



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN POSICIONADOR ELECTRONEUMÁTICO INTELIGENTE QUE GENERE EL DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE LA POSICIÓN DE UNA VÁLVULA PROPORCIONAL E INTEGRACIÓN A UNA RED INDUSTRIAL HART PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE LA VARIABLE NIVEL EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”**

**Realizado por:**

Paola Calvopiña O.  
Estefanía Serna V.

**Revisado por:**

**Director:** Ing. Edwin Pruna P.  
**Codirector:** Ing. Washington Freire Ll.



# AGENDA

**Objetivos**

**Descripción del sistema y sus componentes**

**Protocolo de comunicación Hart**

**Desarrollo del proyecto**

**Análisis de resultados**

**Conclusiones y recomendaciones**



# OBJETIVOS

Investigar las características y funcionamiento de los posicionadores electroneumáticos para controlar la posición del vástago de una válvula proporcional

Conocer la utilización, configuración y programación de equipos que trabajan con tecnología HART

Realizar pruebas con el módulo didáctico existente en el laboratorio para el control de nivel de agua.

Implementar el posicionador electro neumático inteligente DVC6200 en la válvula proporcional del módulo didáctico de control de nivel de agua.



# OBJETIVOS

Integrar el posicionador electroneumático a una red industrial HART para el diagnóstico de la válvula proporcional.

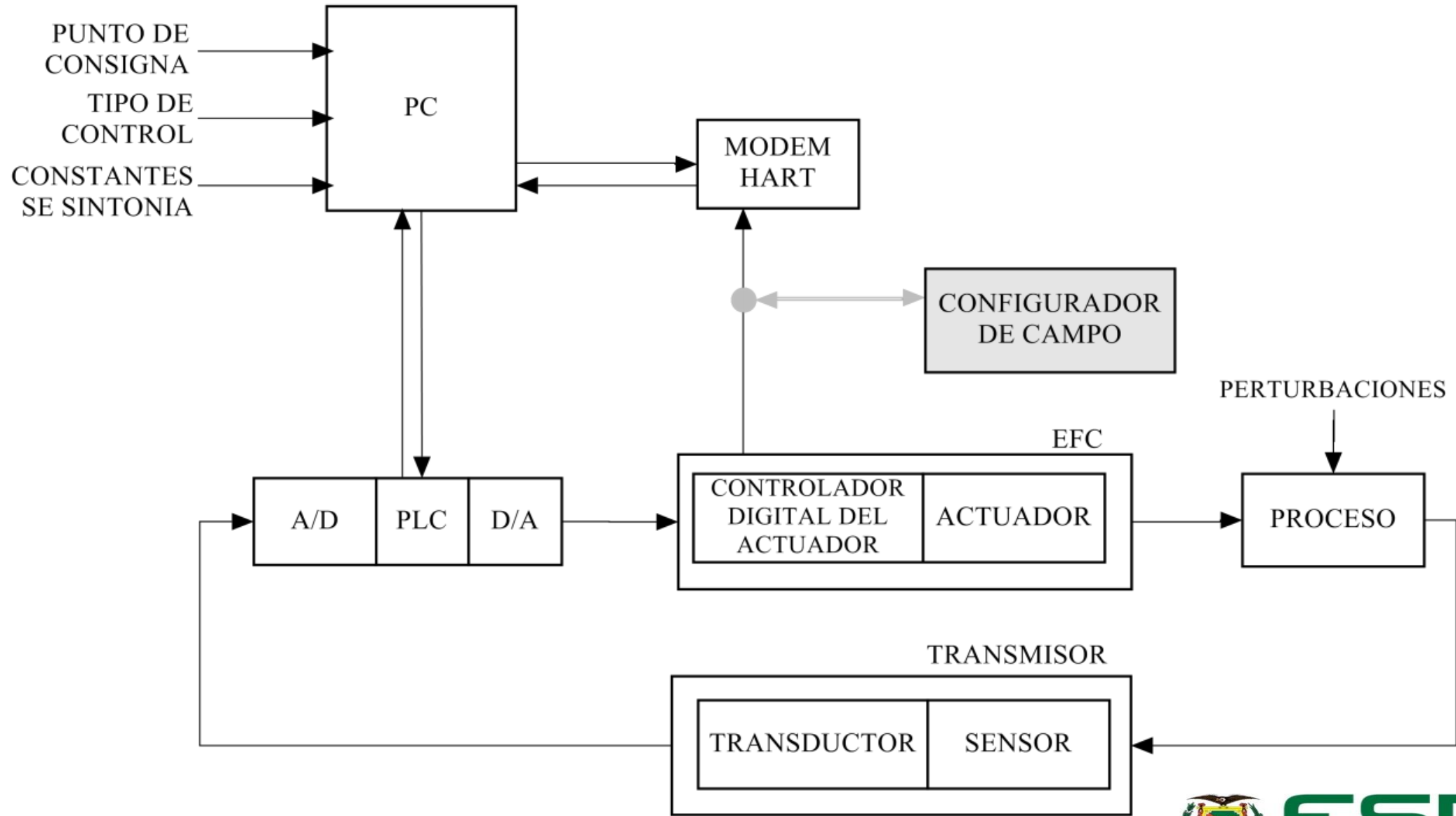
Realizar el control automático de la variable nivel.

Analizar las ventajas y desventajas de utilizar un posicionador para el control automático de la variable nivel.

Dotar de un manual de funcionamiento del posicionador electro neumático DVC6200



# Diagrama de bloques del sistema



# TRANSMISOR DE NIVEL TIPO RADAR

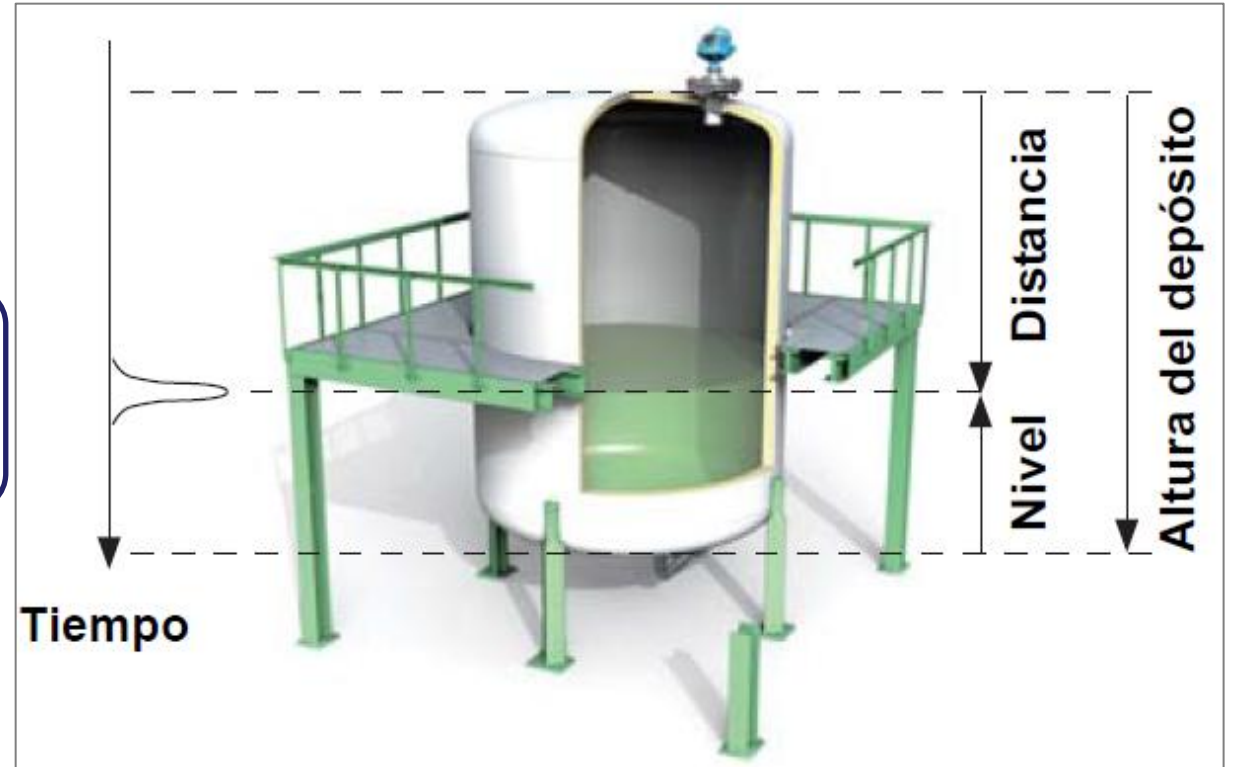
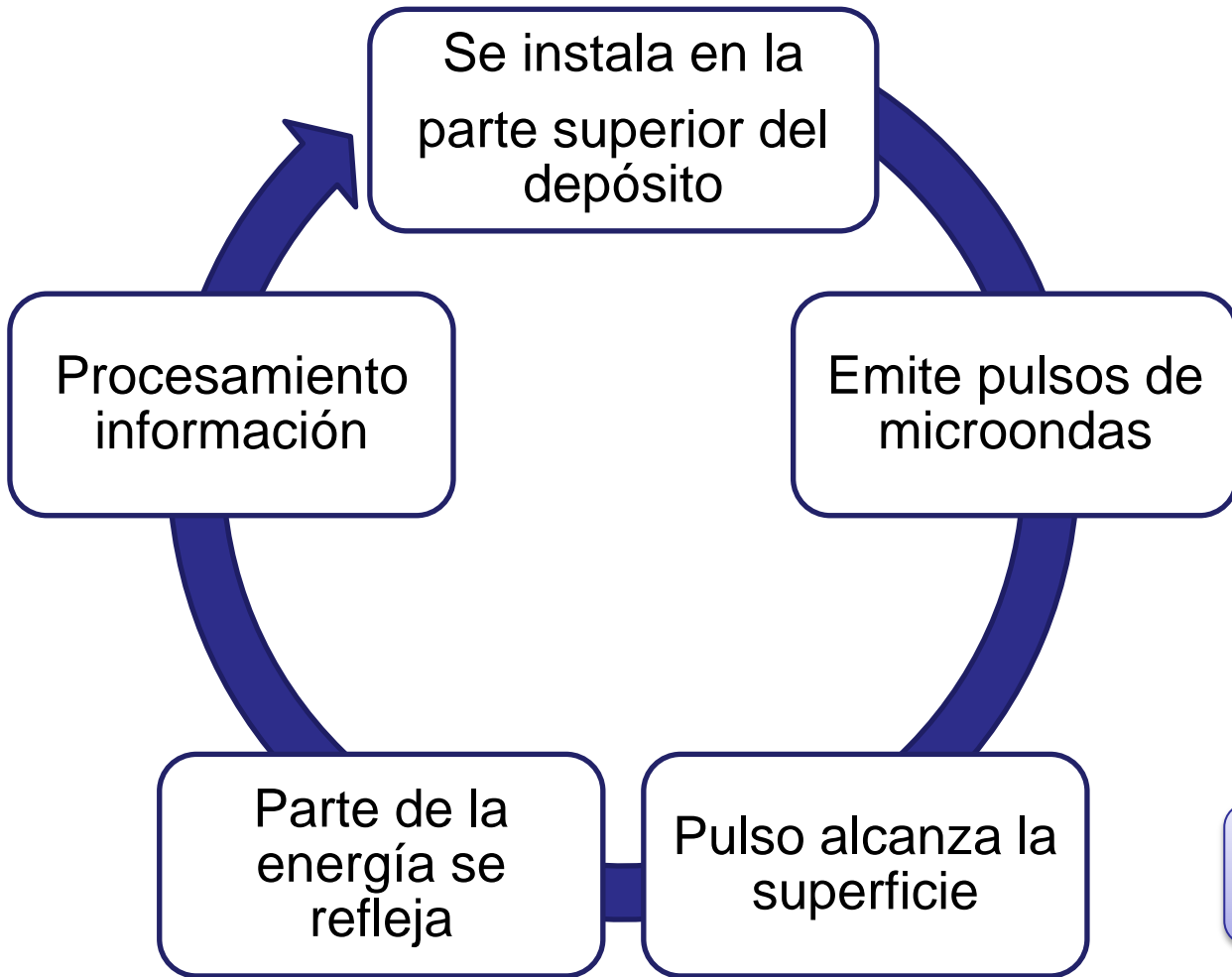
El Transmisor de radar de la serie 5400 de Rosemount es un transmisor de nivel constante inteligente de dos líneas para una amplia gama de condiciones de proceso y aplicaciones. Las características incluyen:



Rosemount 5402

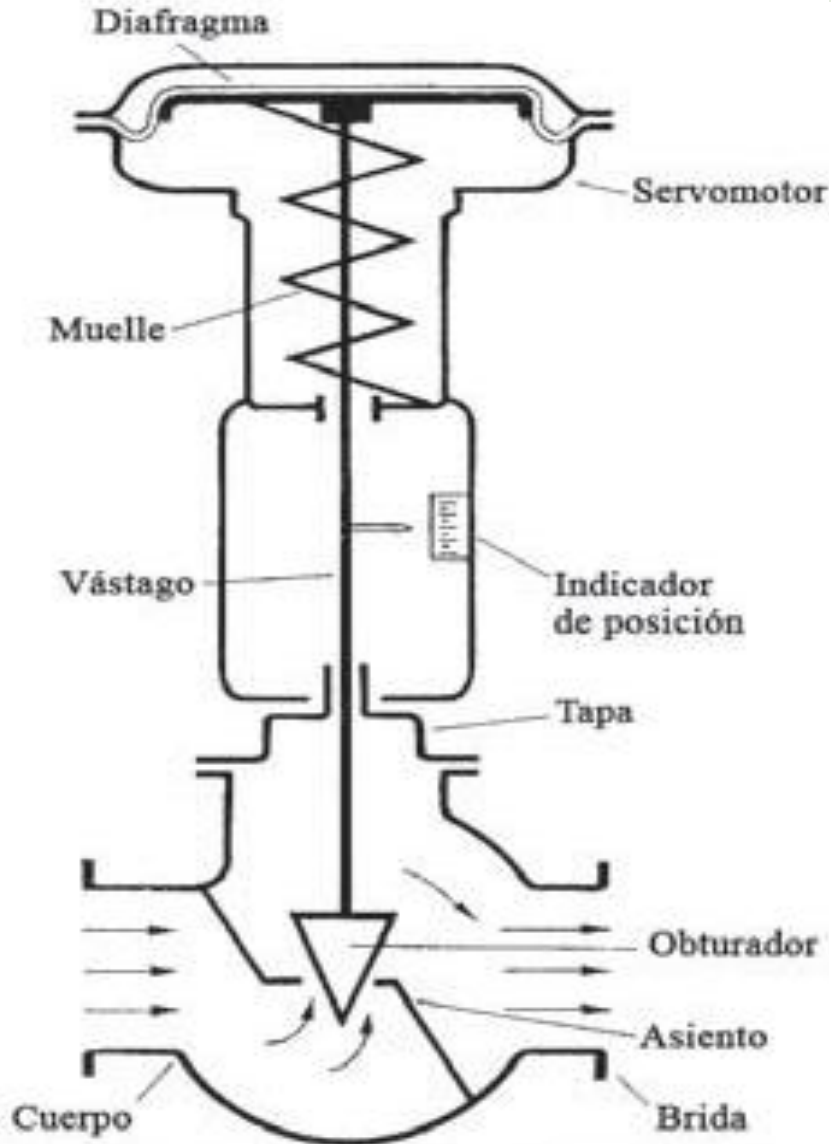
- Alta frecuencia (26 GHz)
- El haz estrecho: aberturas pequeñas y cónicas altas, siendo más fácil evitar reflexiones no deseadas de obstáculos mecánicos, como agitadores y bobinas calefactoras.
- Antena cónica resistente a la acumulación de material y a la condensación.

