmisor magnético de flujo de acuerdo al rango requerido para la estación de caudal.
- Realizar las conexiones necesarias para un funcionamiento óptimo del proceso.

Objetivos Específicos:

- Poner en servicio el transmisor magnético de flujo, para analizar las ventajas y/o desventajas del bridado en una tubería, así como las aplicaciones de este sistema en la industria.
- Desarrollar el algoritmo de control automático para la variable caudal.
- Diseñar el HMI para ver el estado del proceso.
- Realizar las pruebas necesarias de la estación para verificar el correcto funcionamiento de la misma.

Descripción del proyecto

Este trabajo se centra en el diseño e implementación de un módulo didáctico que realiza el monitoreo y control automático del caudal, el sistema controla el flujo de agua que circula por la tubería, por medio de un controlador el cual recibe la señal del transmisor magnético de flujo ROSEMOUNT 8732E, el autómata procesa la información de acuerdo a los controladores Tradicionales, de Lógica Difusa y Predictivo previamente ya programados, además se obtendrá la función de transferencia de la estación mediante el software Matlab.

Descripción del proyecto

El tipo de control será seleccionado mediante la Touch Screen para el PLC o desde un ordenador en donde se puede definir el control a ser aplicado, esto permite analizar las ventajas y desventajas de las estrategias de control en procesos industriales , el controlador envía la señal eléctrica hacia el variador de frecuencia, el mismo que se encarga de alterar la velocidad de la bomba centrífuga, consiguiendo así modificar el flujo de líquido que atraviesa por la tubería, esta variación será observada tanto en el transmisor como en el rotámetro, además mediante la Touch u ordenador se puede visualizar el proceso, cambiar el valor de consigna de la variable, definir rangos de alarma, se adicionara niveles de usuario, un registro de eventos y observar históricos de la variable.

Descripción del proyecto

Se implementa algoritmos de control capaces de mantener al proceso con un funcionamiento óptimo, mediante las herramientas ya establecidas en el software TIA y LABVIEW, se deja la posibilidad de implementar en la planta controladores clásicos y avanzados como redes neuronales.

Módulo Didáctico de Caudal



Componentes del Módulo Didáctico

Proceso de Caudal:

- Tanque
- Tubo de $\frac{3}{4}$ de pulgada acero galvanizado
- Bomba trifásica de $\frac{1}{2}$ HP
- Variador de frecuencia DELTA
- Válvulas de tipo Galleta

- Transmisor ROSEMOUNT 8732E Rotámetro
- Siemens PLC S7-1500
- Touch Panel KTP600 Basic Color PN Fuente logo 24 VDC
- Módulo de salidas analógicas AQ 4xU/I ST (6ES7532-5HD00-0AB0)
- Módulo de entradas analógicas AI 8xU/I/RTD/TC ST (6ES7531-7KF00-0AB0)
- Tarjeta de adquisición de datos Ni MYDAQ

Lazo de Control de los Procesos Caudal

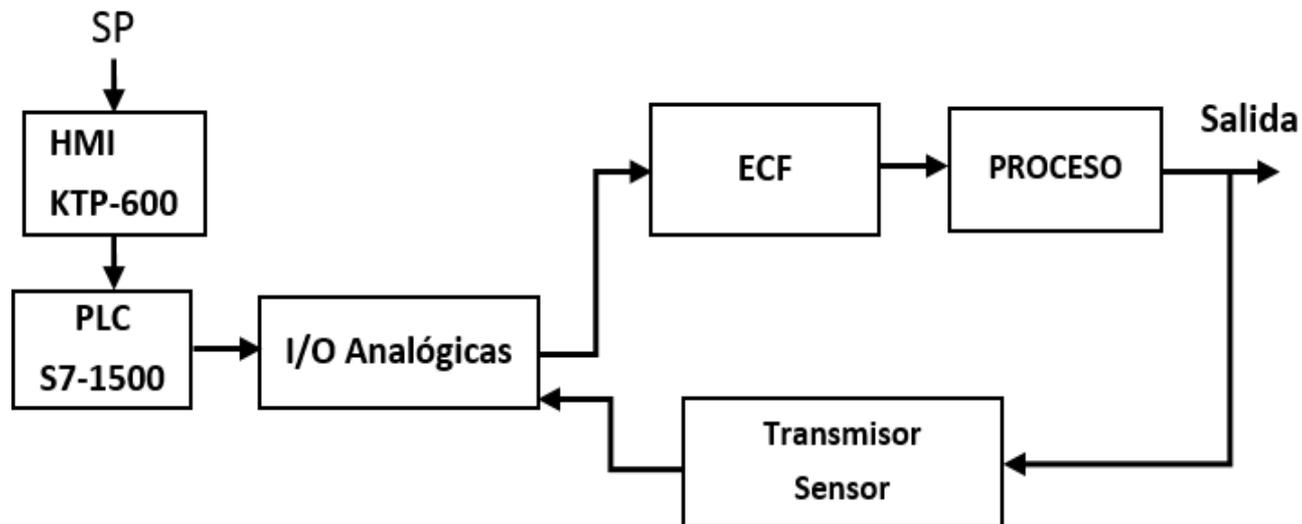


Diagrama de Flujo



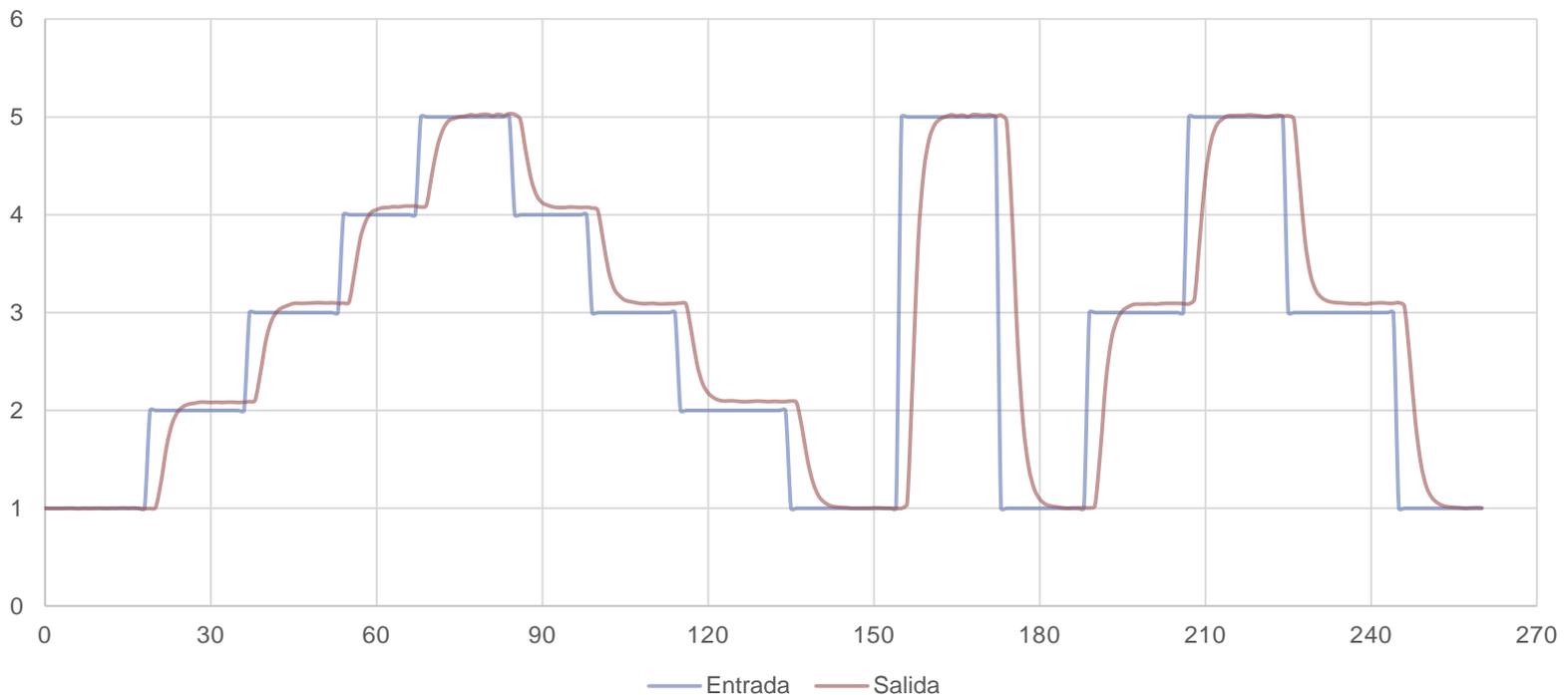
Función de transferencia de la estación de caudal

Para la obtención de la función de transferencia nos valemos del software MATLAB con la función `ident`.

Utilizamos el software LABVIEW para obtener datos tanto de entrada (ROSEMOUNT) y salida (Variable de Proceso) de la estación mediante la tarjeta de adquisición NI MYDAQ, para ello es necesario escalar todo a una misma escala y magnitud, para este caso tanto la entrada como salida están dentro de un rango de 1 a 5 V.

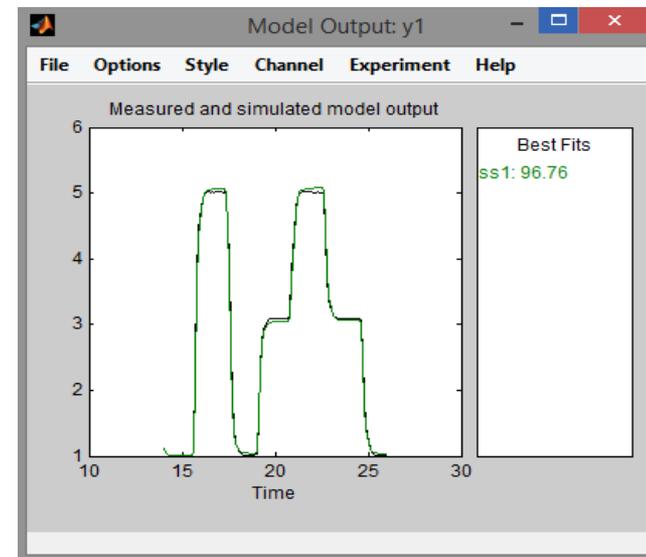
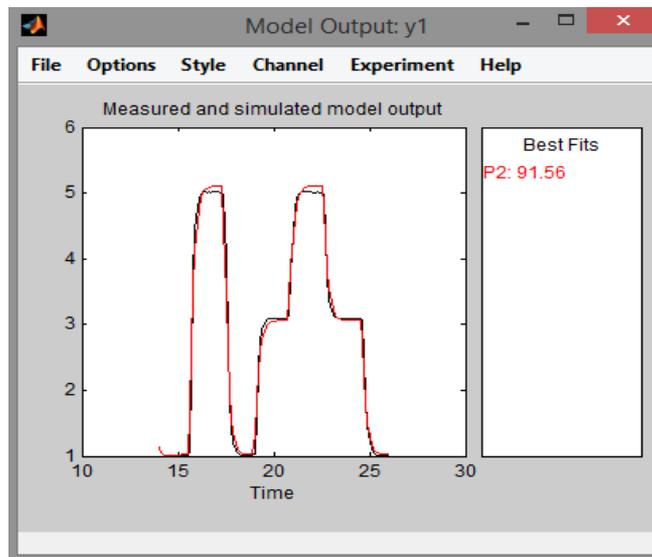
Respuesta de la salida frente al cambio de entrada

Entrada	Caudal	Salida	Caudal	ESCALA
4 mA	10 LPM	1,54V	10 LPM	1 V
20 mA	40 LPM	7,6 V	40 LPM	5V



Obteniendo los siguientes resultados tanto en graficas como en porcentaje de similitud de los datos obtenidos con la función de transferencia