# Principio de funcionamiento



$$\text{Nivel} = \text{Altura Deposito} - \text{Distancia}$$

# VÁLVULA DE CONTROL



**Válvula de control:**  
Válvula accionada capaz de modular el flujo

**Actuador:** Proporciona fuerza y movimiento

**Cuerpo:** Sostiene conjuntamente las partes de la válvula

**Actuador neumático:**  
Actuador accionado por la señal neumática por lo general de 3 -15 psi





# Little Scotty 24000 con actuador Baumann 32



W9752

**24000 Little Scotty Control Valve with  
Baumann 32 Actuator**

Modelo de la válvula	Modelo del actuador	Rango Nominal de Presión	Área Efectiva del diafragma
32-24588	Aire para Cerrar	3 -13 Psi	32 in <sup>2</sup>
Carrera	Empaquetamiento	Diámetro del Orificio	Tipo de obturador
0,75 in	PTFE	20,6 mm	Asiento metálico



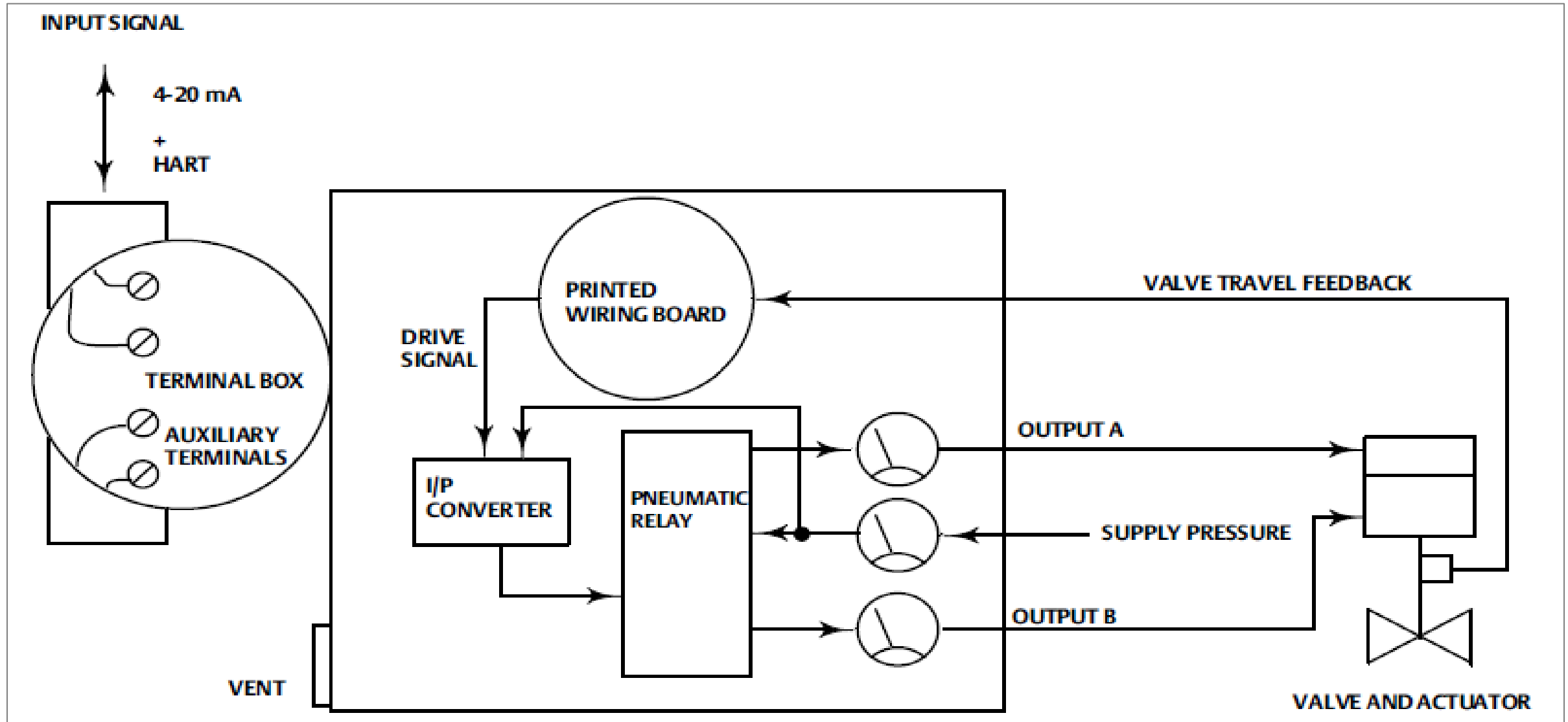
## DEFINICIÓN

Es un instrumento neumático del tipo de equilibrio de fuerzas.

La fuerza ejercida por un resorte de margen, comprimido por una leva unida al vástago de la válvula,

se equilibra contra la fuerza con que actúa un diafragma alimentado neumáticamente por un relé piloto.

# PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



# MONTAJE



# PROTOCOLO HART

## HIGHWAY ADDRESSABLE REMOTE TRANSDUCER

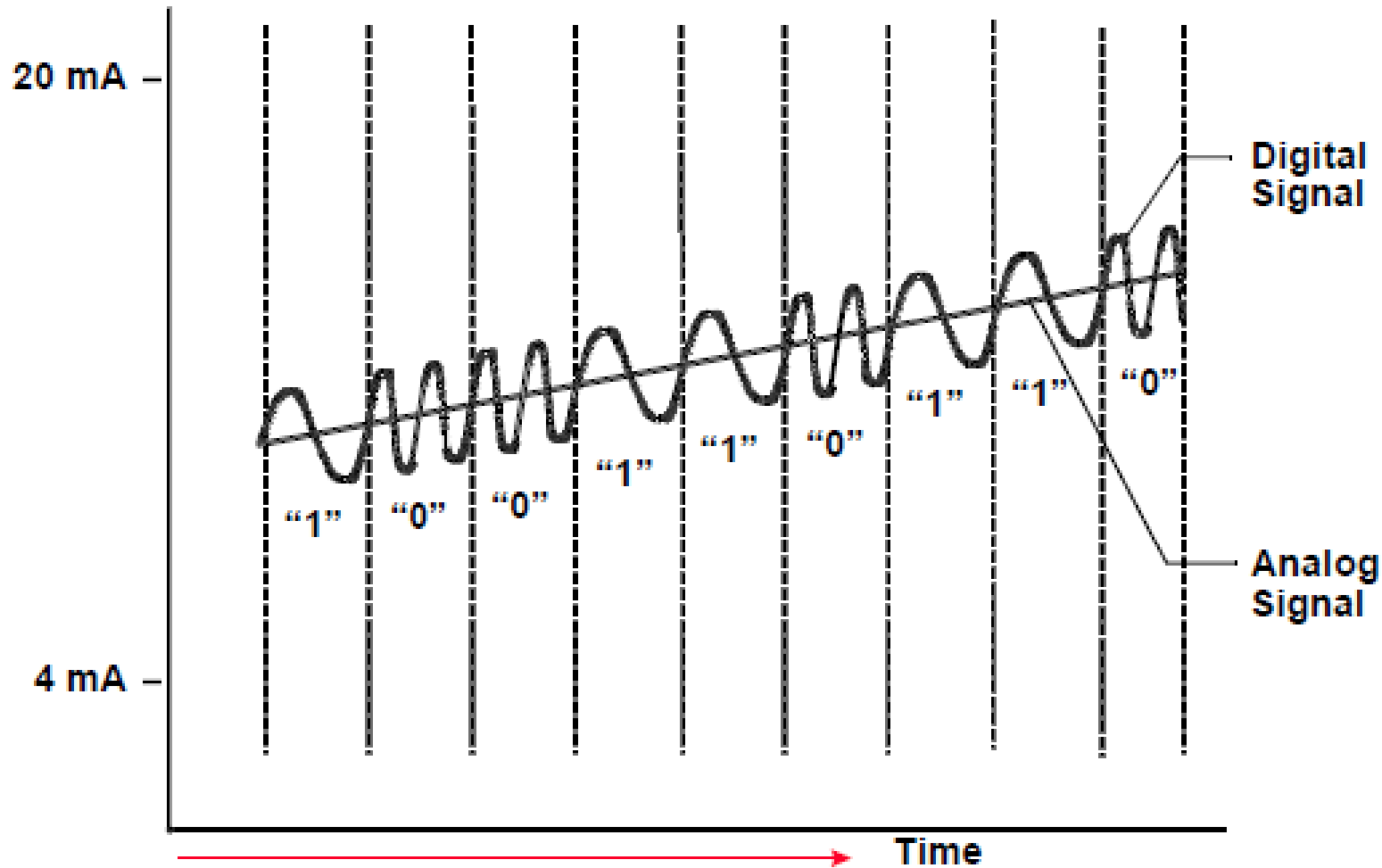


- Es un protocolo de comunicación diseñado para aplicaciones de medición y control de procesos industriales.
- Se llama un protocolo híbrido porque combina comunicación analógica y digital.
- La habilidad de llevar esta información digital agregada es la base de los beneficios clave de Hart



# MODULACIÓN FSK

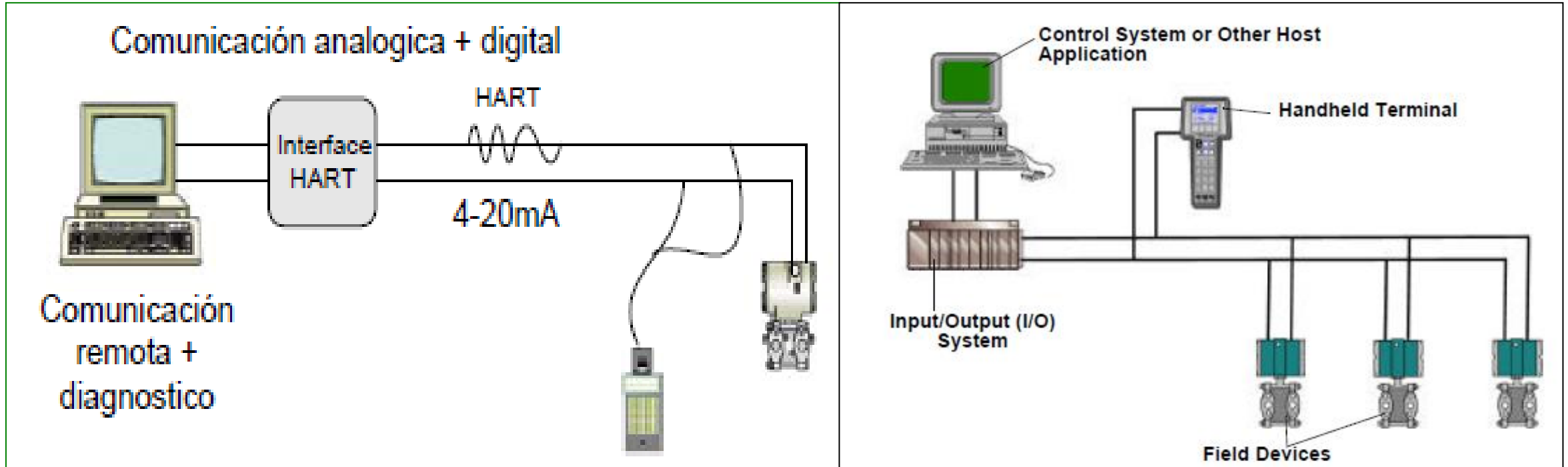
## FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK) MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (MDF)



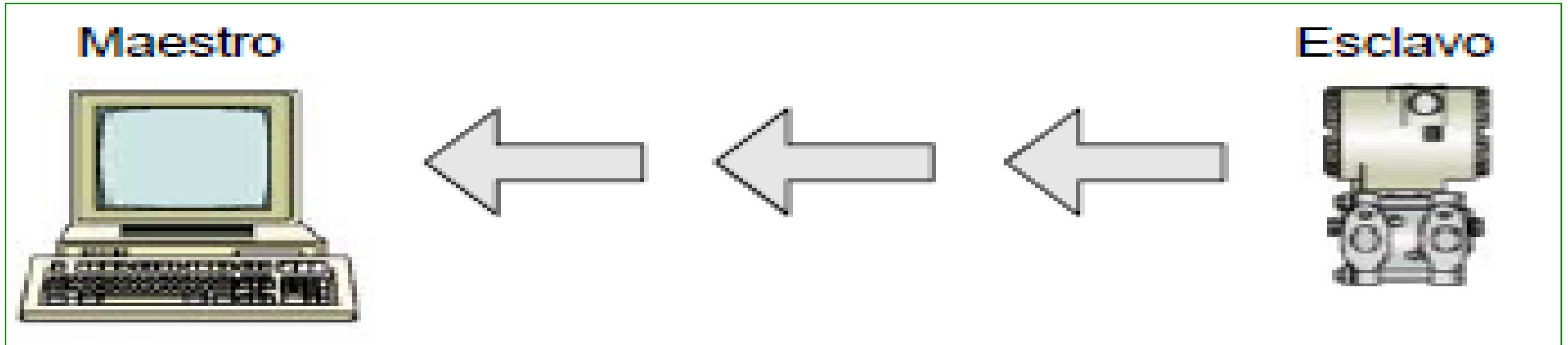
Se realiza modulando la frecuencia de una señal sinodal con amplitud constante 1