Dominio	Porcentaje de Ajustes
s	91,56 %
Discreto	96,76 %



Función de Transferencia

La estación de caudal posee esta función de transferencia tanto para el dominio s como para la matriz de estados

$$G(s) = \frac{Kp}{(1 + Tp1 * s)(1 + Tp2 * 2)}$$

- $Kp = 1.0211$
- $Tp1 = 0.14013$
- $Tp2 = 0.14825$

$$G(s) = \frac{1,0211}{0,02077 * s^2 + 0,28838 * s + 1}$$

Matriz de Estados

- $x(t + Ts) = Ax(t) + B u(t) + K e(t)$
- $y(t) = Cx(t) + D u(t) + e(t)$

A	X1	X2	X3	X4
X1	0.798	-0.2312	0.00678	0.008469
X2	0.5864	0.219	0.2016	-0.0141
X3	-0.01638	-0.6829	-0.2774	-0.3825
X4	0.005714	-0.01903	-0.1499	0.8645

B	U1
X1	0.007419
X2	0.1156
X3	0.1112
X4	0.007466

C	X1	X2	X3	X4
Y1	-12.16	0.9008	0.02861	-0.07599

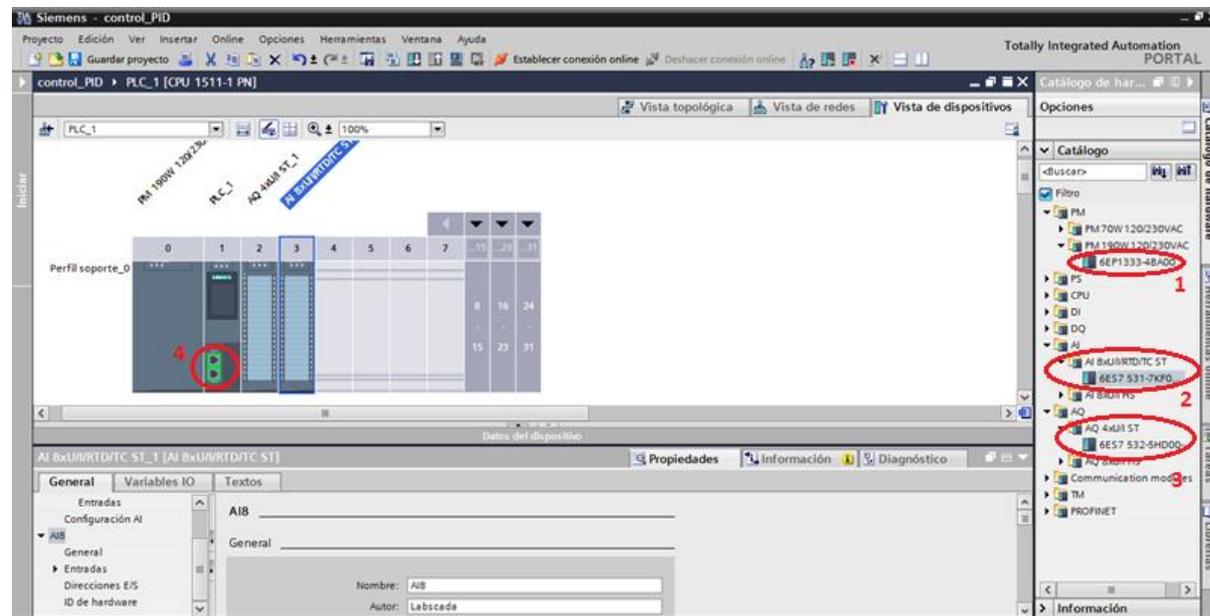
D	U1
Y1	0

K	Y1
X1	-0.09795
X2	0.03724
X3	0.1181
X4	-0.5689

Configuración y programación del PLC

The image shows two screenshots from the Siemens SIMATIC Manager software. The left screenshot displays the 'Crear proyecto' (Create project) dialog box. In the left-hand navigation pane, the 'Crear proyecto' option is highlighted with a red circle. The main area of the dialog shows fields for 'Nombre proyecto' (Project name), 'Ruta' (Path), 'Autor' (Author), and 'Comentario' (Comment). A 'Crear' button at the bottom right is also circled in red. The right screenshot shows the 'Agregar dispositivo' (Add device) dialog. The left pane shows a tree view of device categories: 'Controladores' (1), 'HMI', and 'Sistemas PC'. Under 'Controladores', 'SIMATIC S7-1500' (2) is expanded to show 'CPU 1511-1 PN' (3), which is further expanded to show the specific device '6ES7 511-1AK00-0AB0'. The right pane shows the selected device's details, including its reference number, version, and a detailed description.

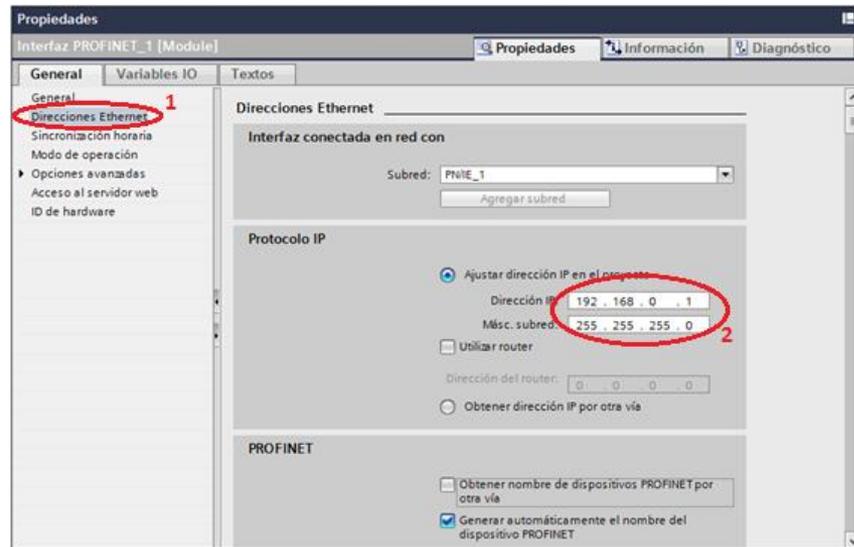
Configuración y programación del PLC



Configuración y programación del PLC



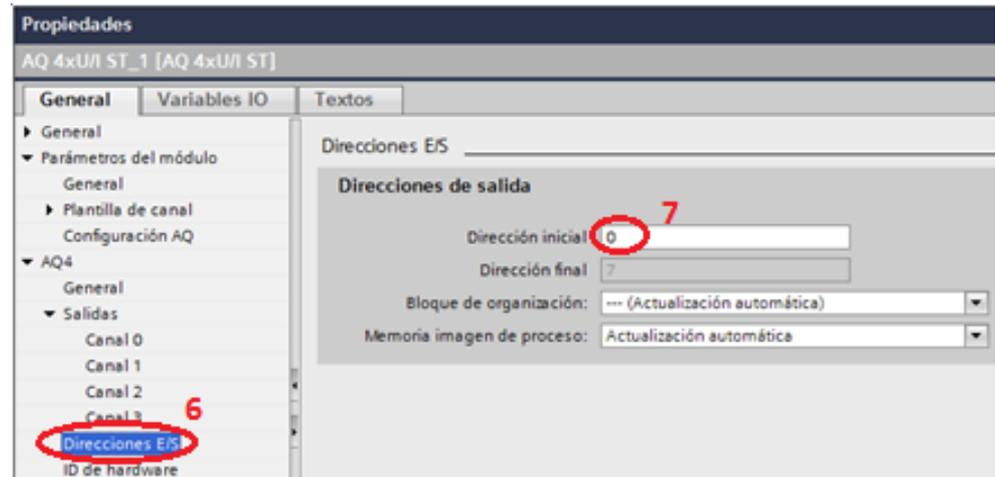
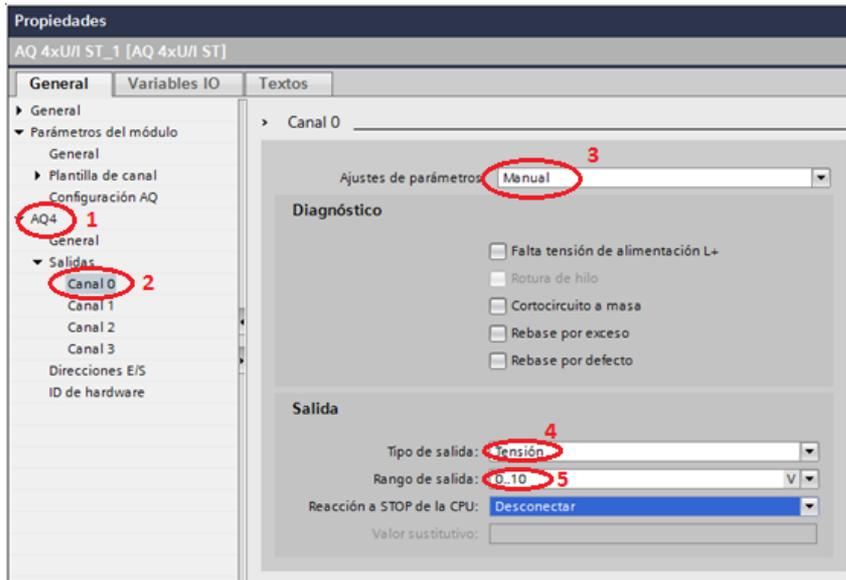
Display del PLC, indica
La IP de la CPU



Seleccionamos la IP de PLC que vamos a programar

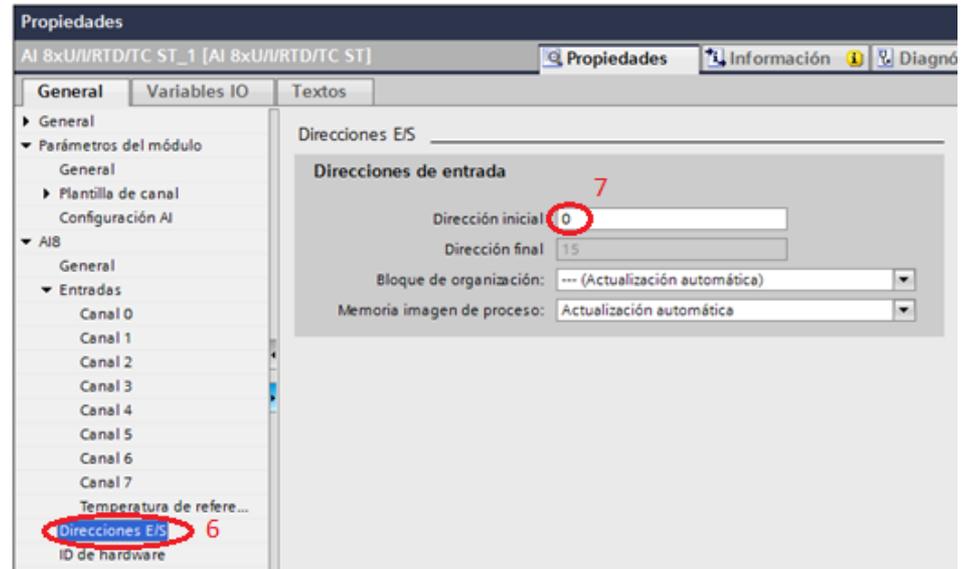
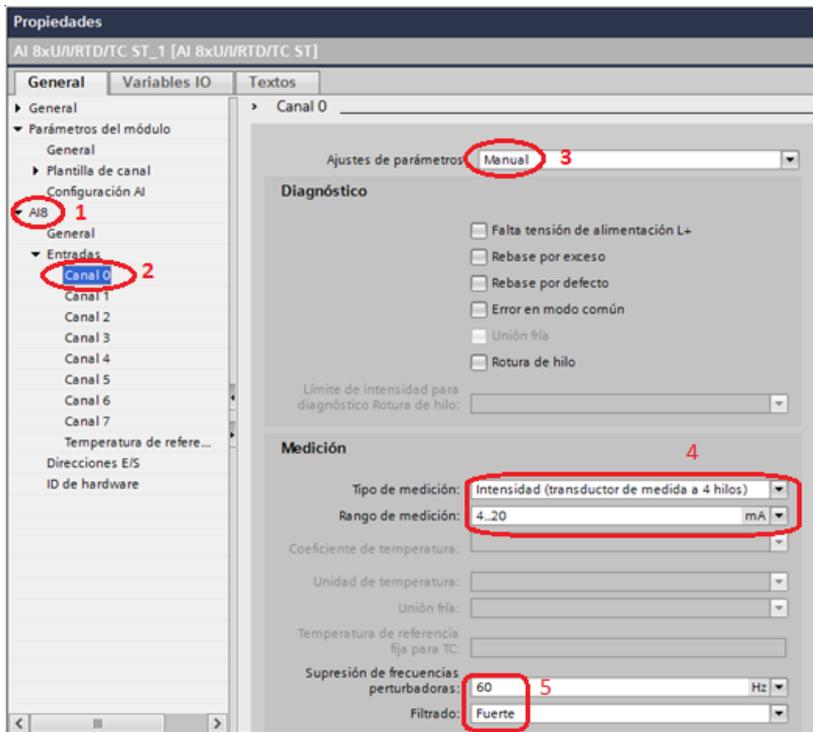
Configuración y programación del PLC