- 1200 Hz → 1
- 2200 Hz → 0





- Dispositivo de campo.
- Maestro primario: un PLC, o un sistema de control basado en un PC
- Maestro secundario: un comunicador portátil



- Comunicación en modo “Burst”



# VENTAJAS



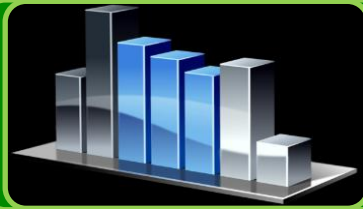
**Configuración o reconfiguración del dispositivo**



**Diagnóstico del dispositivo**



**Identificación y corrección de problemas del dispositivo**



**Lectura de valores de medición adicionales suministrados por el dispositivo**

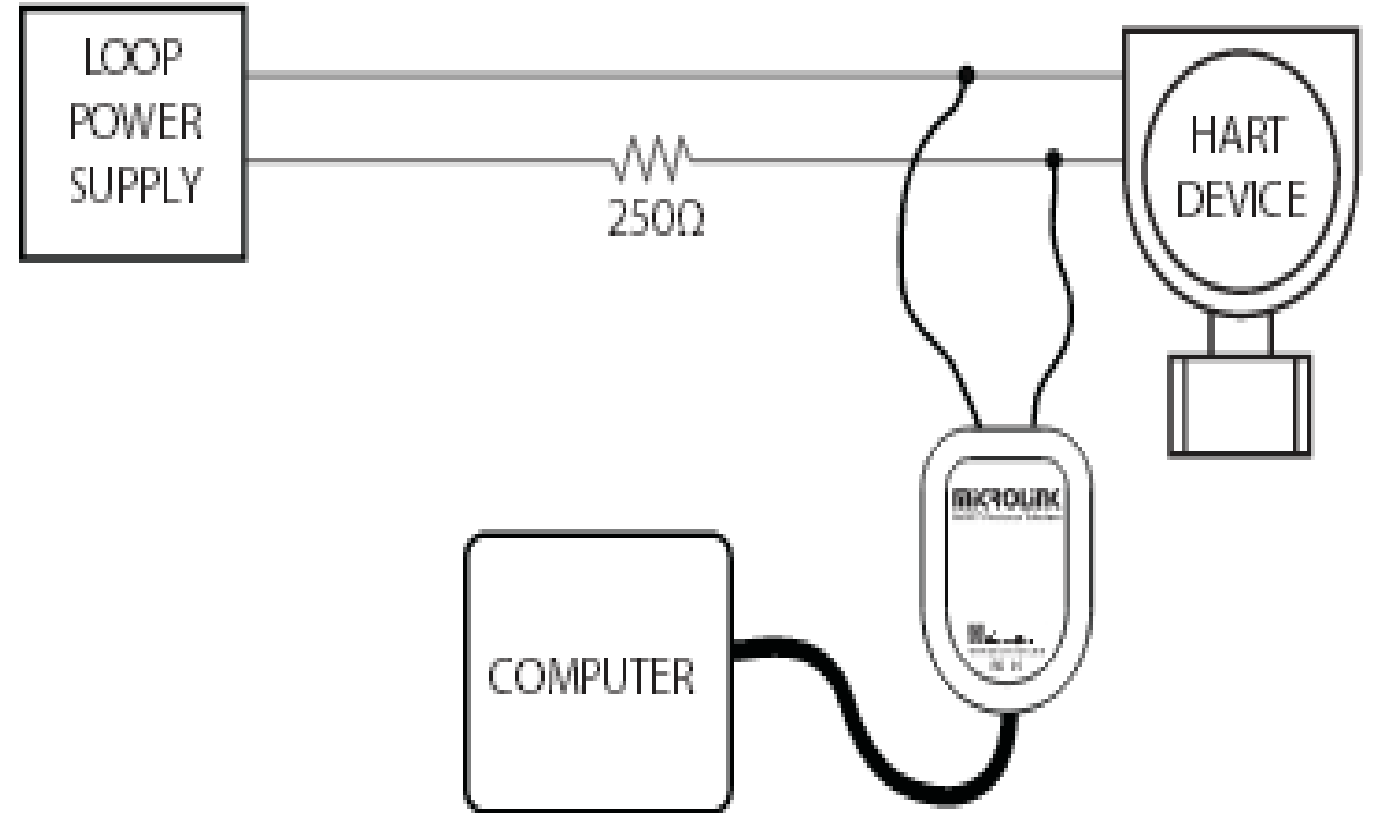


**Estado de operación y bienestar del dispositivo**



# MODEM HART

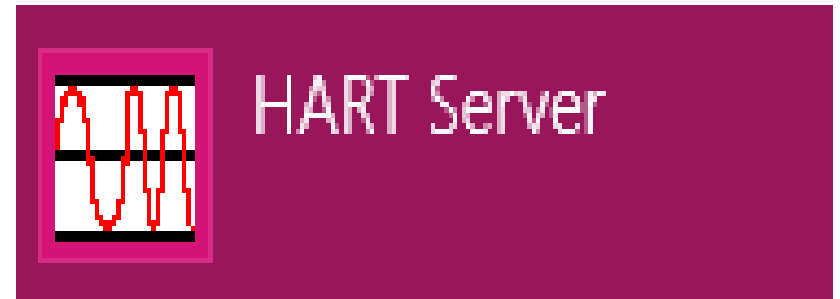
El modem Hart ofrece la interfaz física entre los dispositivos Hart y una PC Windows con comunicación serie, con un diseño robusto, ideal para el personal en contacto con los dispositivos Hart en un entorno industrial.



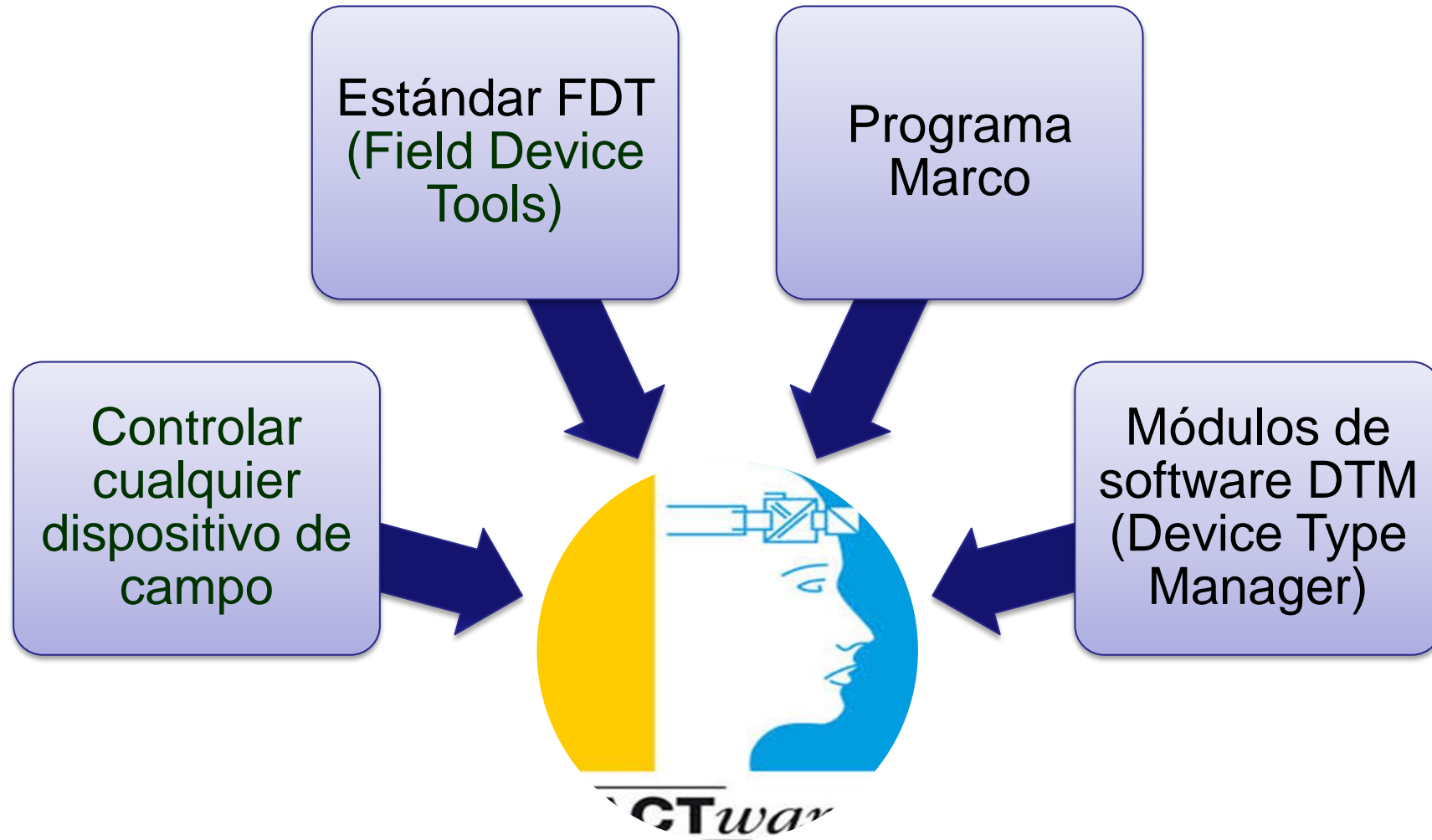
# SERVIDORES HART

## ➤ HART SERVER

El servidor HART es un software de Windows que actúa como la interfaz de comunicación (OPC) entre el software del sistema y la red física subyacente, se utiliza sólo para configurar y administrar los componentes físicos que componen una jerarquía del servidor HART