Configuración del módulo de salidas analógicas



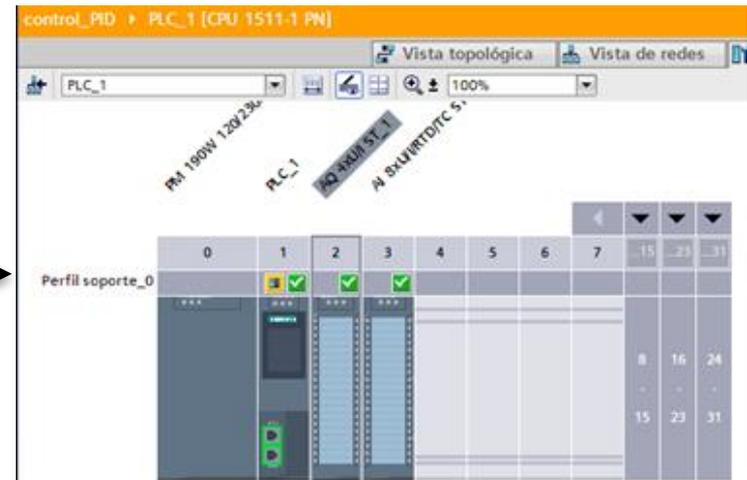
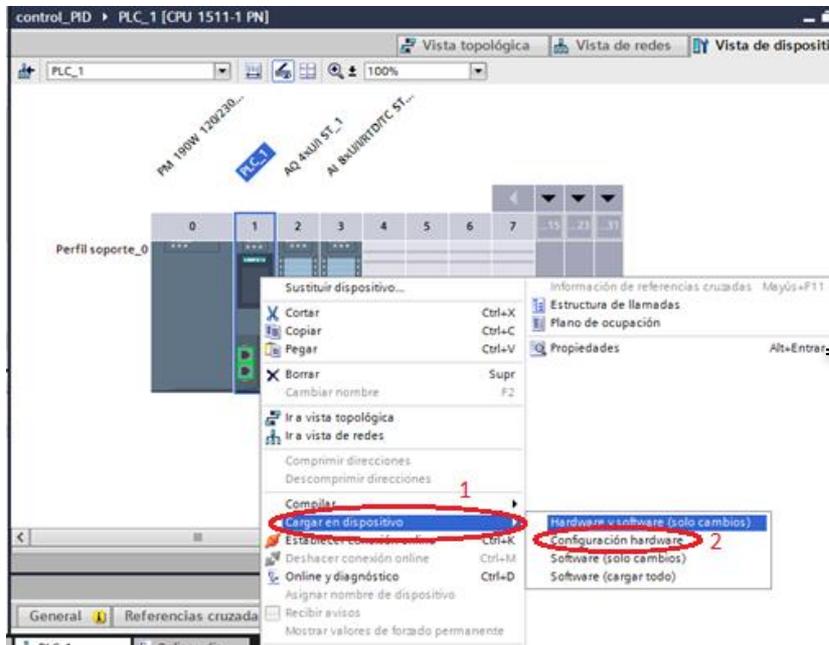
Configuración y programación del PLC

Configuración del módulo de entradas analógicas



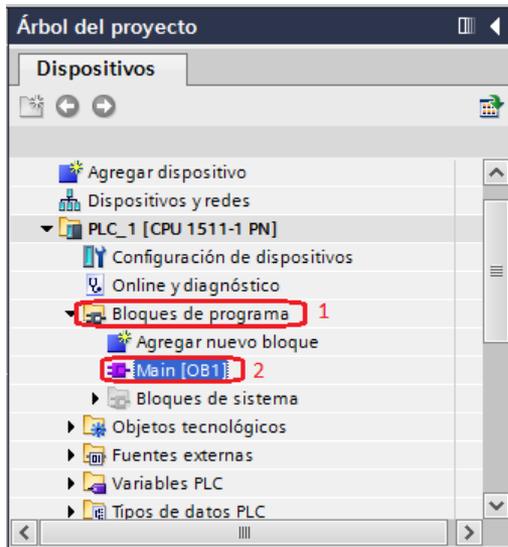
Configuración y programación del PLC

Carga de la configuración del PLC

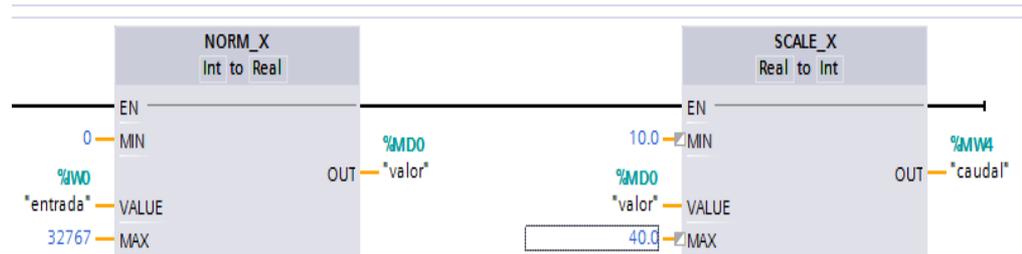


PLC configurado correctamente

Configuración y programación del PLC

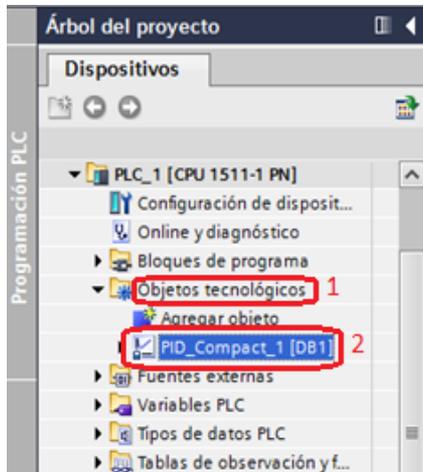


Agregamos un bloque de programa

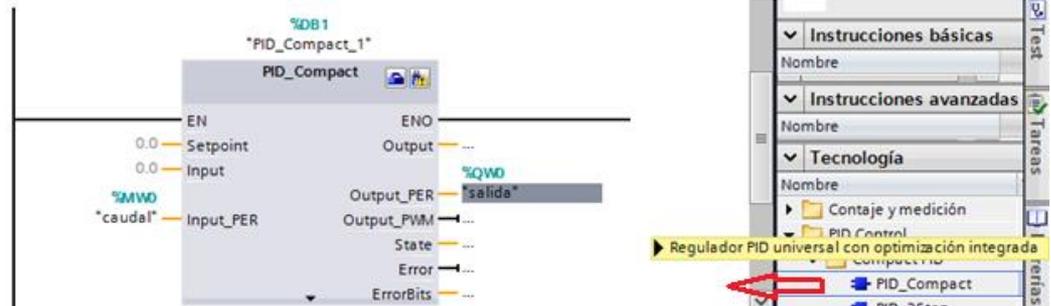


VARIABLE	TIPO	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
"entrada"	Int	%IWO	Variable que recibe el dato de entrada de entrada de corriente.
"valor"	Real	%MD0	Variable normalizada para ser escalada.
"caudal"	Int	%MW4	Variable escalada de 10 a 40 LPM

Configuración y programación del PLC

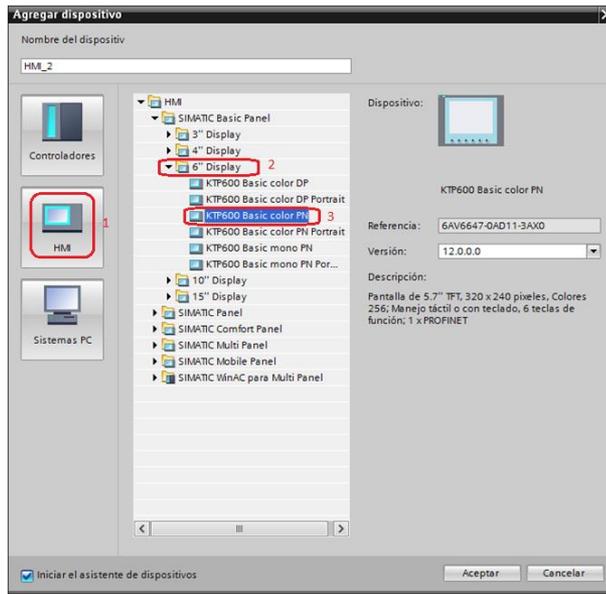


Creación del objeto teológico PID

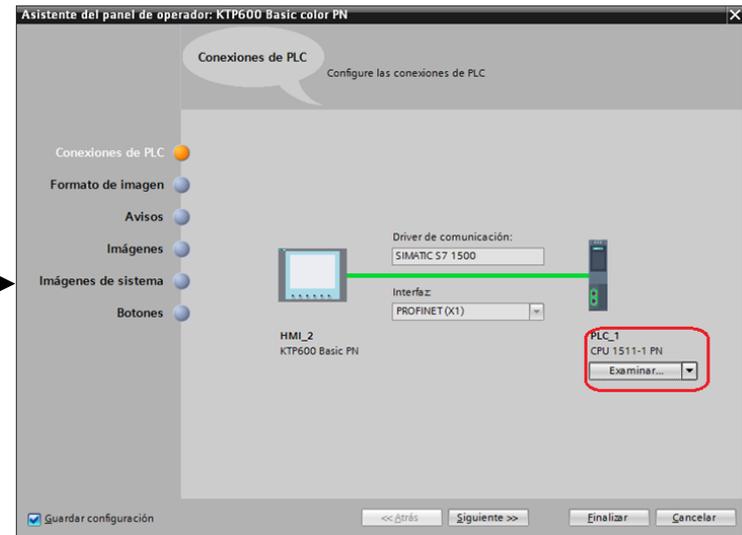


VARIABLE	TIPO	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
"salida"	Int	%QW0	Variable de asignación a la salida del canal cero del modulo de salida analógica (0-10V)

Configuración y programación de la TOUCH PANEL



Agregamos Nuevo dispositivo desde nuestro arbol del proyecto seleccionamos el tipo de pantalla TOUCH.

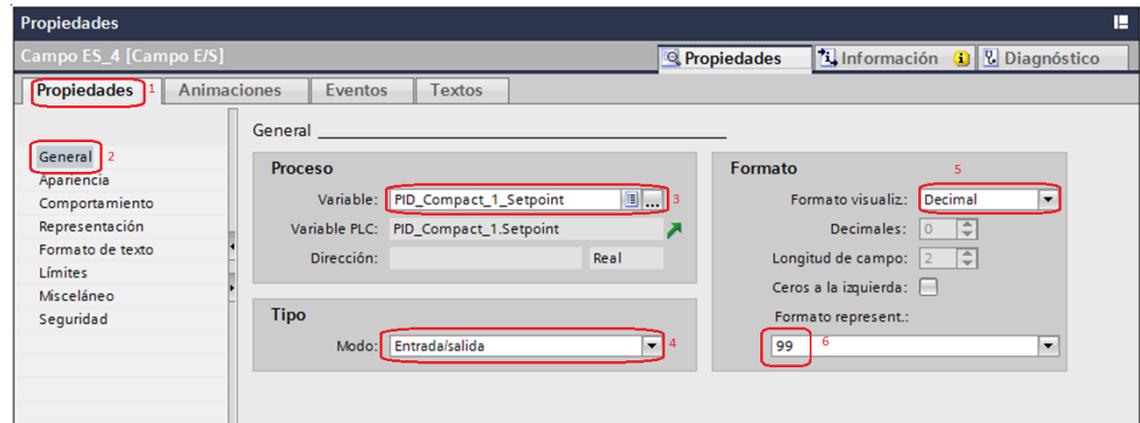
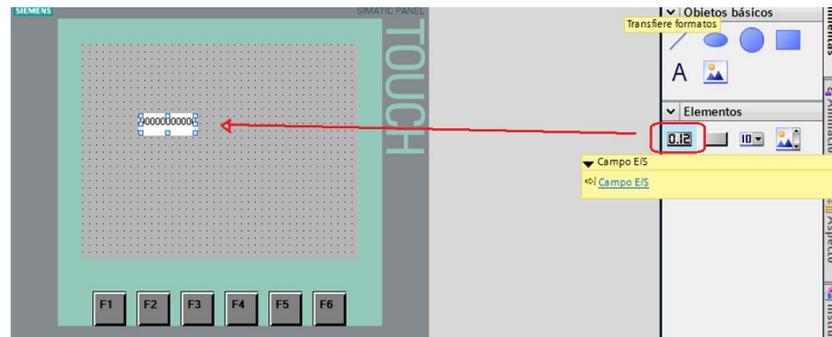


Seleccionamos el tipo de CPU con el cual se va conectar nuestra pantalla TOUCH

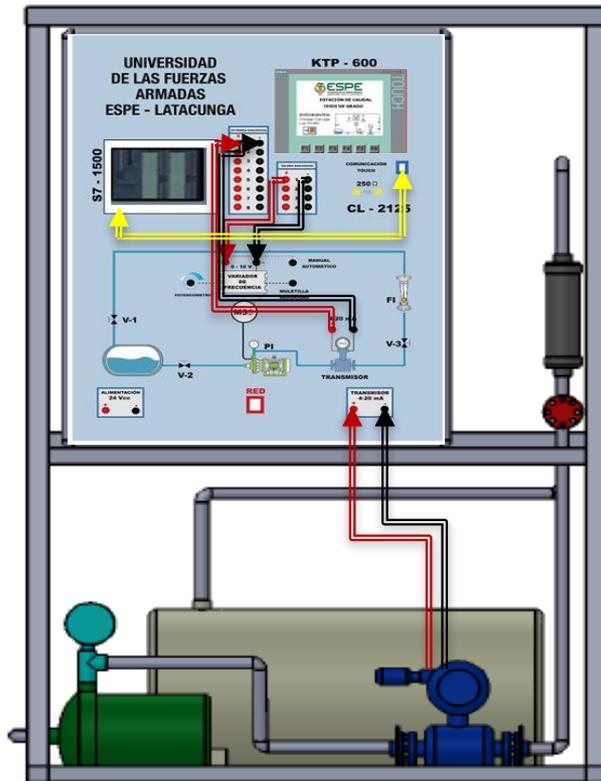
Configuración y programación de la TOUCH PANEL

Enlace de una variable desde la TOUCH con el PLC

Para configurar este elemento nos dirigimos a las propiedades, procedemos a ubicarnos en propiedades generales, en donde vamos a editar si dejamos que el elemento sea solo de entrada, solo de salida, o las dos opciones. Además se le asigna la variable del PLC con la que va a interactuar en este ejemplo realizaremos del Setpoint



CONEXIÓN EXTERNA DE LA ESTACIÓN



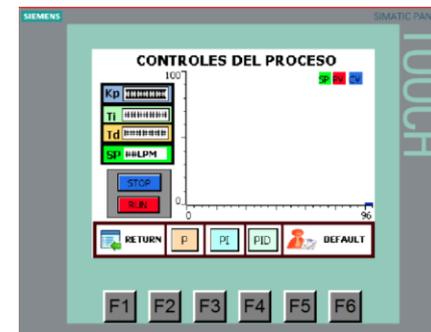
Para arrancar el funcionamiento de la estación es necesario realizar todas las conexiones eléctricas en el modulo.

CONTROL P,PI Y PID DEL SISTEMA

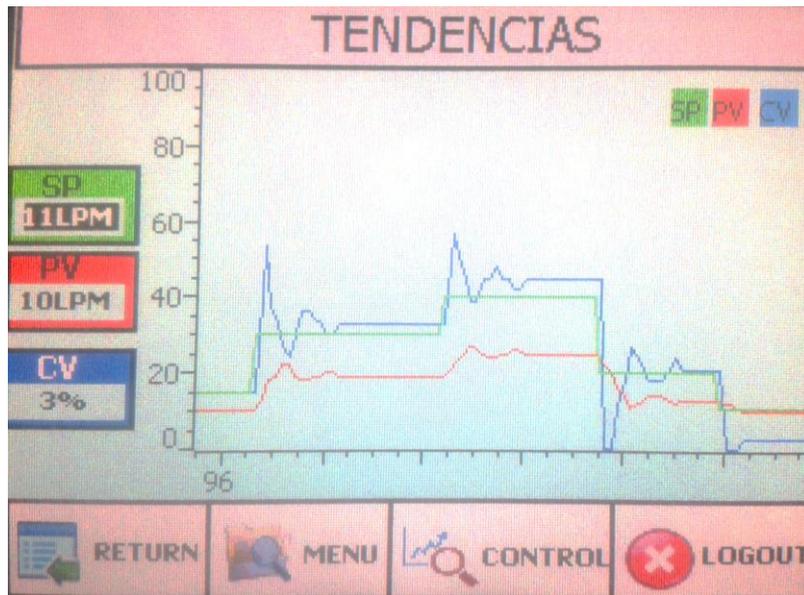
Para empezar a usar ya los controles de la estación se inicia sesión como “administrador” para asignar un control y seleccionar un Setpoint .

En el Menú del HMI, la opción CONTROL permite seleccionar que control deseamos para el proceso por defecto siempre empieza el PID, el usuario “administrador” puede cambiar las constantes de sintonía o seleccionar otro control.

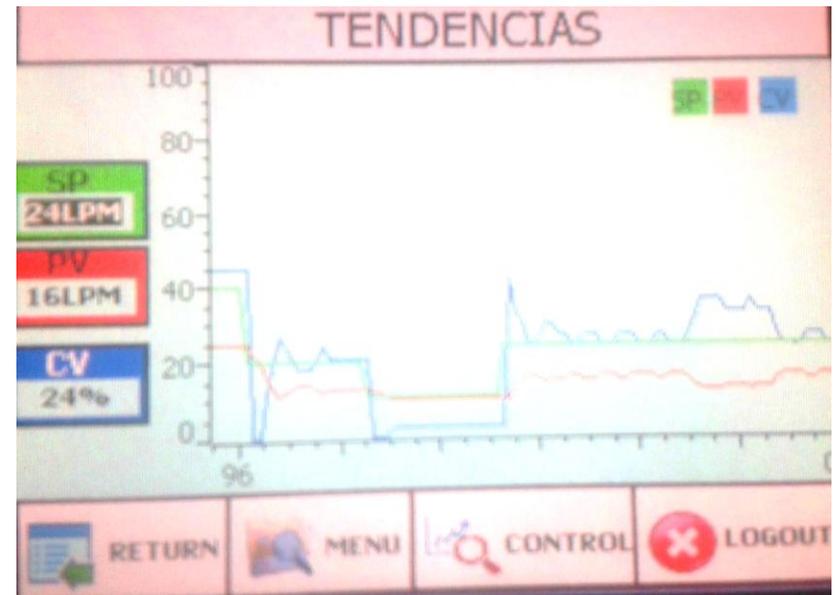
MENU DEL HMI



Control P

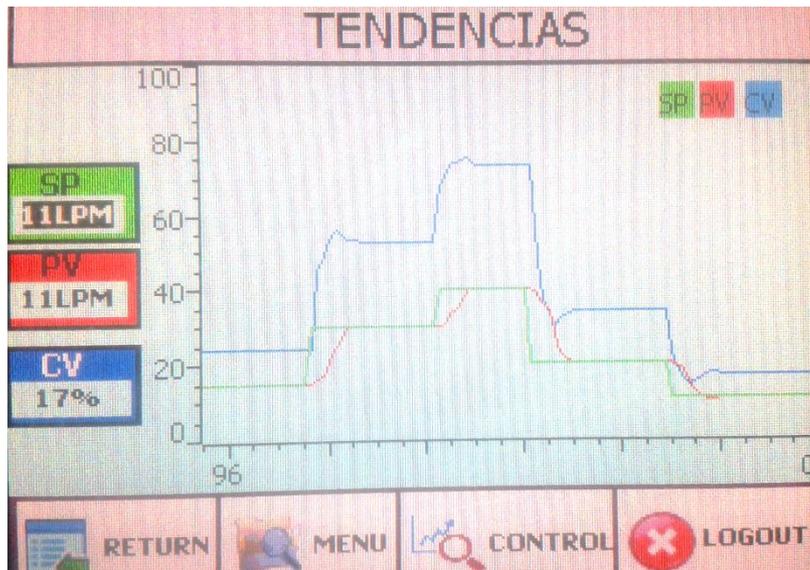


Como se observa en la grafica el control proporcional no llega al setpoint y presenta oscilaciones en el sistema

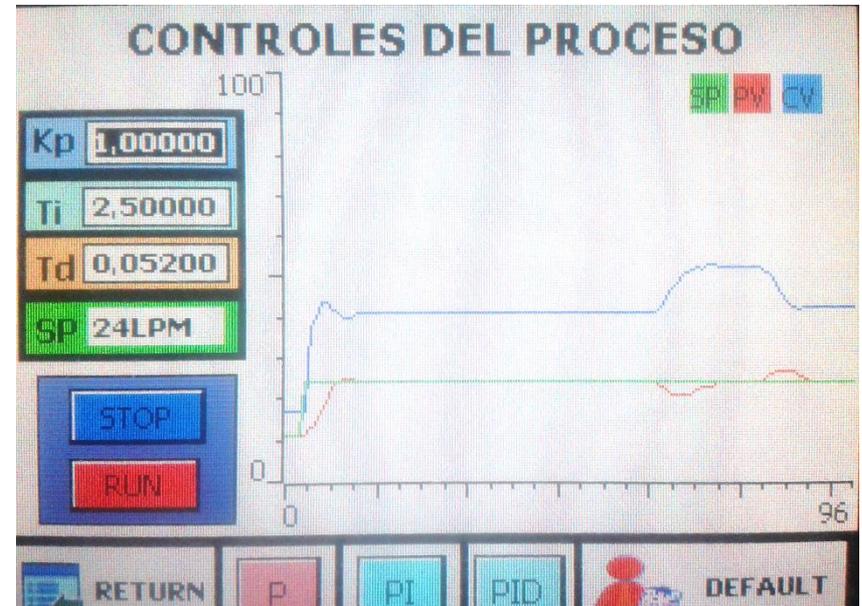


Cuando se le aplica una perturbacion al Sistema este lo compensa pero de igual manera de forma lenta y con oscilaciones