# ➤ PACTware (Process Automation Configuration Tool)



# BASES DE DATOS HART

## Process Connections

PV

PV Damping

PV Upper Sensor Limit

PV Lower Sensor Limit

PV Minimum Span

SV

SV Units

TV

TV Units

QV

QV Units

## Range Calculation

Percent Range

PV Upper Range

PV Lower Range

## 4-20mA Connection

Loop Current

## Device Information

Device Code

Manufacturer Code

Message

Descriptor

## Device Status

Device Malfunction

More Status Available

Configuration Changed

PV Out of Limits

Non-PV Out of Limits

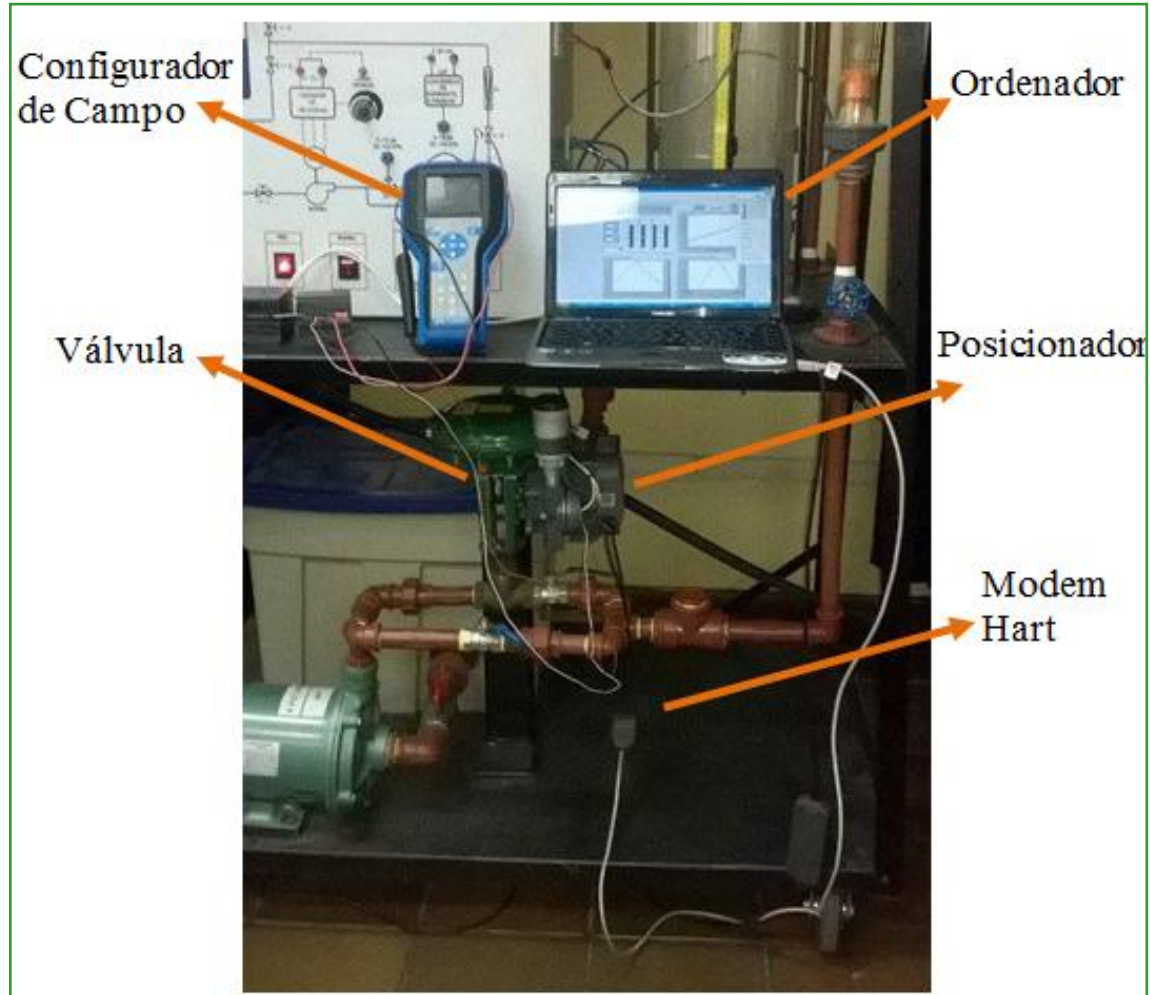
Loop Current Fixed

Loop Current Saturated

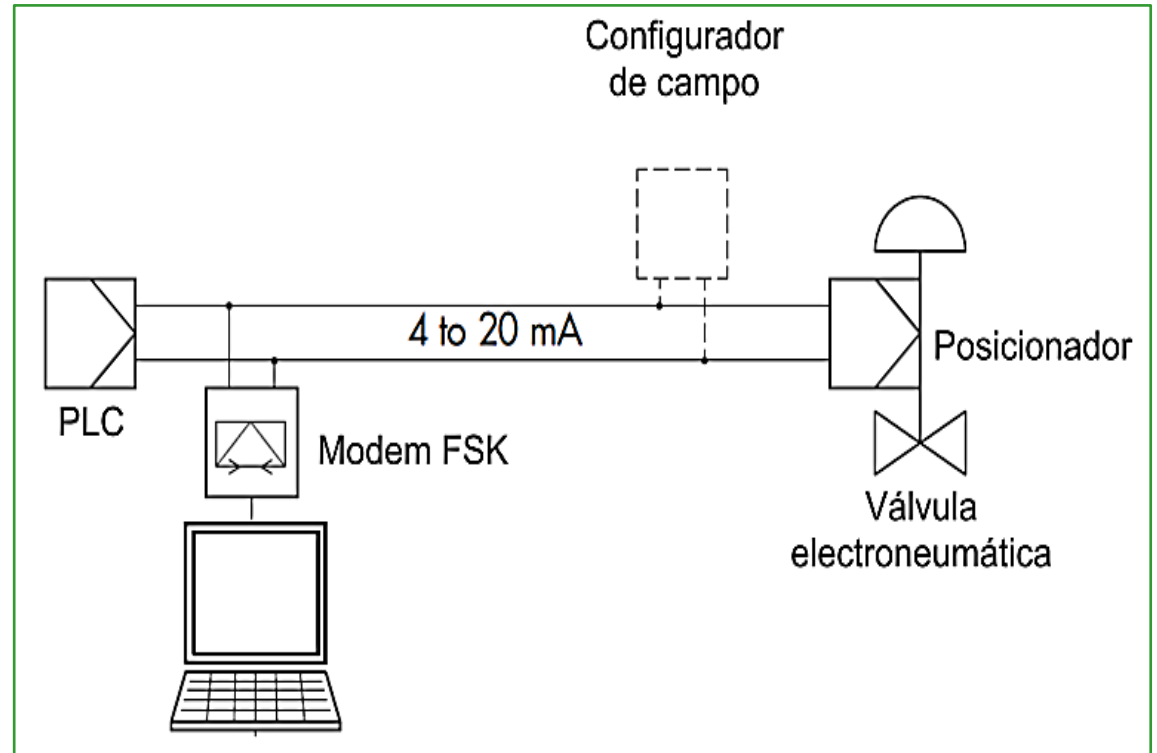


# Implementación - Conexión de la red Hart

## Sistema implementado



## Diagrama de bloques



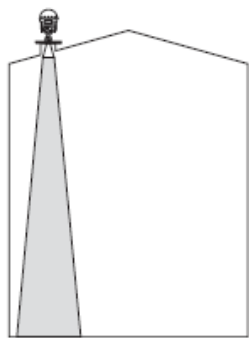
# CONFIGURACIÓN TRANSMISOR DE NIVEL

## Propiedades del dispositivo

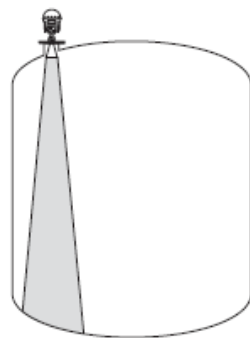
- Tag
- Descripción
- Información General
- (Fabricante/ID/Modelo/#Serie)
- Unidades de medición (Nivel, volumen, temperatura, distancia)

## Propiedades del deposito

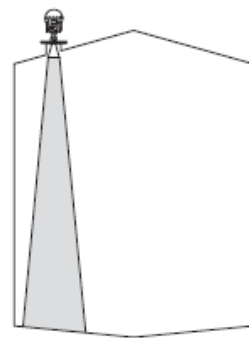
- Geometry
- Tank type
- Tank Bottom Type
- Tank Height
- (Still pipe measurement)



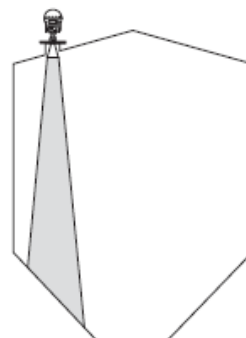
Plano



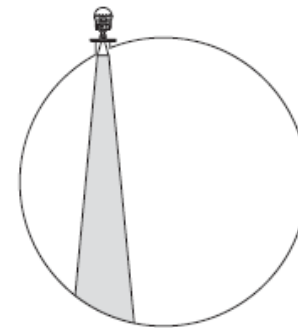
Domo



Plano  
inclinado



Cono



Esférico

# CONFIGURACIÓN TRANSMISOR DE NIVEL

## Condiciones del deposito (2)

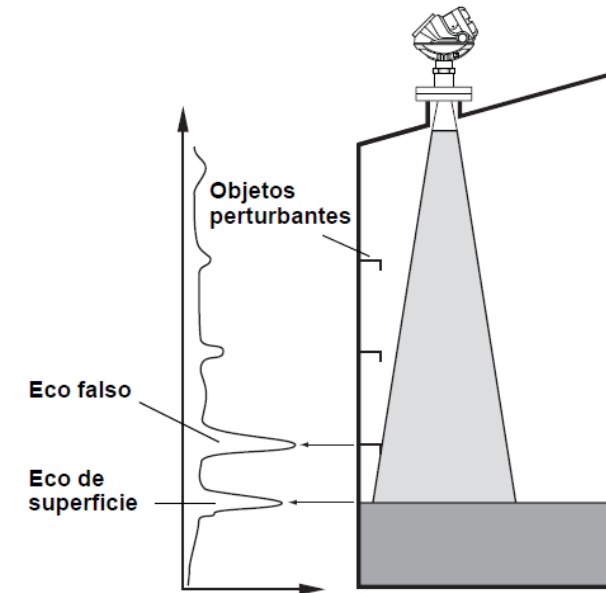
- Cambios rápidos (40 mm/s)
- Superficie turbulenta
- Espuma
- Productos solidos
- Rango dieléctrico del producto  $n$
- Conversión a volumen

## Ecos Falsos

- Registrar
- Eliminar

## L-Type

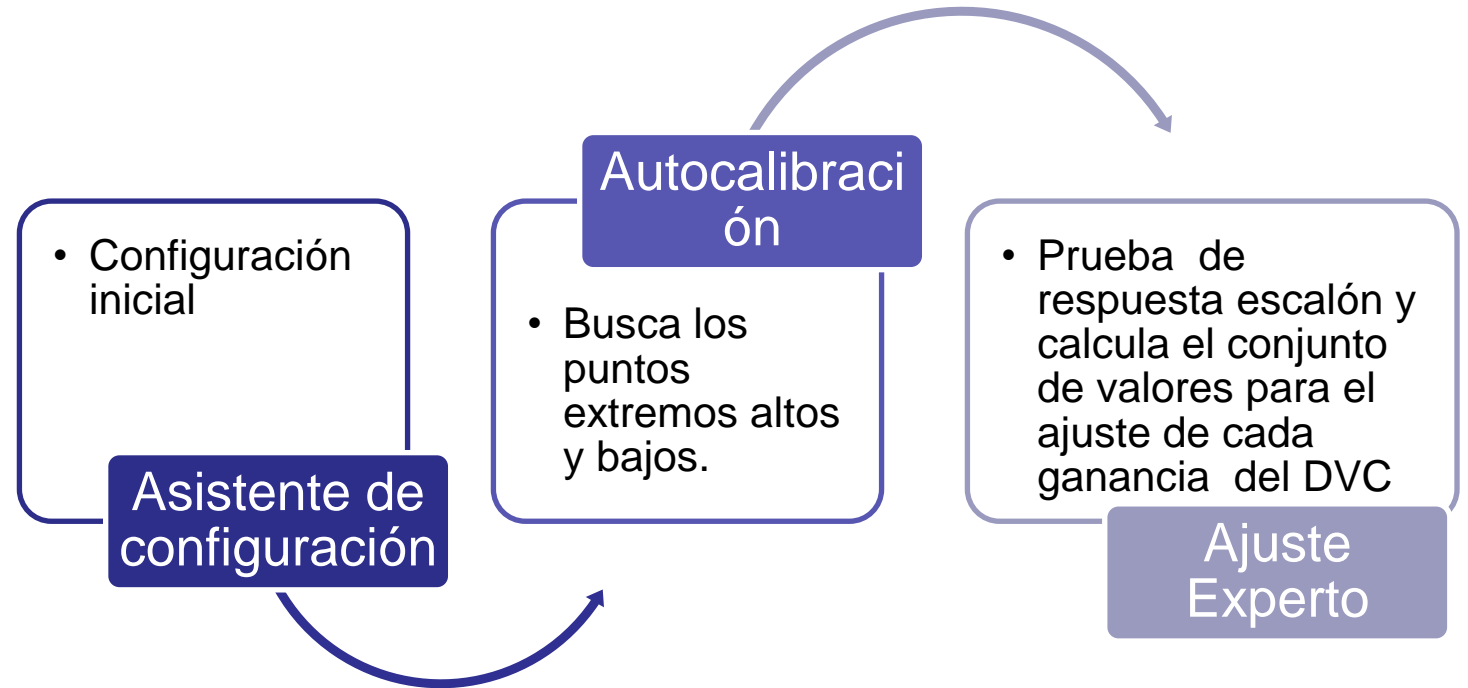
- Directa
- Indirecta
- Raíz cuadrada directa



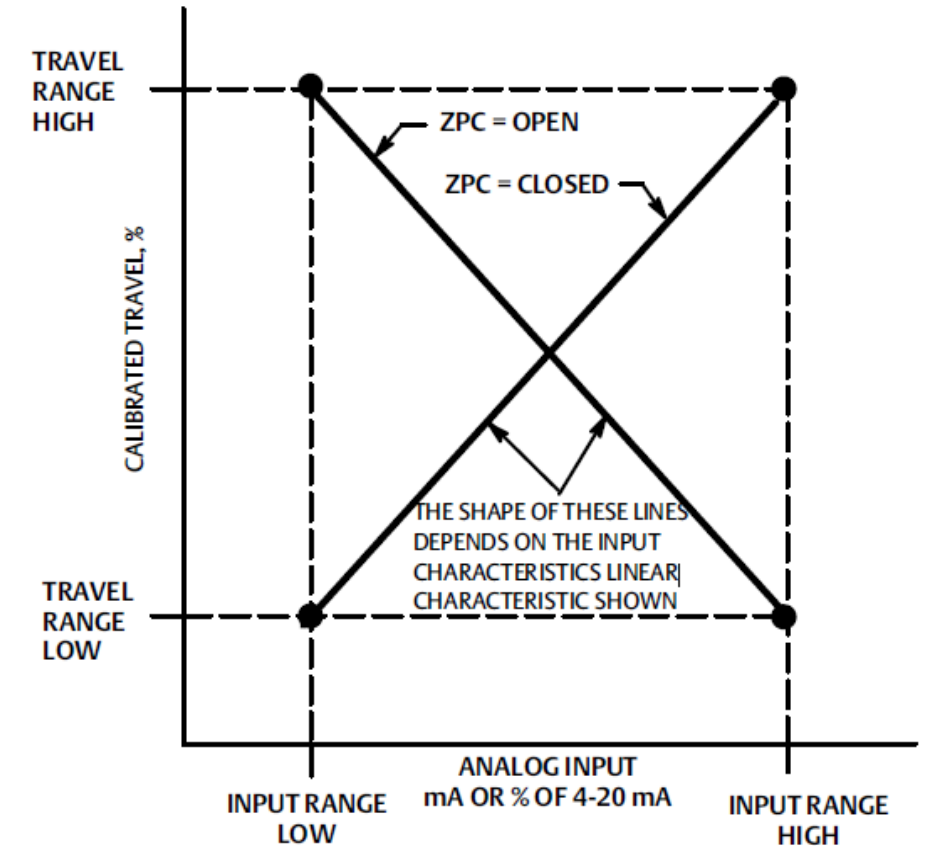
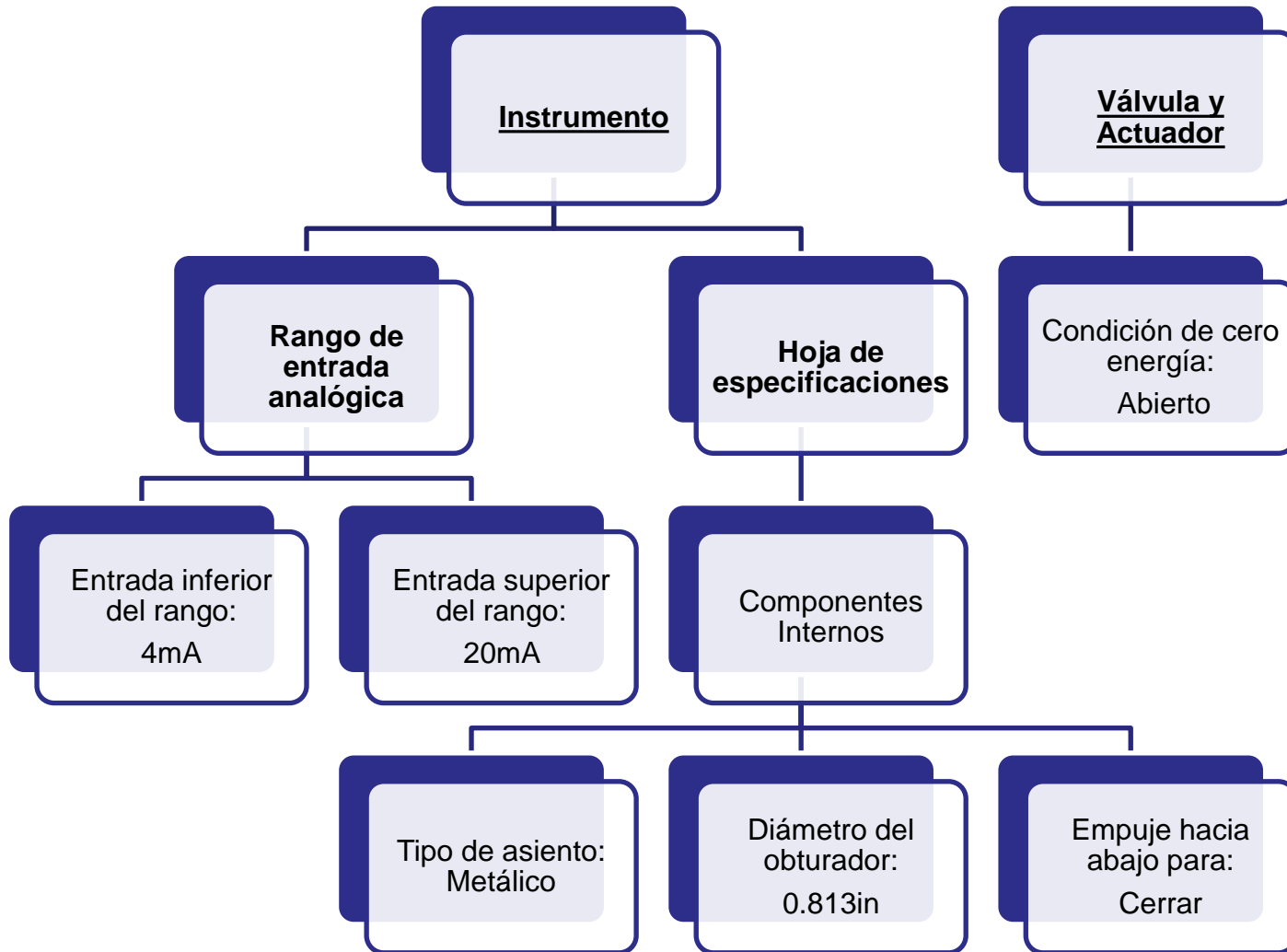


Asistente de Configuración	
<b>Parámetros</b>	
Unidades de presión <b>(Pressure Units)</b>	Psi
Tipo de Relé <b>(Relay Type)</b>	A o C
Modo de Control <b>(Control Mode)</b>	Travel Control
Fabricante del Actuador <b>(Actuator Manufacturer)</b>	Baumann
Modelo del actuador <b>(Actuator Model)</b>	Air to extend (Fail Open)
Tamaño del Actuador <b>(Actuator Size)</b>	32
¿Tiene presente un <i>Amplificador de la señal de control neumática</i> (Volume Boster ) o un <i>Escape rápido de aire</i> (Quick Release)?	No

# Configuración y Calibración del conjunto Válvula - Actuador



# Configuración Manual



NOTE:  
ZPC = ZERO POWER CONDITION



# Sintonía del desplazamiento

Las configuraciones posibles para esta válvula son C, E, H y autosintonía, se realizaron pruebas con cada una para determinar la más adecuada para este proceso, para lo cual se aplicaron escalones de corriente y se registró el tiempo que tarda en estabilizarse.

Tipo de configuración	Ganancia proporcional	Ganancia de velocidad	Ganancia MLFB
C	4.4	3.0	35
E	5.5	3.0	35
H	8.4	4.2	31
X	8.6	3.3	30



# Asociar Tags

A screenshot of the LabVIEW context menu for a Numeric Control. The menu is open, showing various options. The 'Properties' option at the bottom is highlighted in blue. Above the menu, the control's name 'PV' is visible, along with its units 'PVUnits', 'PV%Range', and 'LoopCurrent'. The menu items include: Visible Items, Find Indicator, Make Type Def., Hide Indicator, Change to Control, Change to Constant, Description and Tip..., Numeric Palette (with sub-options: Create, Data Operations, Advanced), View As Icon, Adapt To Source, and Representation.

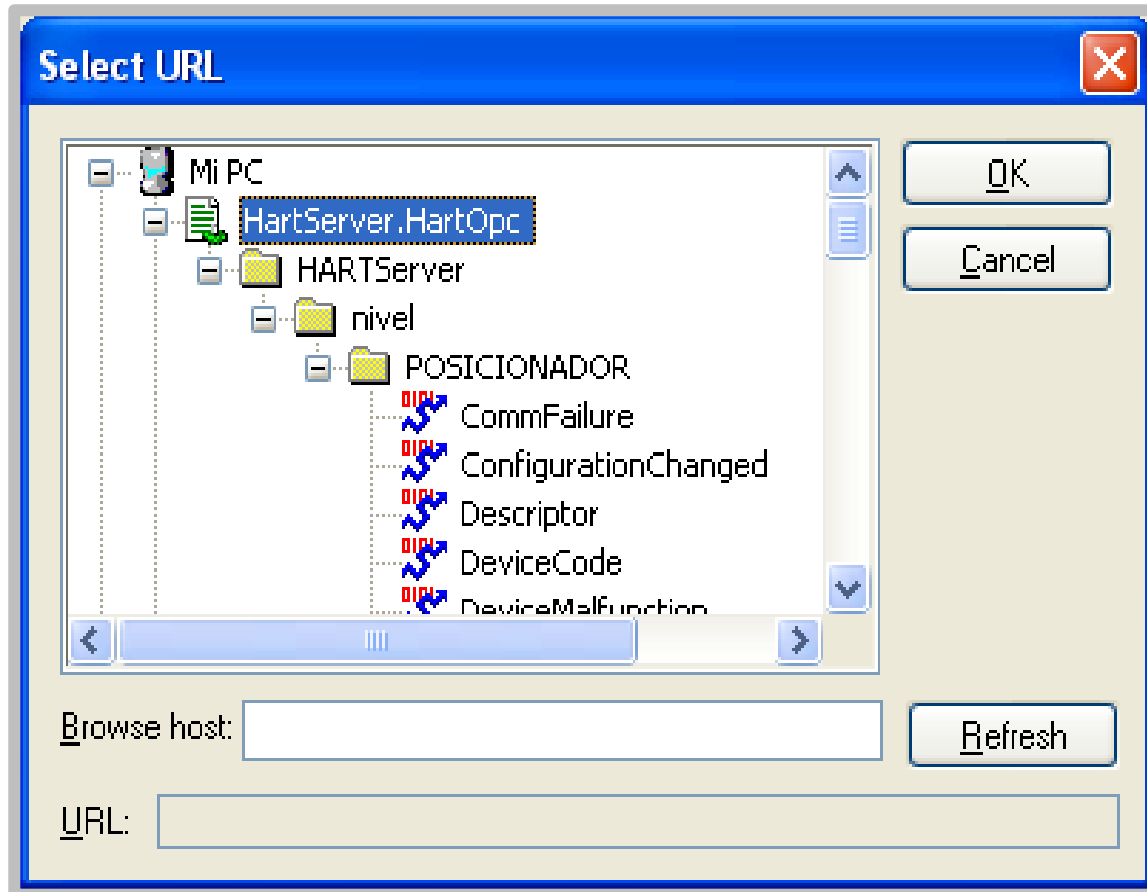
A screenshot of the 'Numeric Properties: PV' dialog box, specifically the 'Data Binding' tab. The 'Data Binding Selection' dropdown menu is open, showing three options: 'Unbound', 'Shared Variable Engine (NI-PSP)', and 'DataSocket', with 'DataSocket' selected. Below this, there is a 'Path' field and a 'Browse...' button. At the bottom of the dialog, there are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons. A note at the bottom states: 'National Instruments recommends that you use data binding through the Shared Variable Engine. Refer to the LabVIEW Help for more information about data binding controls.'

A screenshot of the 'Browse...' dialog box. The 'Browse...' button is highlighted, and a dropdown menu is open showing three options: 'Browse...', 'DSTP Server...', and 'File System ...'. Below the dialog, there is a note: 'that you use data binding through the Shared Variable Engine. Refer to the LabVIEW Help for more information about data binding controls.'