Control PI

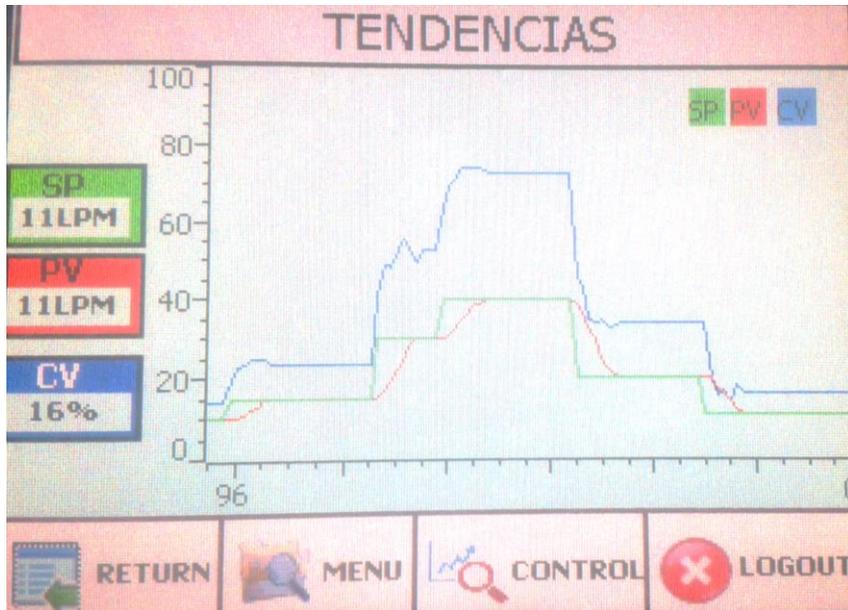


En la gráfica se ve como el control PI actúa rápido y estabilizando al sistema, presenta un sobre impulso pequeño.



Ante perturbaciones el Sistema se estabiliza de manera rápida y estable.

CONTROL PID



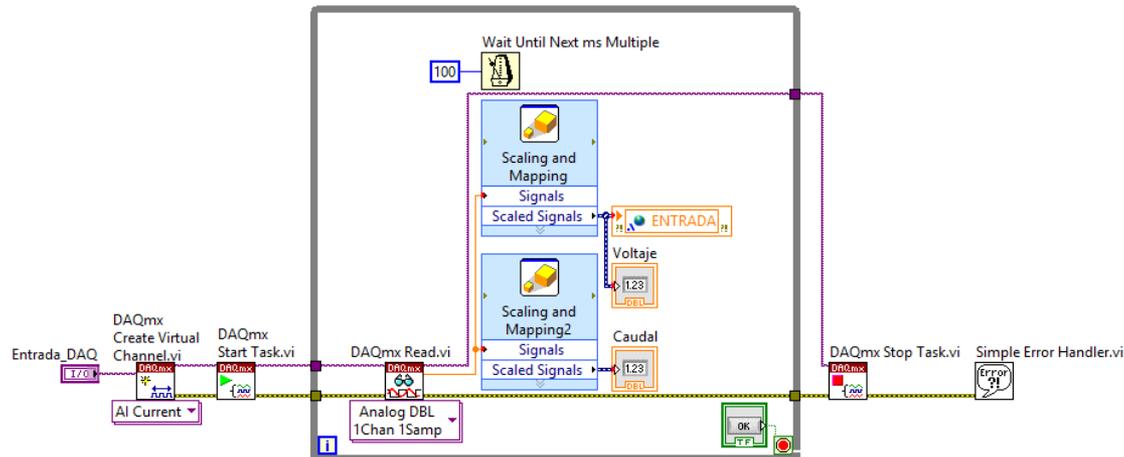
El control PID reacciona de buena manera ante cambios de setpoint estabilizando el Sistema y sin generar oscilaciones además el CV es muy Bueno y no posee cambio bruscos.



Reacción del control ante una perturbación realizada en la tubería, como podemos observar el controlador compensa y lo estabiliza en el SP deseado de manera rápida y sin sobre impulsos

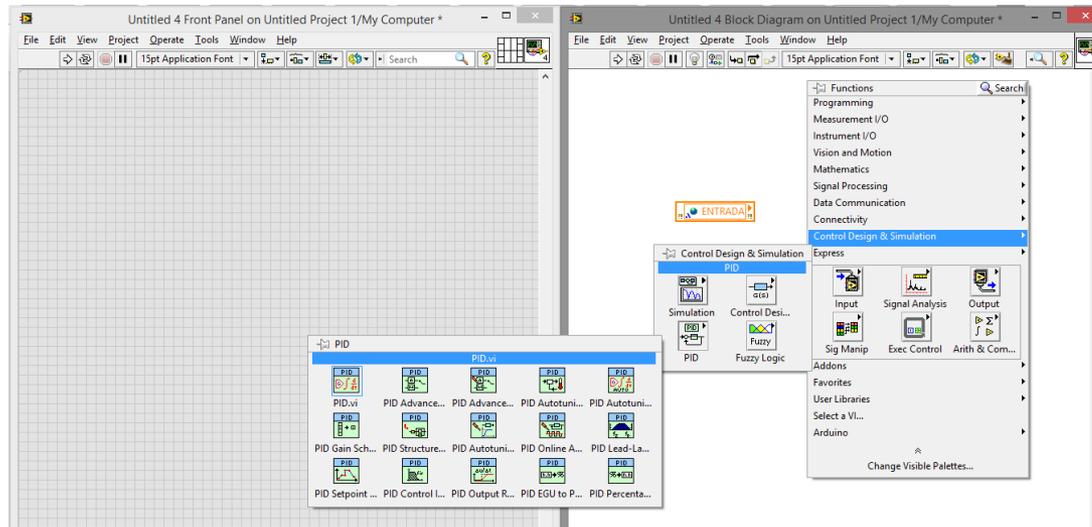
Controles en Labview

- Para realizar los controles es necesario la obtención del valor que entrega el transmisor ROSEMOUNT, para esto nos valemos de los bloques presentes en el software LABVIEW para que mediante la NI MYDAQ

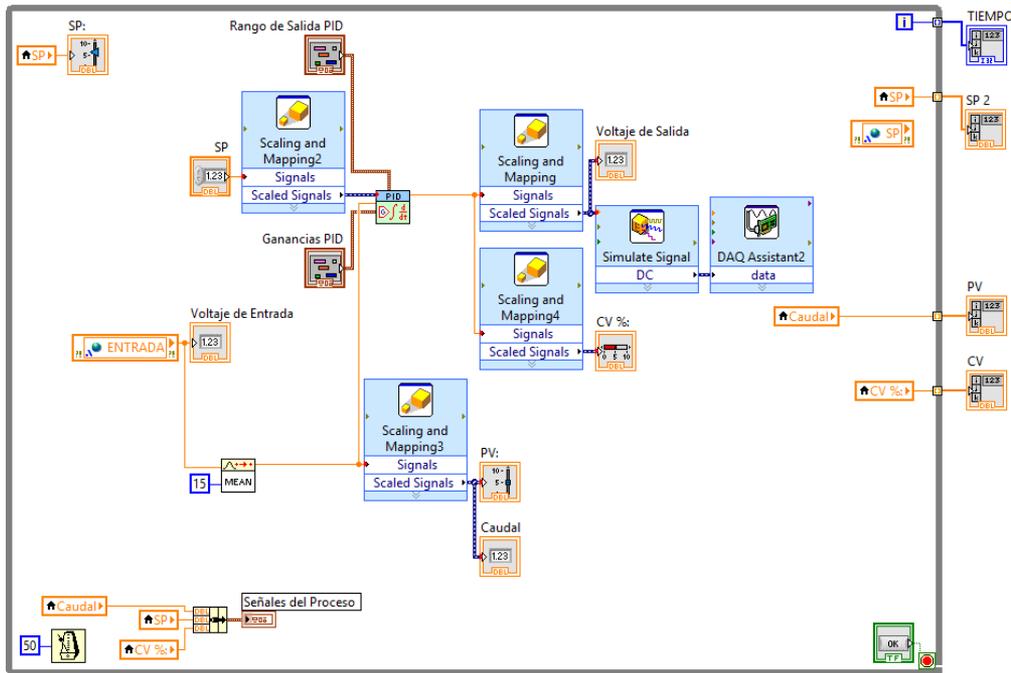


Control PID

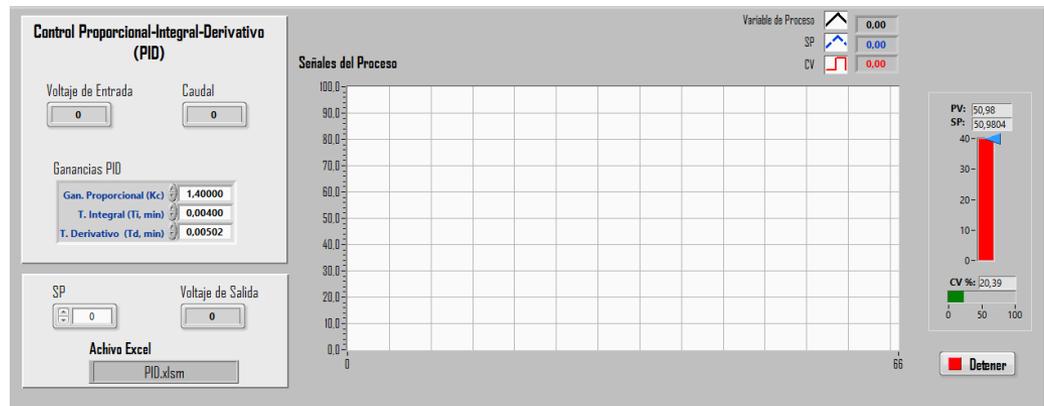
- Para implementar el controlador clásico nos valemos del toolkit “Control Design & Simulation” donde posee el bloque PID.



Programa PID e Interfaz

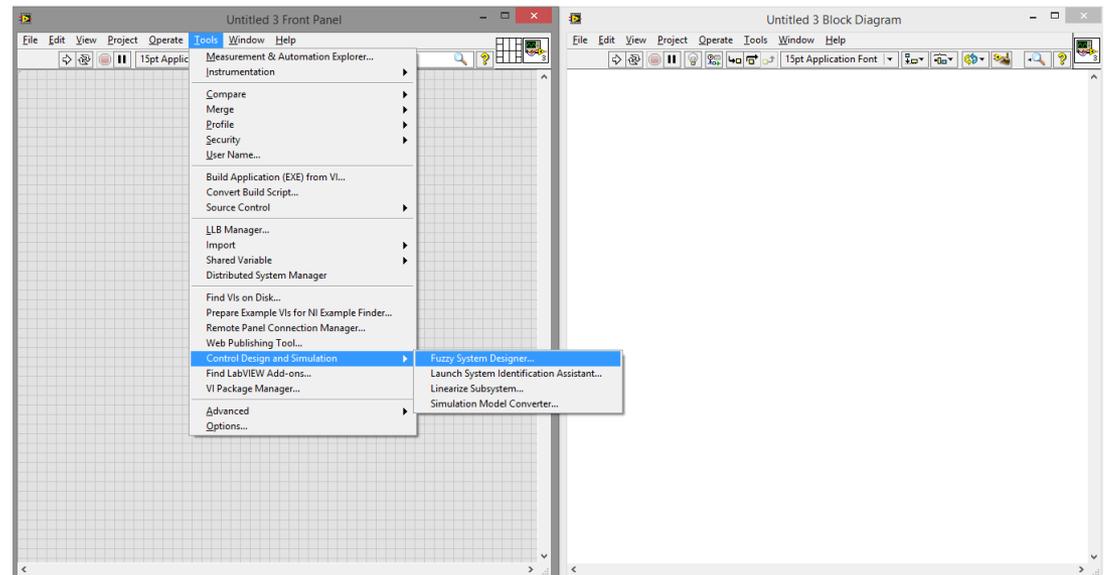


Constante	Valor	Dimensión
KP	1,4	[adim]
Ti	0.004	[min]
Td	0.00502	[min]

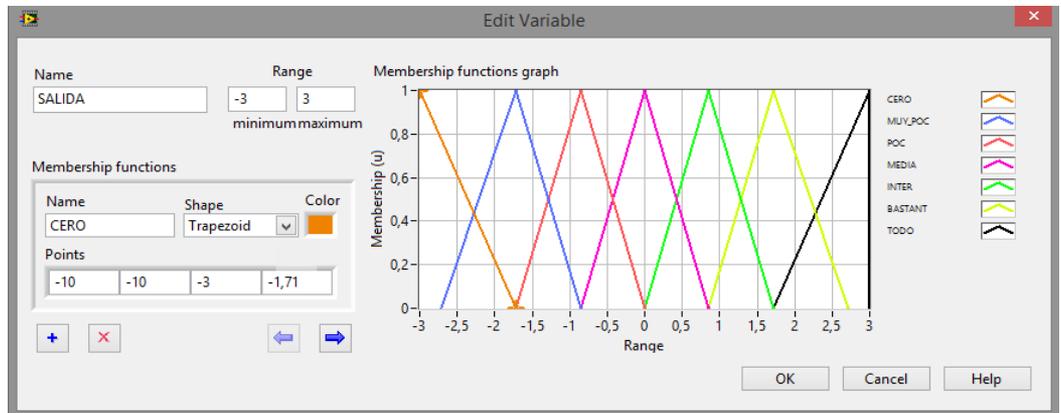
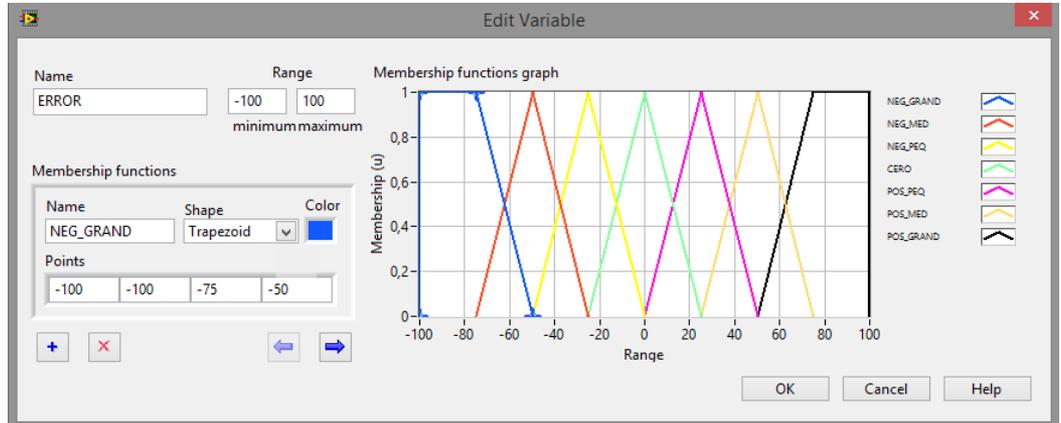
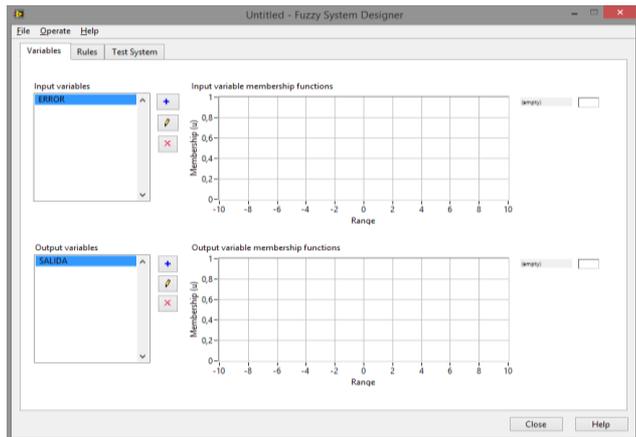


Control DIFUSO

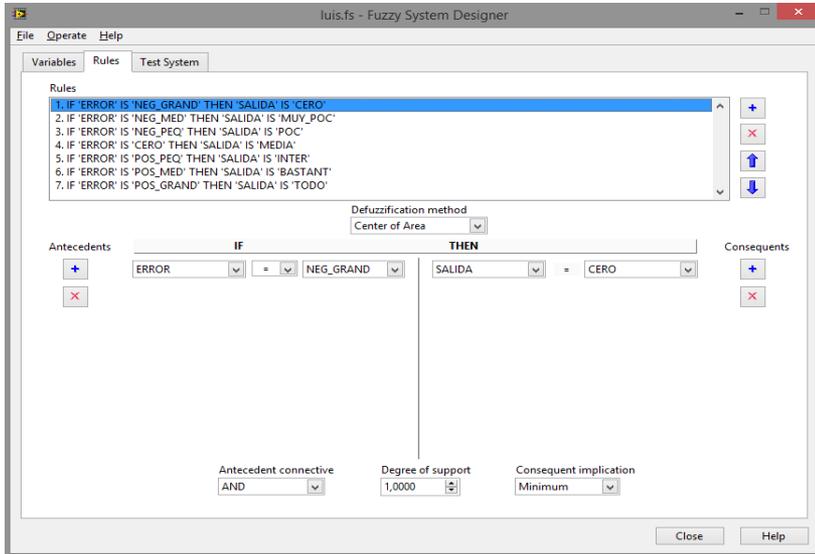
- Para el controlador es necesario primero crear, los conjuntos difusos con sus reglas.
- Hacer clic en la opción “Fuzzy System Designer” que se encuentra dentro la opción “Tools”, para abrir el asiste del controlador.



- En el asistente del controlador Difuso, permite ingresar las entradas y salidas de la estrategia de control, así como los conjuntos y reglas difusas

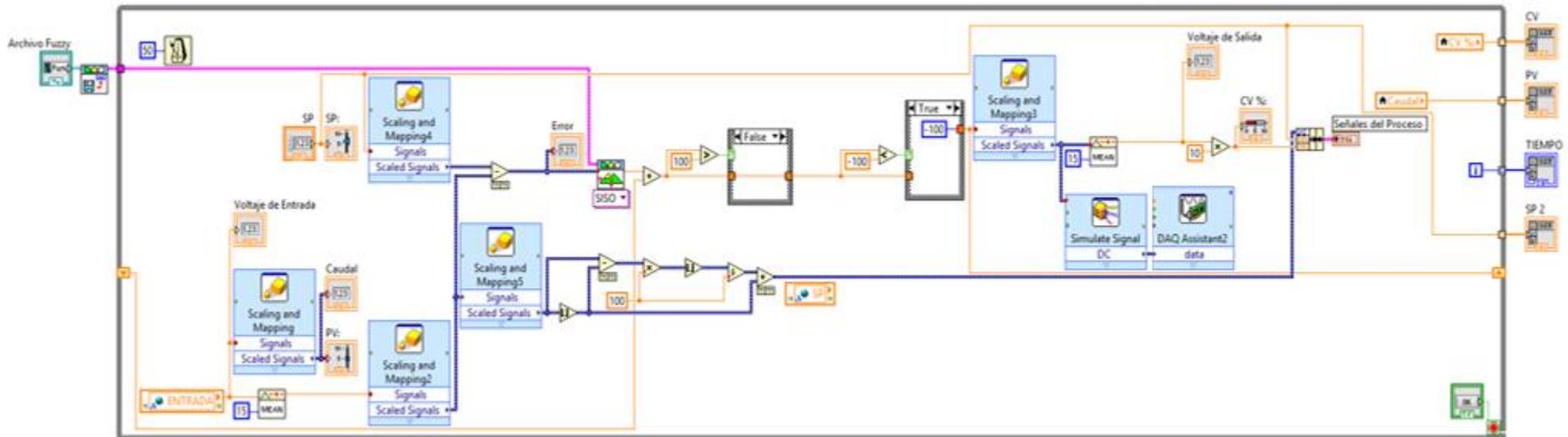
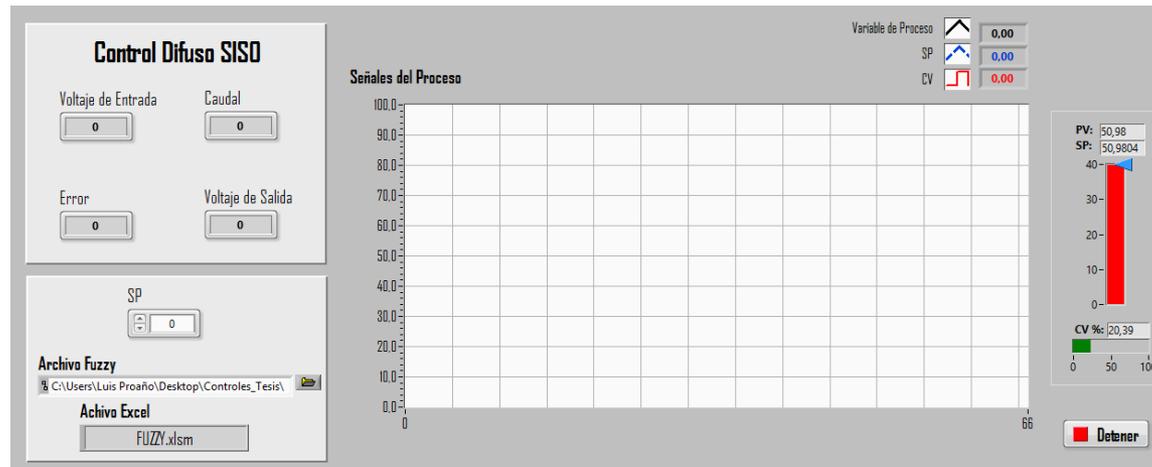


- Se ingresa la base de reglas, el método de defuzzificación se seleccionó por centro de Área



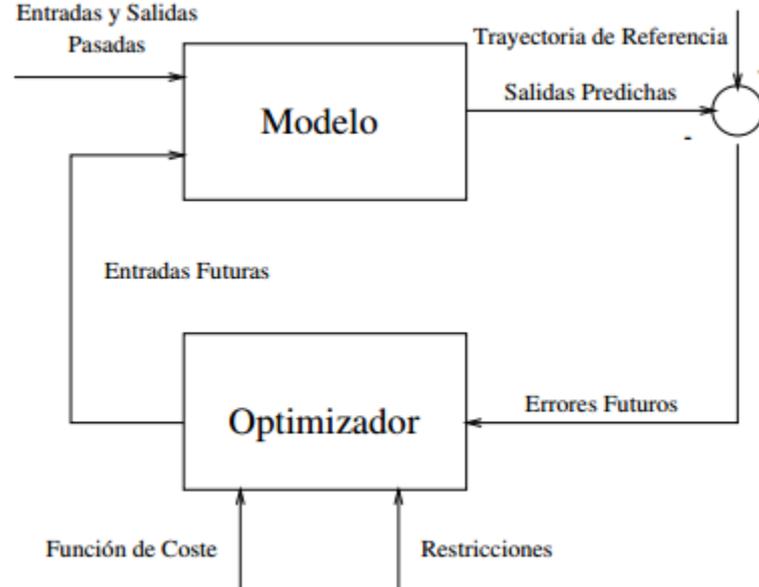
	SALIDA	CERO	MUY_P	POC	MEDIA	INTER	BAST	TODO
ERROR								
NEG_G	X							
NEG_M		X						
NEG_P			X					
CERO				X				
POS_P					X			
POS_M						X		
POS_G								X