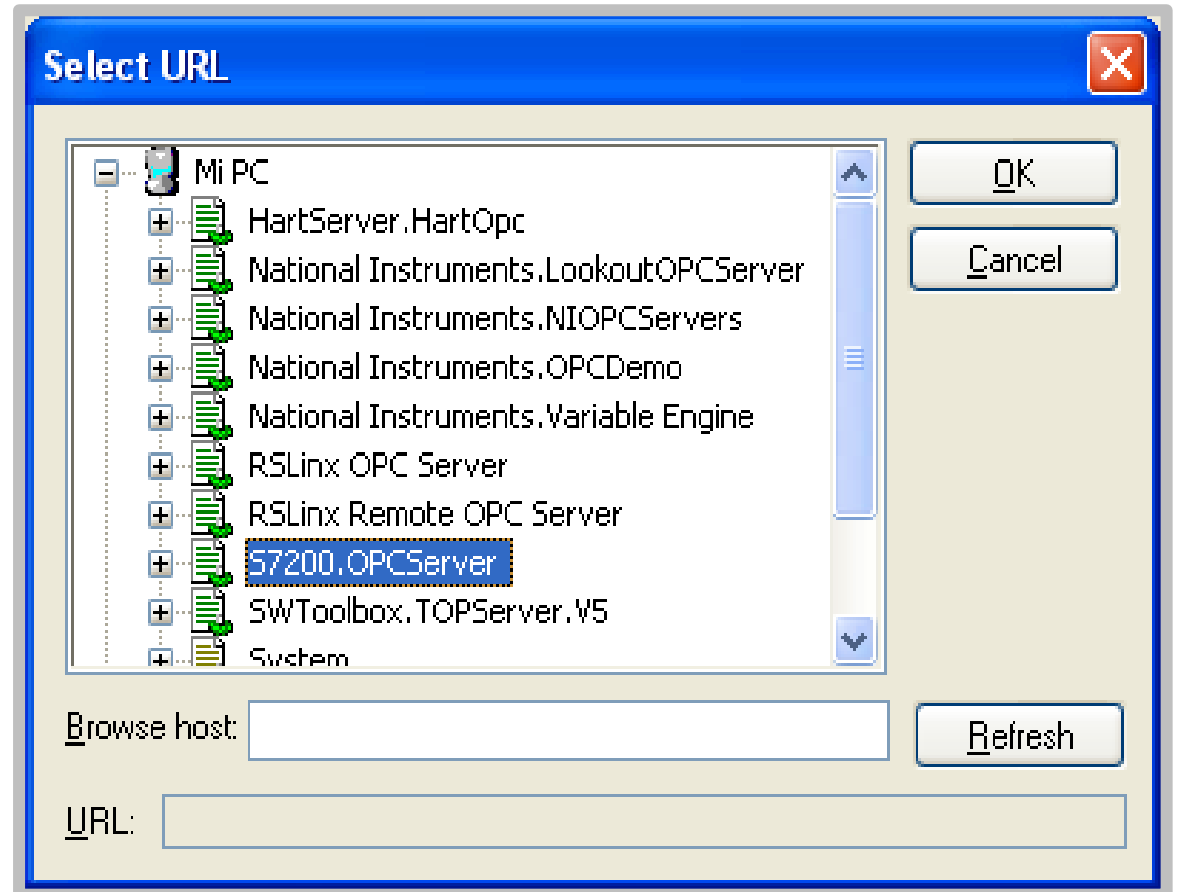


# Asociar Tags

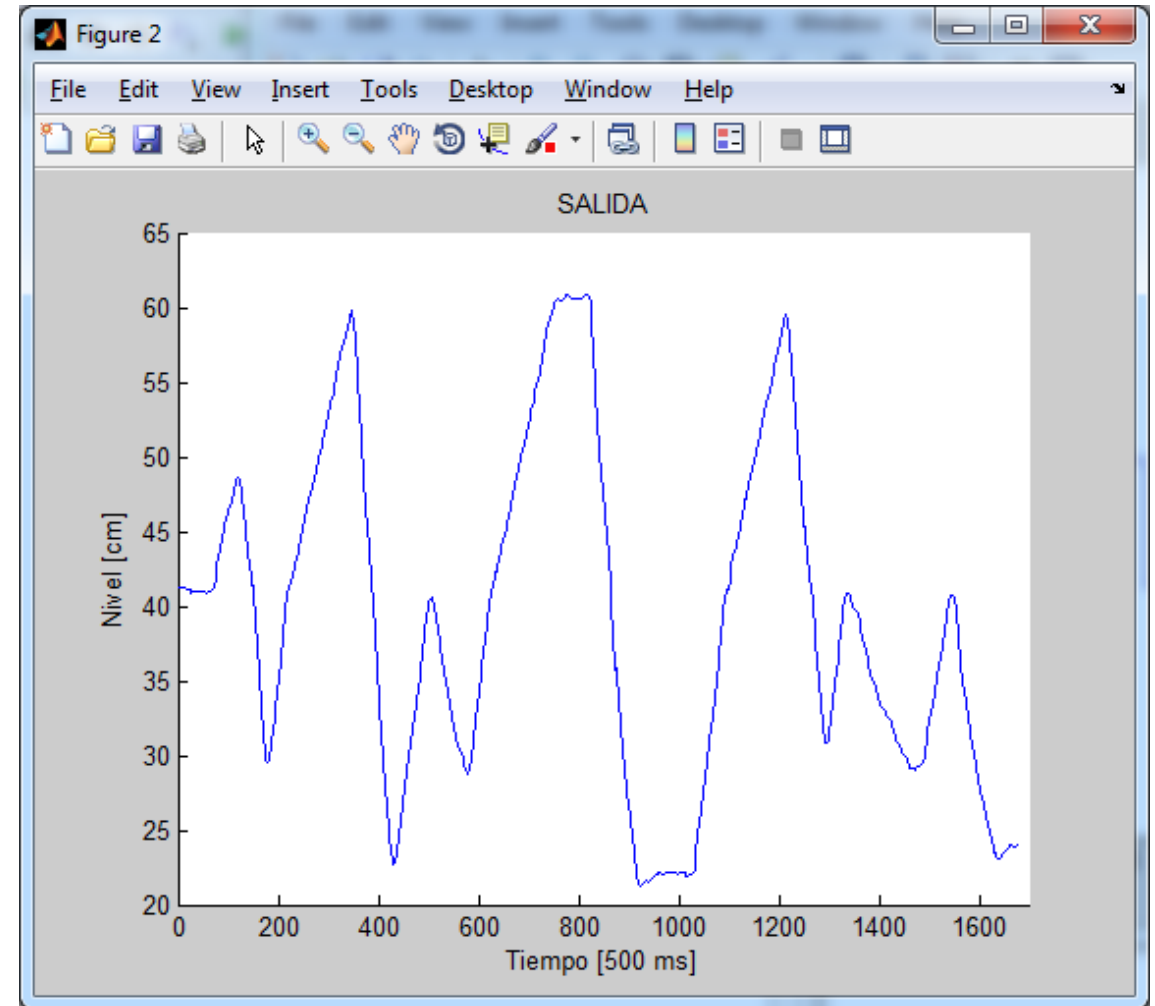
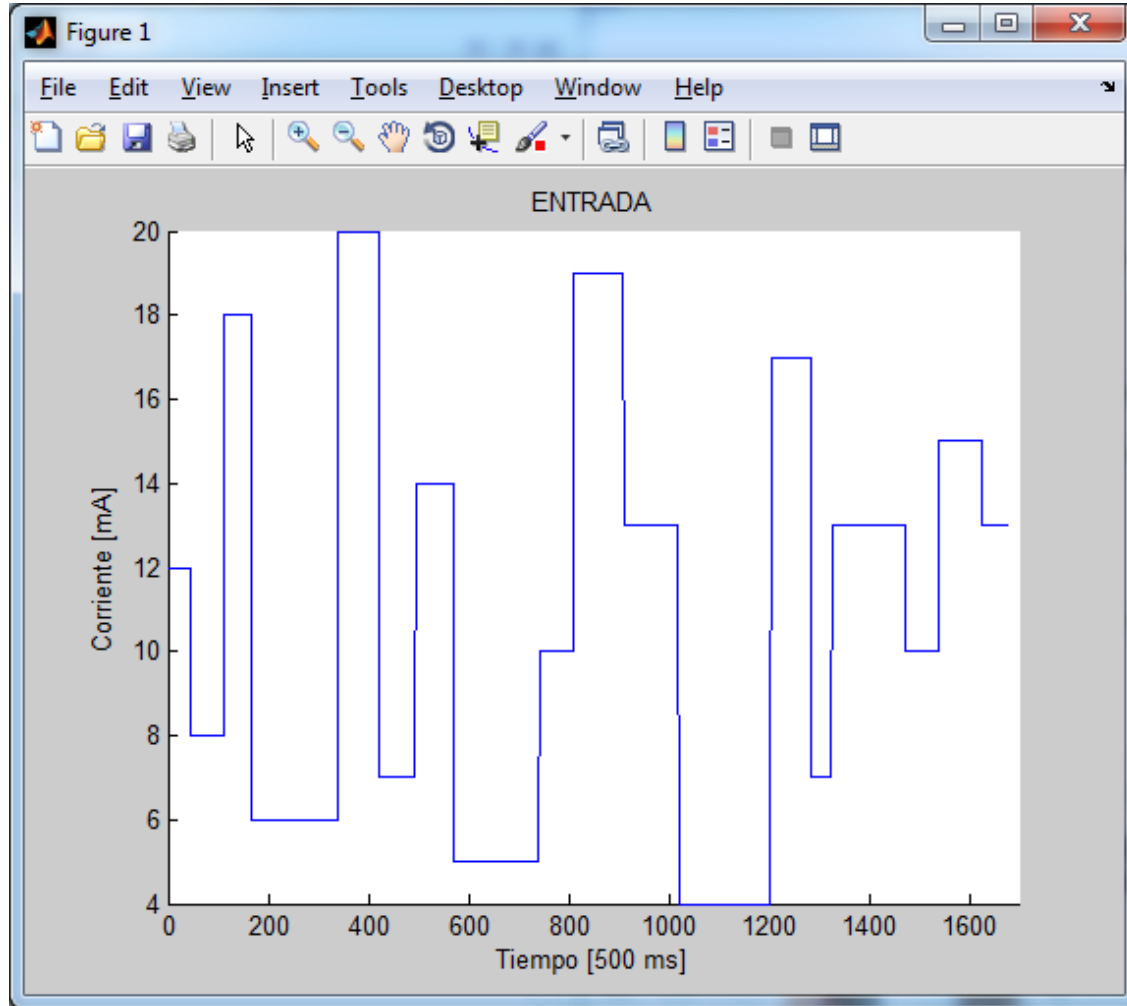
## Hart Server



## S7200 OPC Server



# MODELAMIENTO DEL SISTEMA



# HERRAMIENTA IDENT DE MATLAB

The screenshot shows the 'System Identification Tool - Untitled' window. A yellow arrow points from the 'Import data' button to the 'Import Data' dialog box on the right. The main interface features a 'Data Board' and a 'Model Board', both highlighted with red boxes. A yellow box highlights the 'Estimate -->' dropdown menu, which is open to show options like 'Linear parametric models...', 'Nonlinear models...', 'Spectral models...', and 'Correlation models...'. Below the boards, there are 'Data Views' and 'Model Views' sections, each with several checkboxes. A red box highlights these checkboxes, with a text box below stating 'Select check boxes to display data plots'. Another red box highlights the 'Estimate -->' dropdown, with a text box below stating 'Select check boxes to display odel plots'. The 'Working Data' section is also visible between the boards.

The 'Import Data' dialog box is shown on the right. It has three main sections: 'Data Format for Signals' with a dropdown set to 'Time-Domain Signals'; 'Workspace Variable' with 'Input:' set to 'ma' and 'Output:' set to 'cm'; and 'Data Information' with 'Data name:' set to 'mydata', 'Starting time' set to '1', and 'Sampling interval' set to '1'. At the bottom, there are buttons for 'Import', 'Reset', 'Close', and 'Help'.



# MODELOS NO LINEALES

The screenshot displays the 'Nonlinear Models' software window. At the top, there are 'Configure' and 'Estimate' tabs. The 'Model name' is set to 'nlarx3'. The 'Model type' is 'Nonlinear ARX'. A block diagram shows 'Inputs (u)' and 'Outputs (y)' entering a 'Regressors' block (containing  $u_1(t-1), u_2(t-3), y_1(t-1), \dots$ ), which then feeds into both a 'Nonlinear Block' and a 'Linear Block'. The outputs of these blocks are combined to produce 'Predicted Outputs ( $\hat{y}$ )'. An 'Initialize...' button is located to the right of the model type dropdown.

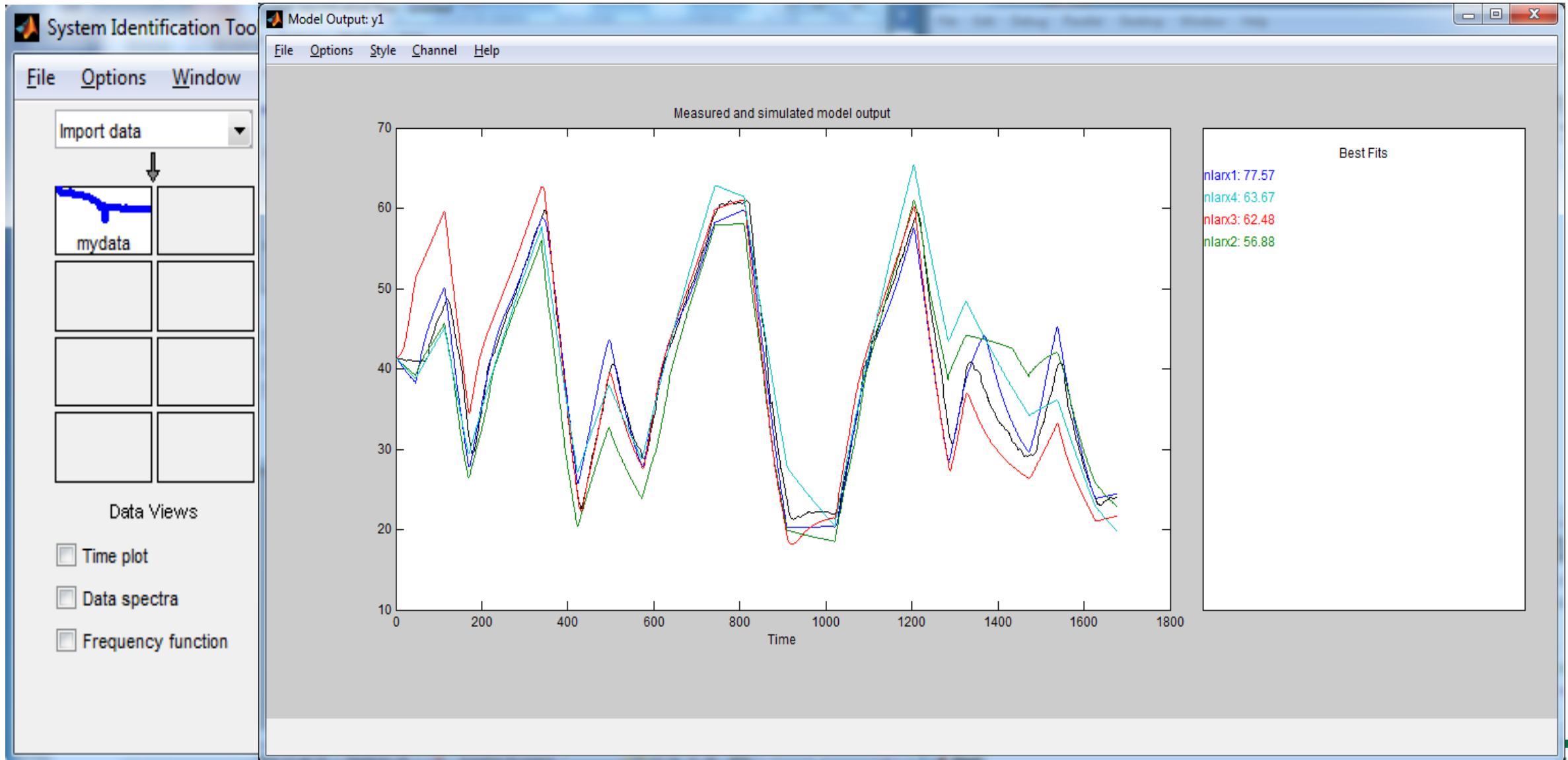
Below the diagram, the 'Regressors' and 'Model Properties' tabs are visible. Under 'Model Properties', the 'Nonlinearity' dropdown is open, showing options: 'Tree Partition', 'Wavelet Network', 'Tree Partition', 'Sigmoid Network', 'Neural Network', 'Custom Network', and 'None'. The 'Include linear block' checkbox is checked. There are also radio buttons for 'Select automatically' (selected) and 'Enter:'. An 'Advanced...' button is at the bottom left of the properties section.

At the bottom of the window, there are 'Estimate', 'Close', and 'Help' buttons.





# MODELOS ESTIMADOS



# CONTROLES CONVENCIONALES

P

- Relación lineal continua
- Inconveniente: Offset

PD

- Permite incrementar la ganancia
- Inconveniente: Tiempo optimo

PI

- Corrige offset
- Inconveniente: Saturación Integral


PID

- Suma las acciones P+I+D



# ASISTENTE PID

Asistente de operaciones PID (Configuración PID para 0)



Escalar consigna del lazo

Indique cómo se debe escalar la consigna del lazo. Esta consigna es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Indique el límite inferior de la consigna del lazo:

Indique el límite superior de la consigna del lazo:


Parámetros del lazo

Ganancia  Tiempo de acción integral  min.

Tiempo de muestreo  seg. Tiempo de acción derivativa  min.

<Atrás    Siguiete >    Cancelar

Asistente de operaciones PID (Configuración PID para 0)



Opciones de la entrada del lazo

Indique cómo se debe escalar la variable del proceso del lazo (PV). Esta variable es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Escalamiento	Variable del proceso	Consigna del lazo
<input type="text" value="Unipolar"/>	Límite inferior <input type="text" value="6400"/>	<input type="text" value="20.0"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Utilizar offset de 20%	Límite superior <input type="text" value="32000"/>	<input type="text" value="60.0"/>

Opciones de la salida del lazo

Indique cómo se debe escalar la salida del lazo. Esta salida es un parámetro que se debe transferir a la subrutina que generará el asistente.

Tipo de salida	Escalamiento	Límite inferior	Límite superior
<input type="text" value="Analógica"/>	<input type="text" value="Unipolar"/>	<input type="text" value="6400"/>	<input type="text" value="32000"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Utilizar offset de 20%			