Programa DIFUSO e Interfaz



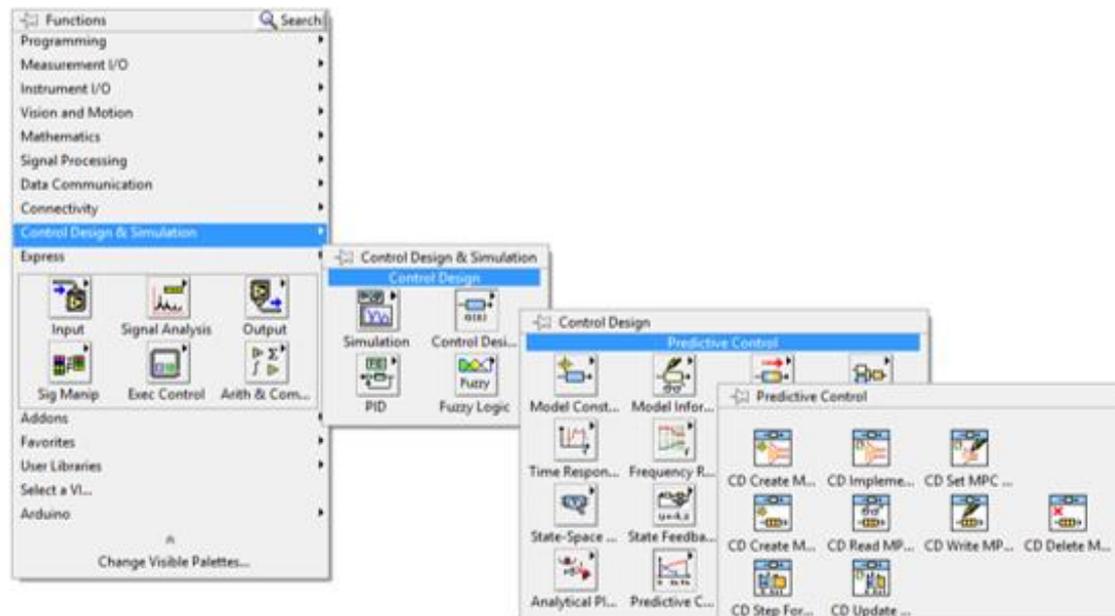
Control PREDICTIVO

- Para esta estrategia de control necesitamos de la matriz de estados previamente obtenido

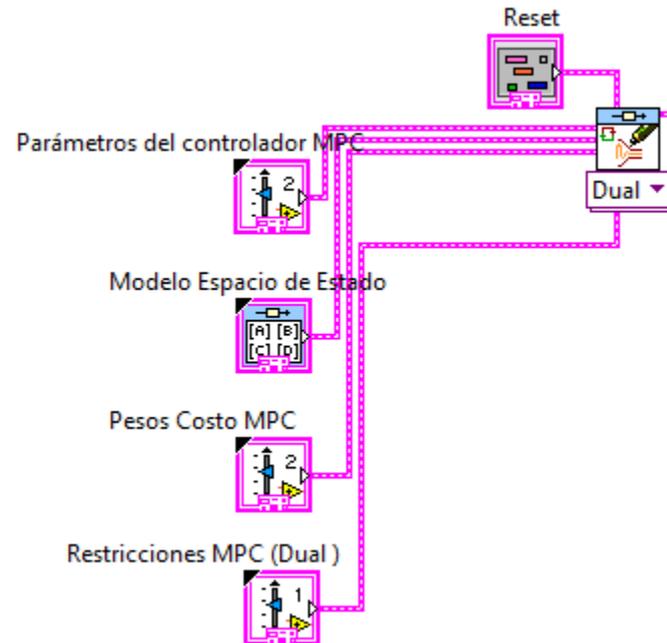


Ingreso de la Matriz de estados en el software LABVIEW

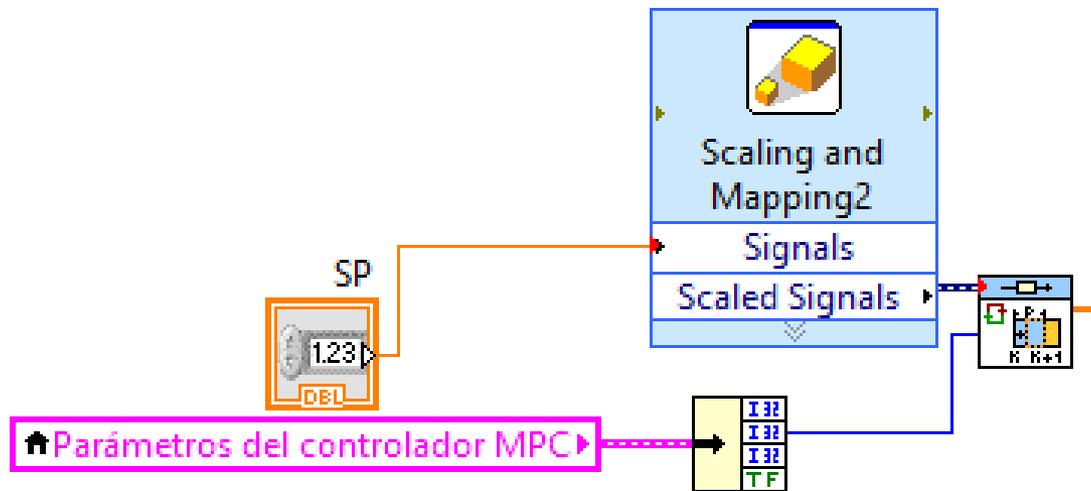
- Para utilizar los bloques del controlador MPC es necesario poseer el toolkit de Control Design & Simulation



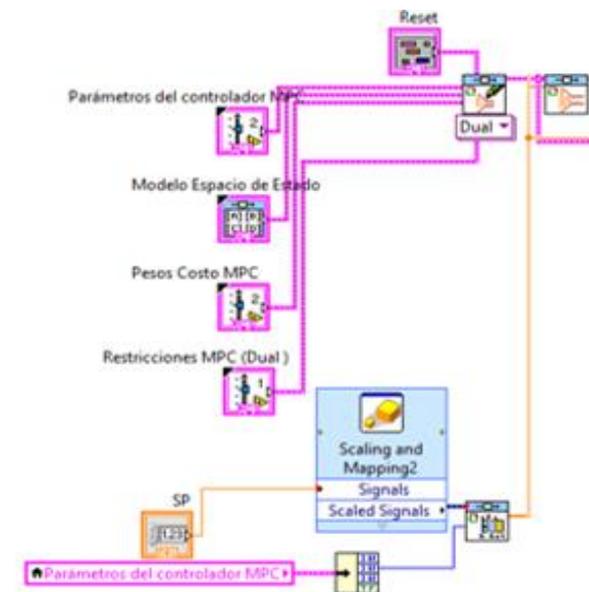
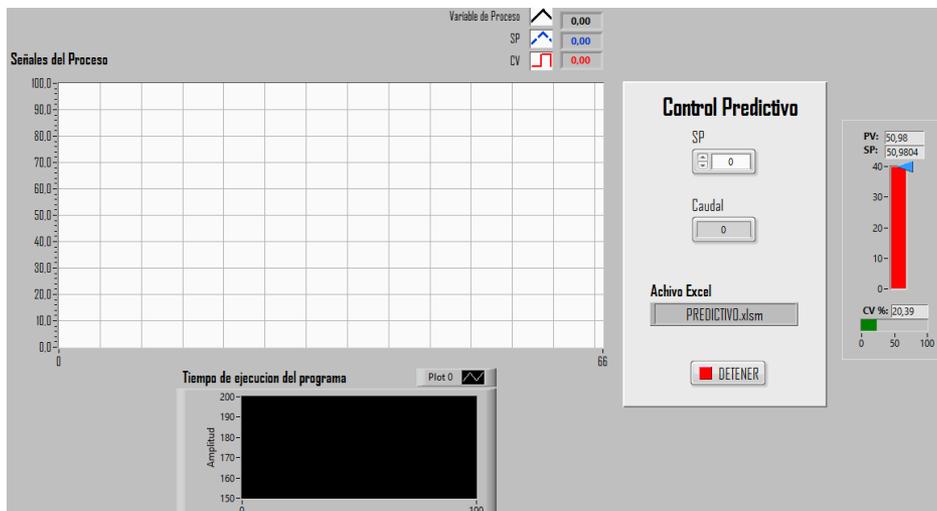
- Para el ingreso de los datos necesarios del controlador necesitamos el bloque Set MPC Controller



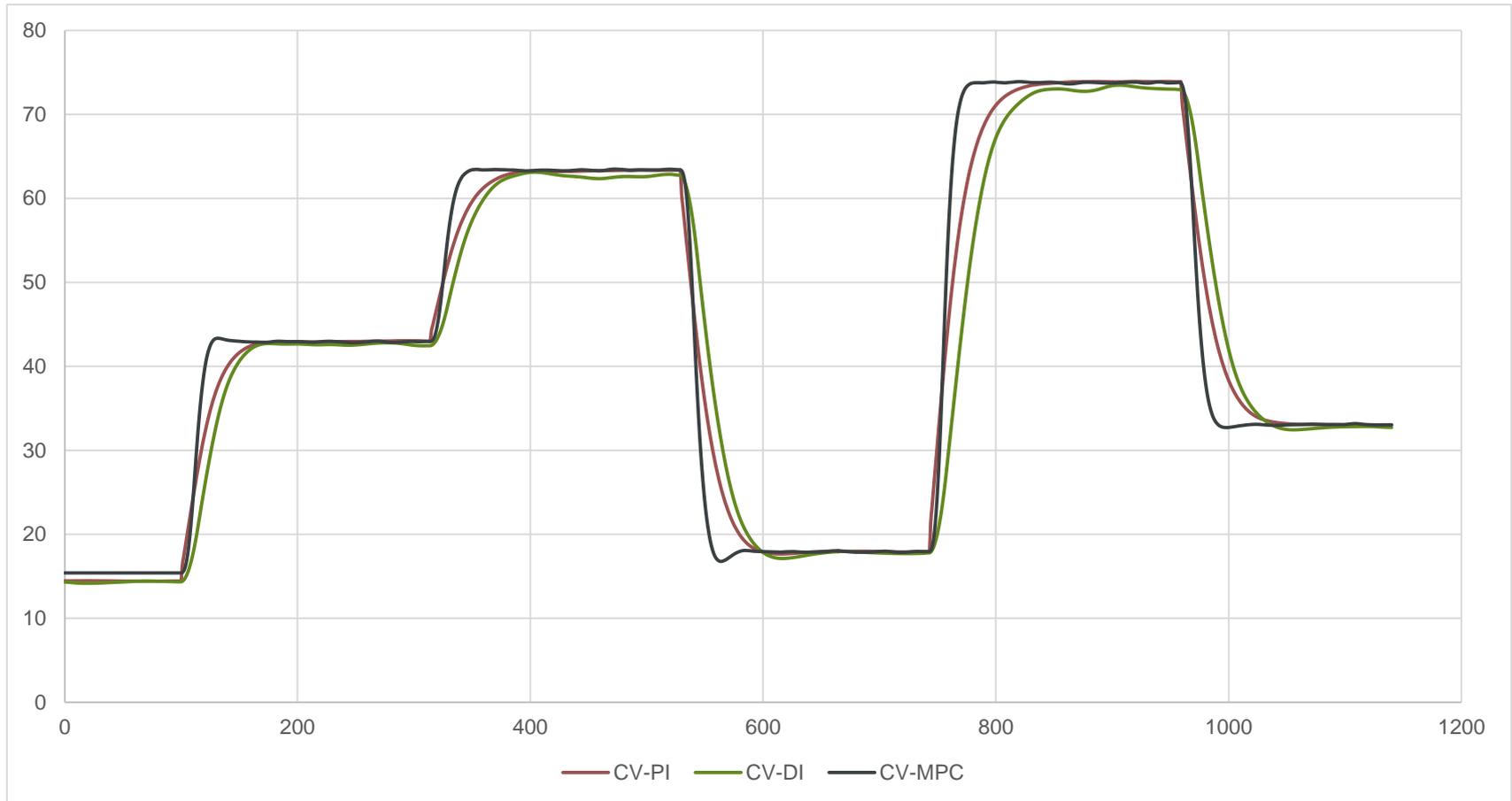
- Para el ingreso del Set Point es necesario otra herramienta Update MPC Window presente el LABVIEW



- El encargado de realizar la optimización es la herramienta Implement MPC Controller.