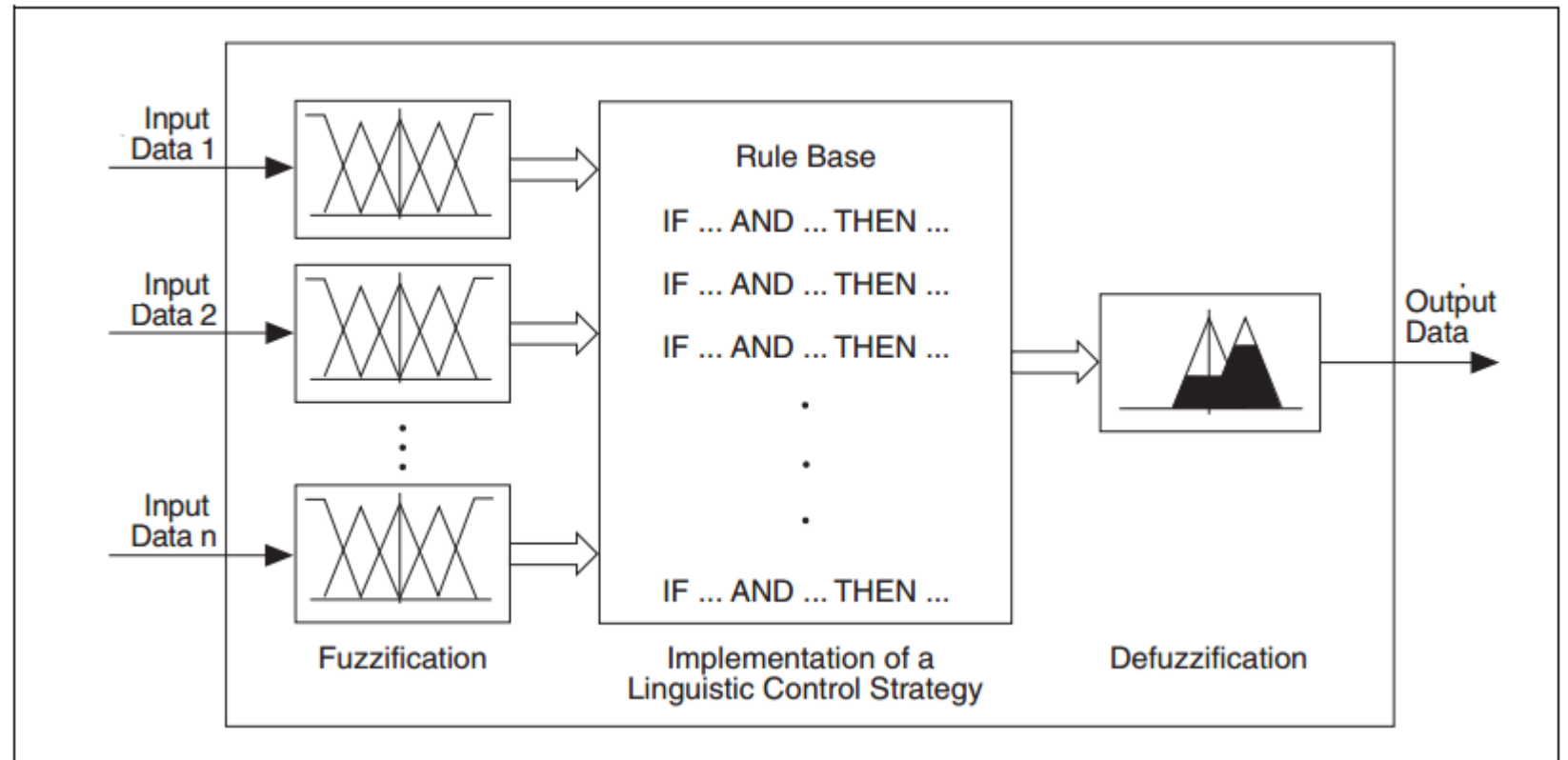
<Atrás    Siguiete >    Cancelar



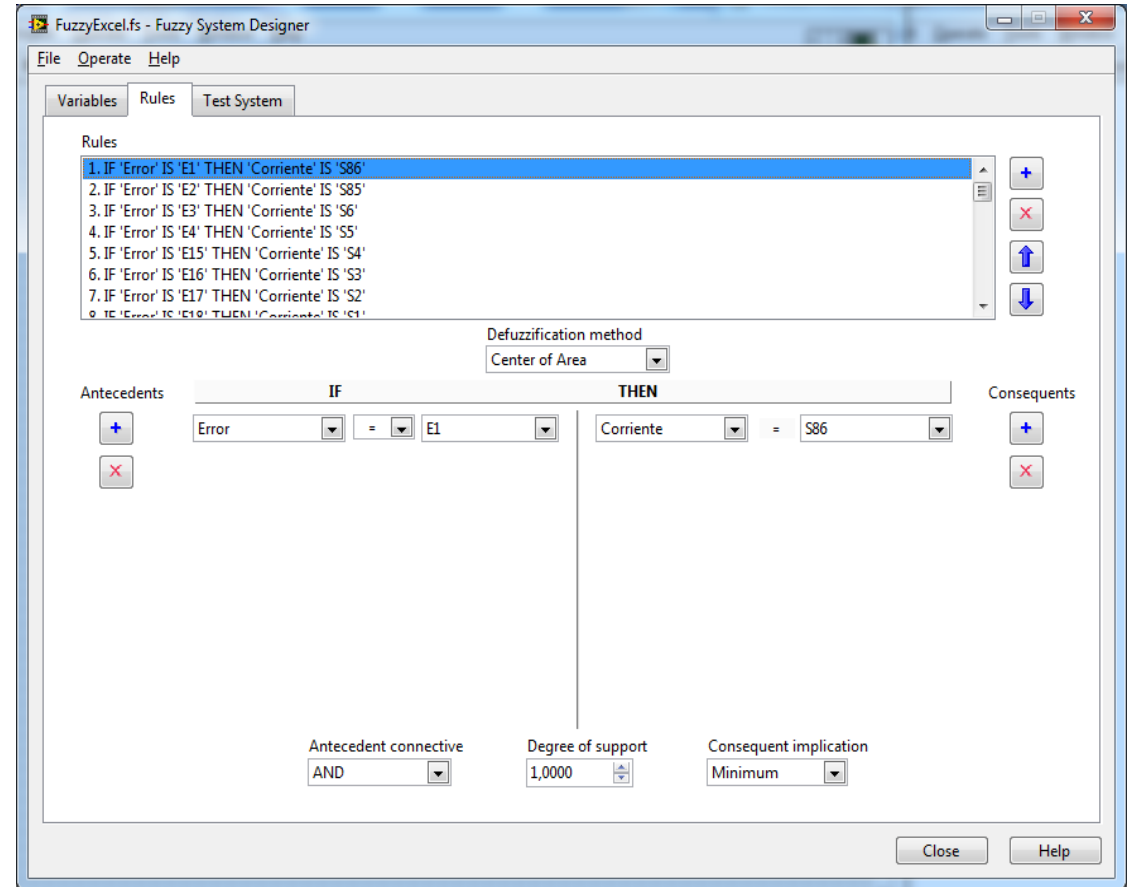
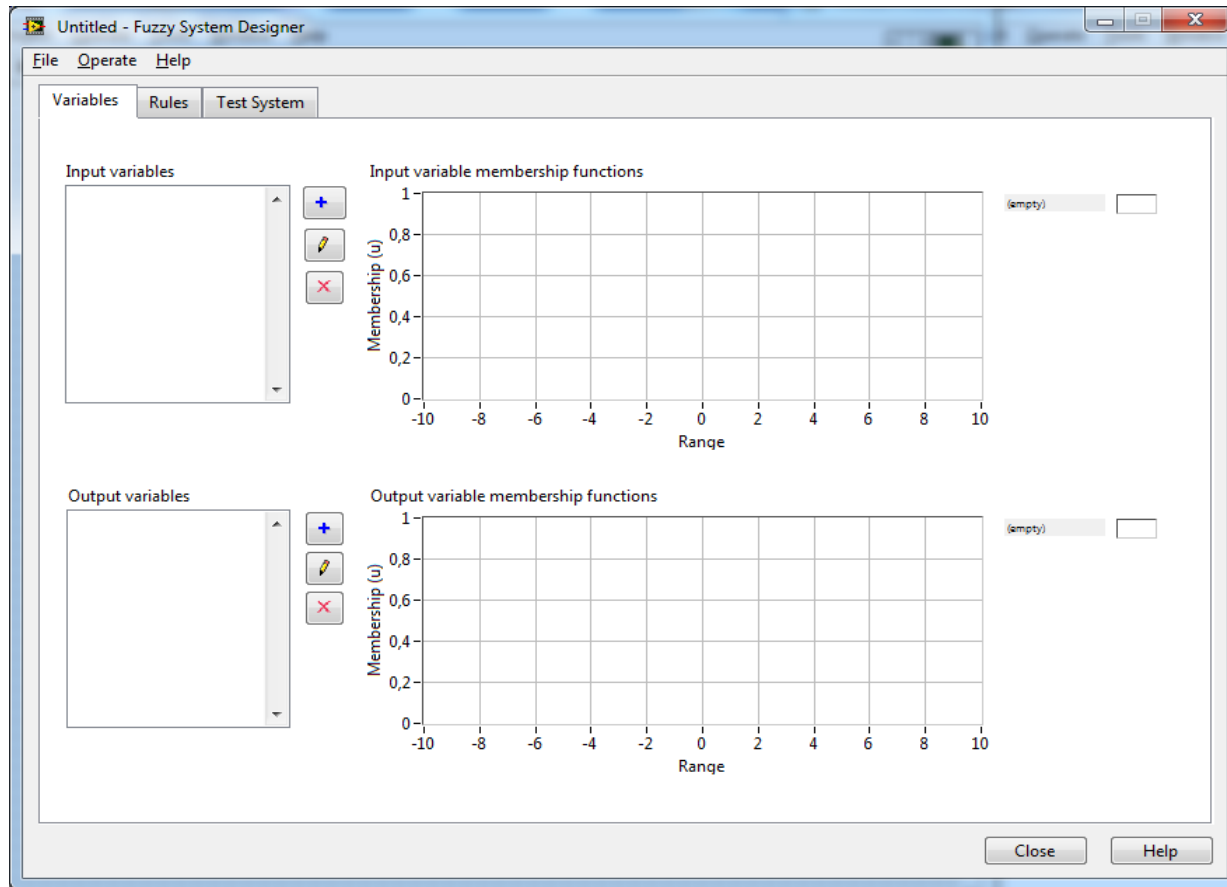
# CONTROL DIFUSO

La lógica difusa es un método de toma de decisiones basado en reglas utilizado para expertos y sistemas de control de procesos.

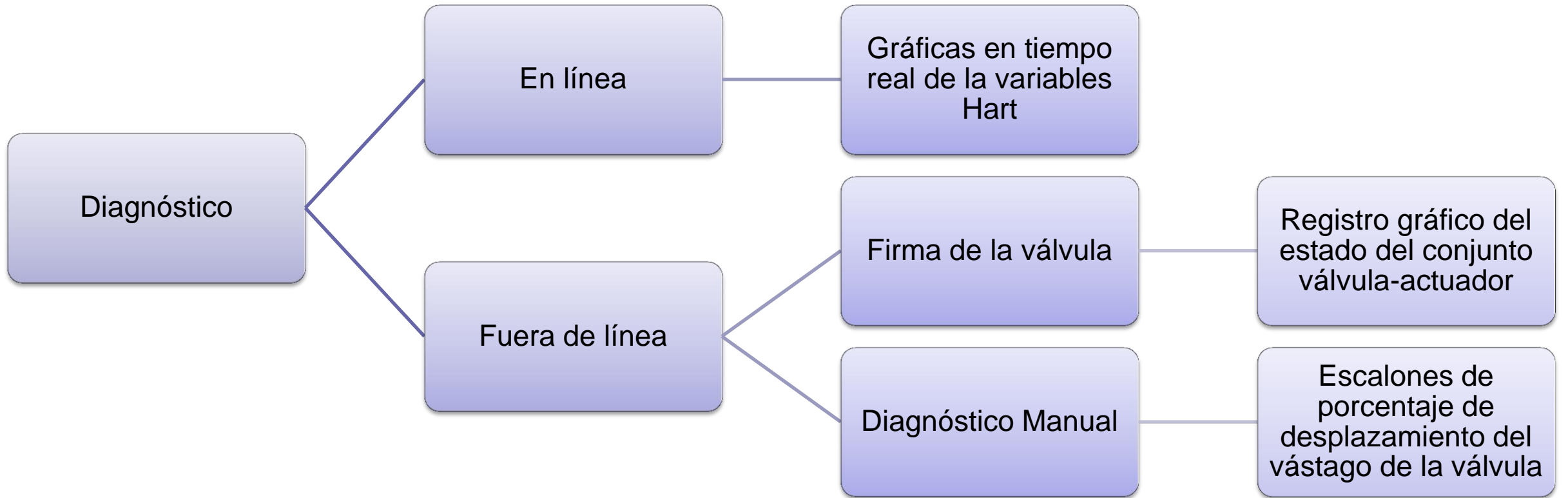
Si el usuario puede describir una estrategia de control cualitativo, puede utilizar la lógica difusa para crear un controlador difuso.