Análisis de Controladores, Variable de Control



Análisis, variable de proceso

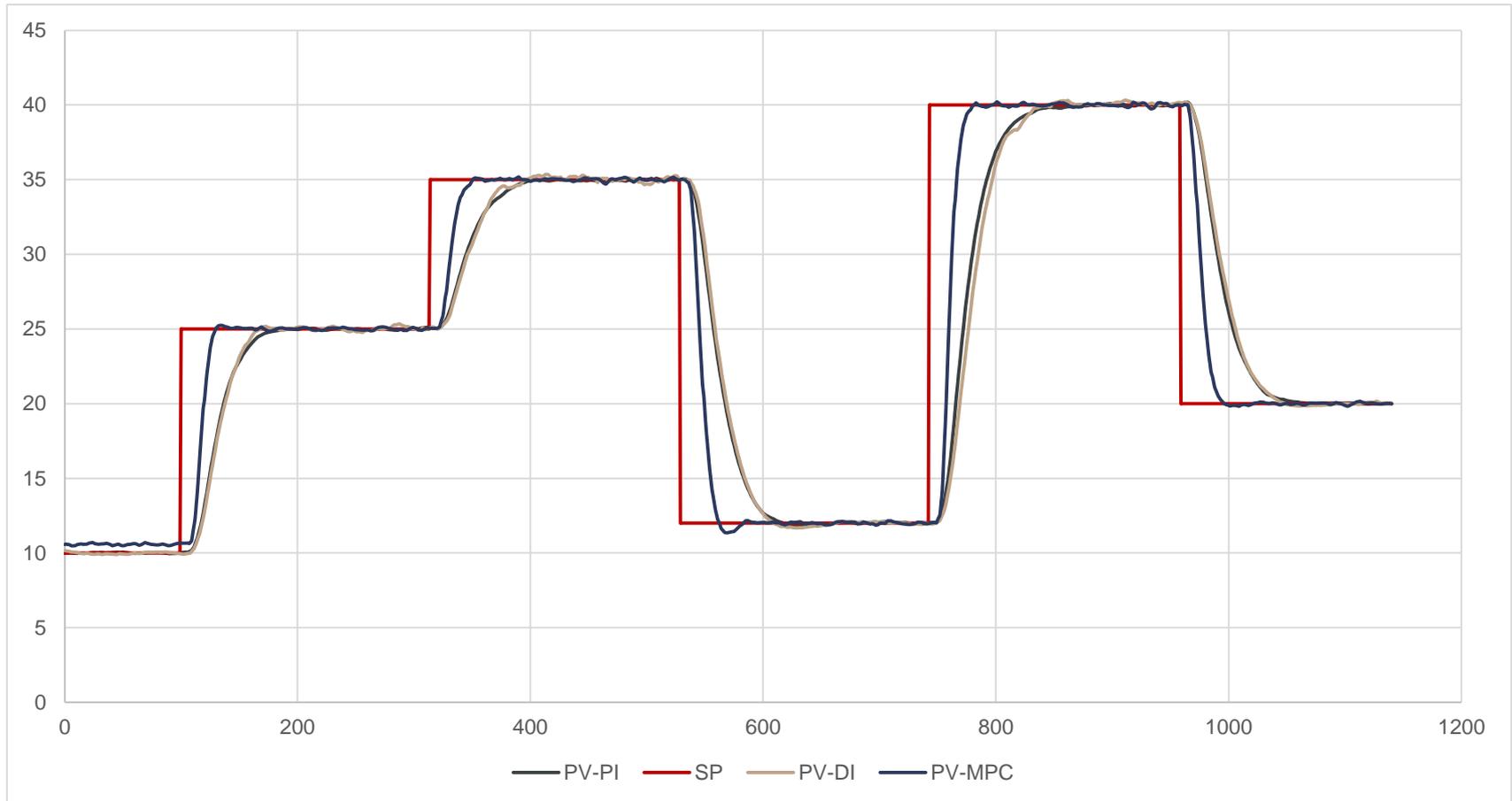


Tabla de comparación

Descripción	Consigna LPM	PID	DIFUSO	PREDICTIVO
Sobre impulso	Todas	Mínimo	Mínimo	Presenta sobre impulso a cambios bruscos de consigna Ejm: Rango de 35 a 12
T. elevación	10 – 25	10,8 seg	9,6 seg	3,8 seg
	25 – 35	12,9 seg	12,6 seg	5,8 seg
	35 – 12	13,6 seg	12,4 seg	5,1 seg
	12 – 40	16,2 seg	15,3 seg	7,3 seg
	40 – 20	13,5 seg	12,4 seg	5,1 seg
T. Asentamiento	Todas	Con las constantes definidas el tiempo se asentamiento es el más lento	Con los conjuntos difusos se obtiene un tiempo de asentamiento mayor del PID pero menor al MPC	Presenta el mejor tiempo de asentamiento de los tres controles.
Oscilaciones	Todas	oscilaciones mínimas	oscilaciones mínimas	Presenta oscilaciones mínimas, pero en valores de consigna de 10 y 40 el control sufre un número mayor de oscilaciones

ALCANCES

- En el proceso de implementación, análisis y funcionamiento de la estación de caudal se determinó los siguientes alcances: Estación de caudal El módulo permite visualizar cómo se comporta la variable del proceso caudal (PV) entregando información requerida por los usuarios gracias al HMI desarrollado en la TOUCH PANEL.
- Esta estación de caudal permite hacer una red de procesos ya que el PLC cuenta con dos puertos Ethernet para la comunicación.
- Se puede cambiar el tipo de control solamente cambiando las constantes K_p , T_i , T_d , incluso también el cambio de estopín y poner el PLC en modo run o stop, desde la TOUCH PANEL.
- Permite medir una variable analógica dentro del rango de 4-20mA gracias al módulo del PLC también es capaz de generar una salida variable desde los cero (0V) voltios hasta los diez voltios (10V). • Mide la cantidad de agua que recircula por la estación a través de un transmisor bridado ubicado en la parte inferior del módulo.
- El transmisor es un transductor a hilos ya que podemos alimentarlo con 120Vac y una salida de 4-20 mA
- Posee un instrumento de vidrio “rotámetro” ubicado en la parte superior de la estación, permite visualizar la medida del caudal que circula por la tubería.

Limitaciones

- De igual manera el modulo posee limitaciones que detallaremos a continuación:
- No puede trabajar con una alimentación monofásica de 120 Vac, ya que el variador requiere una alimentación de 220 Vac controlar una bomba trifásica.
- El variador de frecuencia no trabaja a toda la frecuencia de la red que la tubería no soporta mucho caudal por la misma, por eso solamente se programó que varíe la frecuencia hasta 60 Hz.
- No permite el cierre completo de las válvulas del sistema ya que se puede dañar la bomba.

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado un módulo que permite el monitoreo y control automático de la variable flujo, apoyados en los conocimientos obtenidos durante la formación académica como profesionales de la carrera.
- El software TIA V12 permite realizar la configuración, administración y programación del PLC S7-1500 y la TOUCH PANEL KTP600, bajo la misma plataforma de programación brindando un entorno fácil e intuitivo con lo cual llega a ser un software con gran flexibilidad.
- El PLC S7-1500 permite realizar de una manera eficaz las distintas estrategias de control para la variable caudal, puesto que es un PLC de nueva generación con herramientas propias para el control tanto tradicional como de Motion Control, además el Autómata permite realizar un modo de control específico con solo anular las acciones reguladoras.
- El módulo didáctico permite la evaluación mediante el PLC de los controles Tradicionales P, PI y PID, y con la NI MYAQ se pudo realizar la comparación entre controles PID, Difuso y Predictivo.

CONCLUSIONES

- El control PID y Difuso no varían mucho en sistemas lineales, pero existe una mayor velocidad en el control tradicional tanto al cambio de la consigna ascendente y descendente, con presencia de sobre impulso de 2 LPM, pero que también está presente en el control difuso de 1 LPM a la bajada y subida.
- El control predictivo cumple con su función pero no de una manera óptima puesto que los tiempos de ejecución en la toma de datos con la NY MYDAQ son altos generando así sobre impulsos y que la respuesta sea lenta frente a cambios de consigna.
- La instalación de la brida se realizó de manera correcta sin presentar filtraciones en la tubería, se acoplo de manera apropiada hacia el transmisor sin causar daños o averías en el mismo, gracias los estándares ASME/ANSI B16.5 y el estándar ASME/ANSI B16.47.
- Se realizó el control automático de la variable caudal por medio de diferentes tipos de controles, realizados en el PLC y en la PC con el software LabView. Con los controles realizados el CV no llega al 100% ya que la bomba abastece para un caudal mayor, al que se está trabajando.

Recomendaciones

- Antes de la manipulación tanto del Autómata como de sus accesorios es necesario leer detenidamente el manual con el objetivo de conocer todos los recursos que este posea y evitar un mal funcionamiento o daños al módulo.
- Se recomienda utilizar elementos industriales para la instalación eléctrica puesto que poseen normas de seguridad que permitirán la protección a elementos más delicados de la conexión
- Tener en cuenta que el transmisor ROSEMOUNT 8732E es a cuatro Hilos por lo cual sus conexiones deben ser revisadas en el manual de usuario
- Al realizar la conexión entre el PLC, la TOUCH y el ordenador es necesario que las IP asignadas no se repitan puesto que al existir una similar no se podrá realizar el enlace.
- Verificar mediante el símbolo del sistema del ordenador, que los elementos estén conectados mediante la instrucción PING y la IP que se le haya asignado al elemento de conexión.

Recomendaciones

- Verificar la versión de firmware tanto de la CPU del PLC como de los módulos de Entrada y Salida analógico, en caso contrario el software TIA no reconocerá a los elementos conectados y el Autómata informará que existe un error.
- Seleccionar de manera correcta la tubería según el manual del transmisor, en caso contrario la lectura será errónea o se deberá configurar el ROSEMOUNT para la red que se coloque en el sistema.
- Para la implementación de los controles es necesario conocer en su totalidad el sistema, para ello se obtiene la función de transferencia y se debe realizar medidas tanto del transmisor como del voltaje que necesita el variador de frecuencia para asignar una frecuencia a la bomba centrífuga
- Configurar el transmisor ROSEMOUNT de acuerdo a parámetros que demanda la estación de caudal.
- Al momento de sintonizar el control PID mediante Matlab es necesario verificar estas constantes de forma práctica puesto que la función de transferencia que se obtiene no cumple con un 100 por ciento con los datos ingresados en el software.