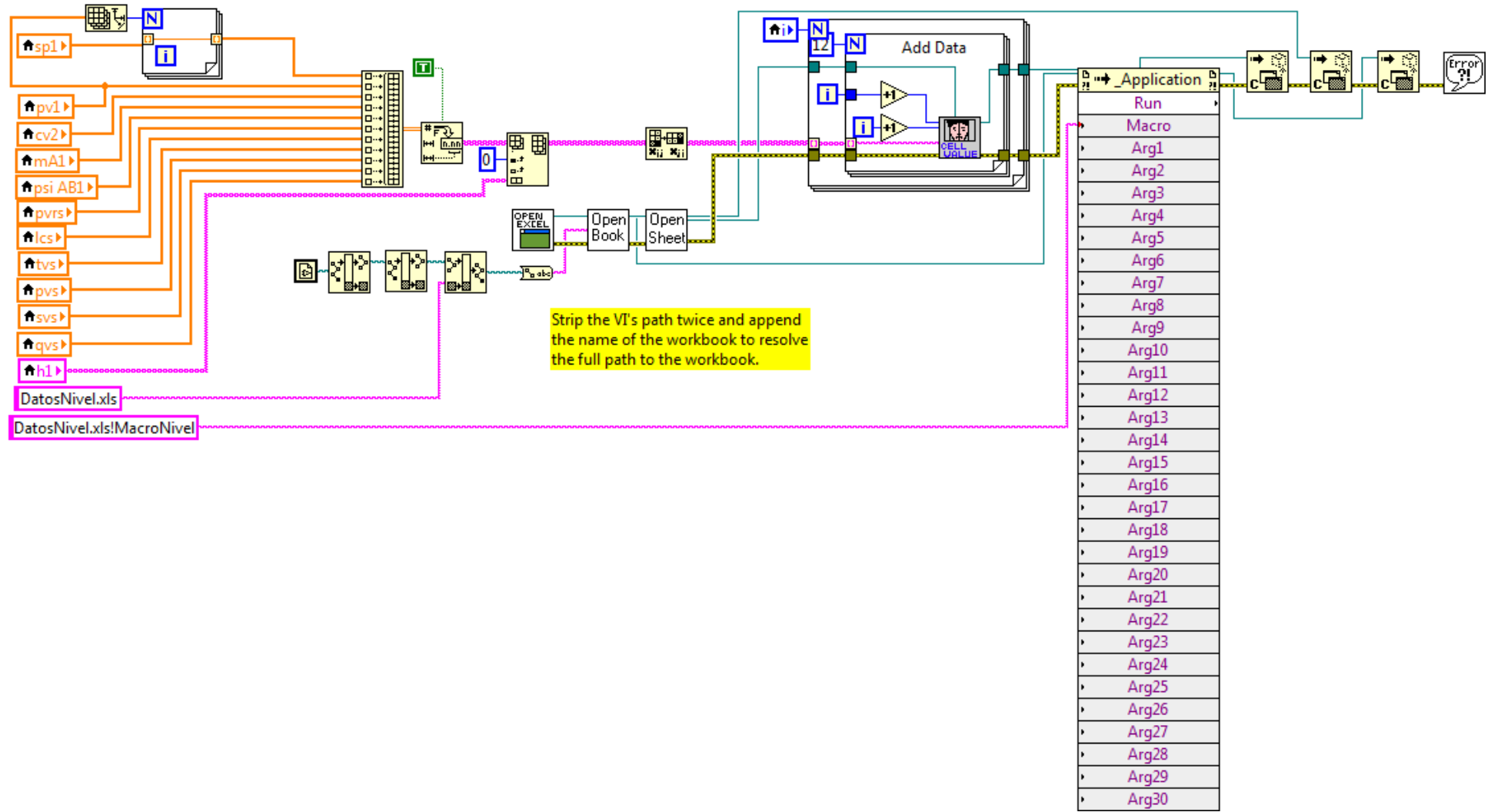
# Control Difuso en Labview



# DIAGNÓSTICO



# REGISTRO DE DATOS





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

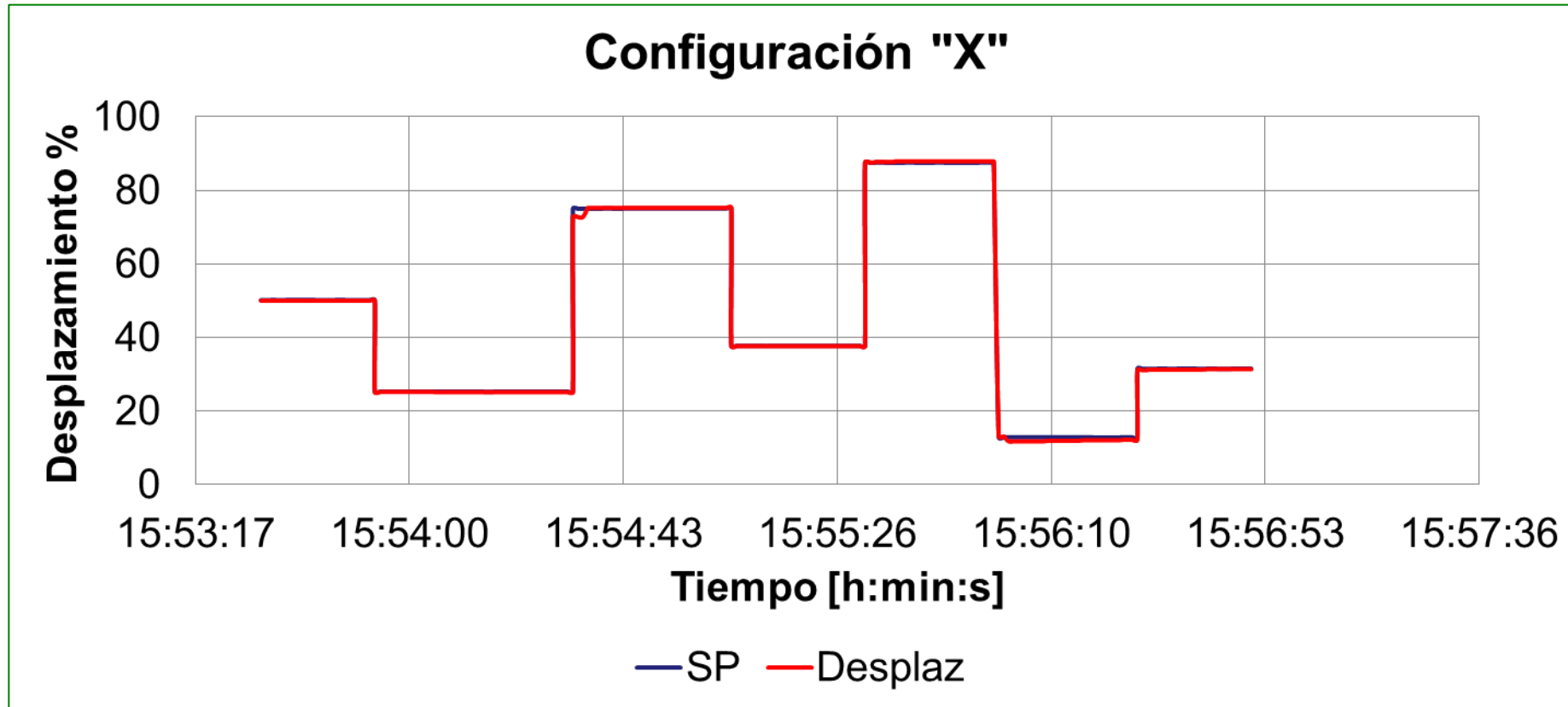
# ANÁLISIS DE RESULTADOS



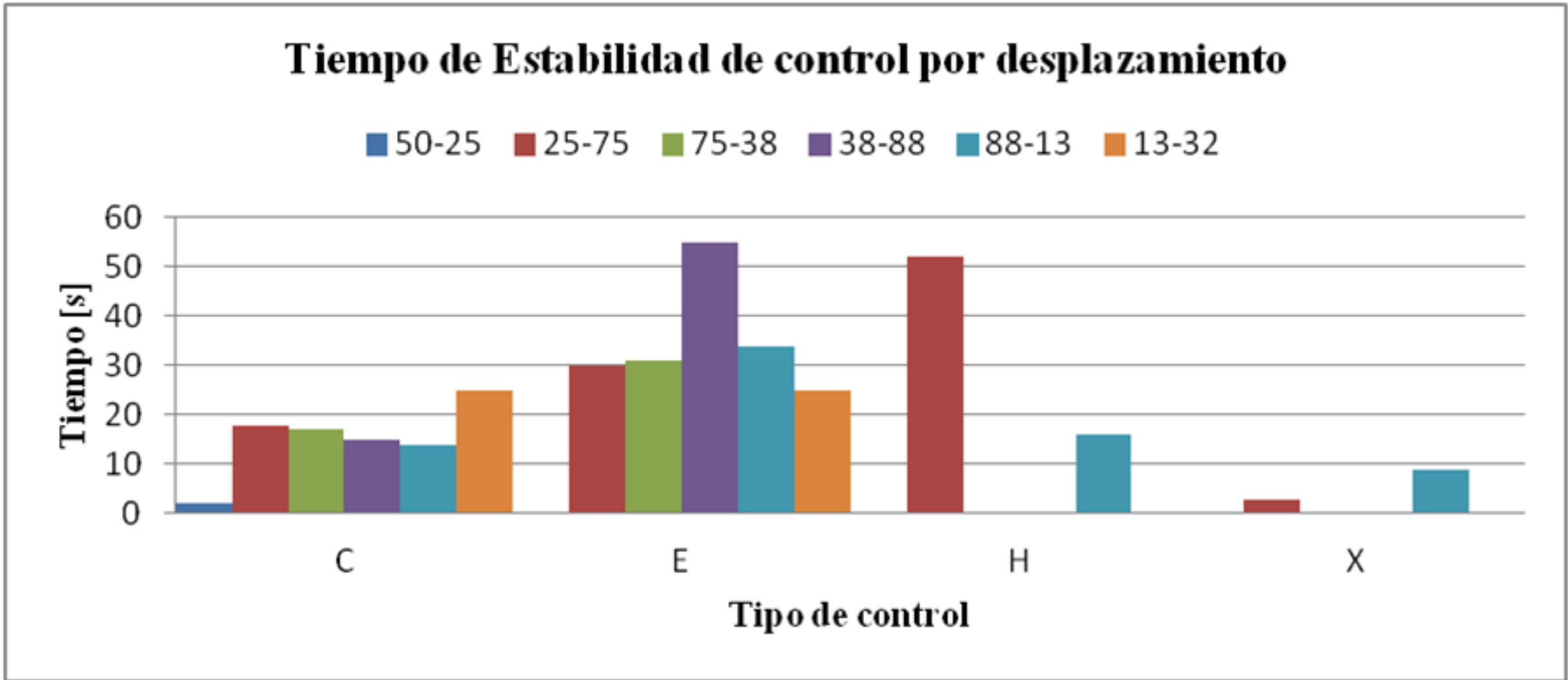


# PRUEBA DE SINTONIZACIÓN DEL POSICIONADOR

- Los escalones de corriente fueron equivalentes a cambios de porcentaje de desplazamiento de 50% a 25%, de 25% a 75%, de 75% a 38%, de 38% a 88%, de 88% a 13% y de 13% a 32%.



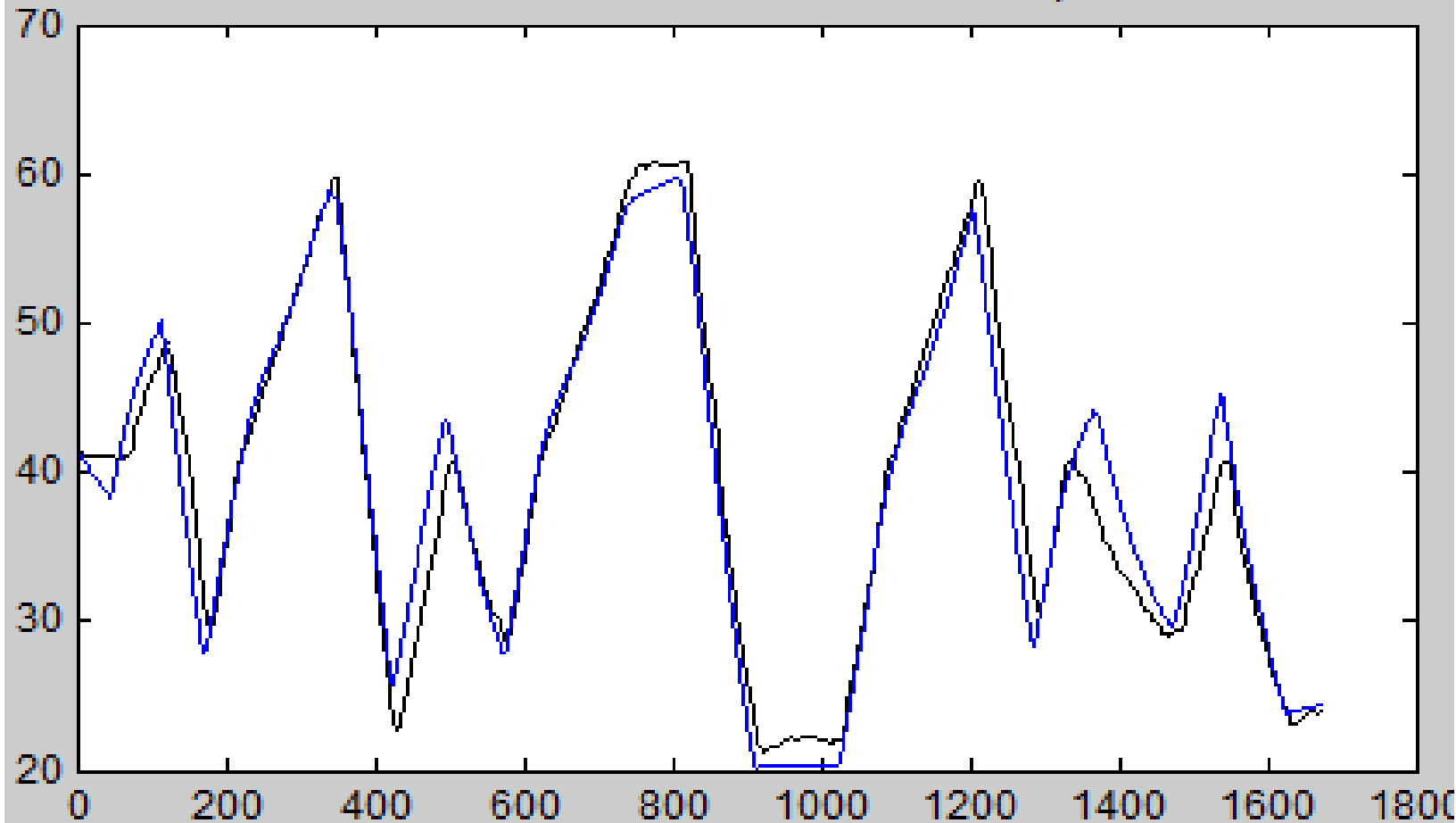
# RESULTADO DE SINTONIZACIÓN



# Modelo matemático de la estación de nivel

$$y(t) + a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1u(t-n_k) + \dots + b_{n_b}u(t-n_b-n_k+1) + et$$

Measured and simulated model output



yt: Salida en tiempo t  
na: Numero de polos.  
nb: Número de ceros + 1  
nk: Tiempo muerto en el sistema.

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + e(t)$$

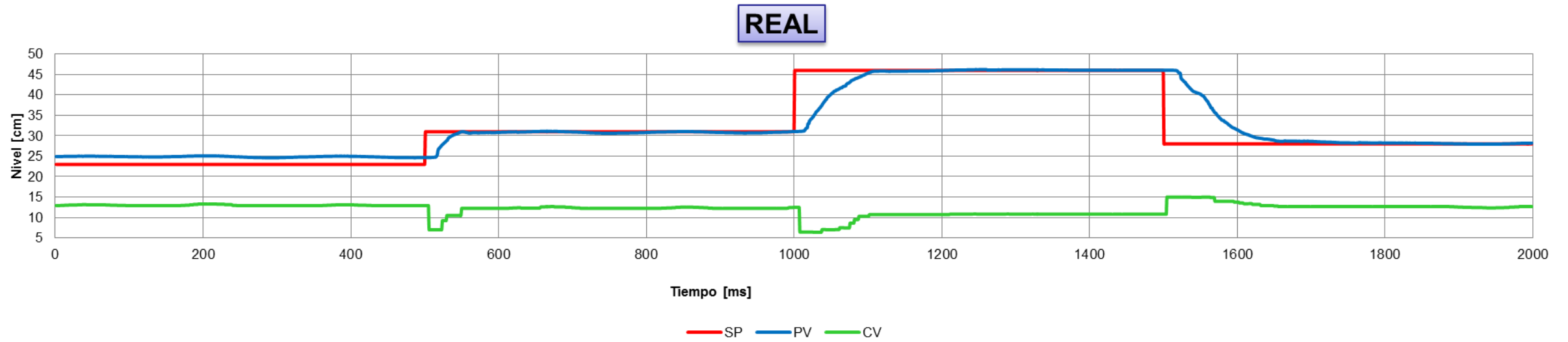
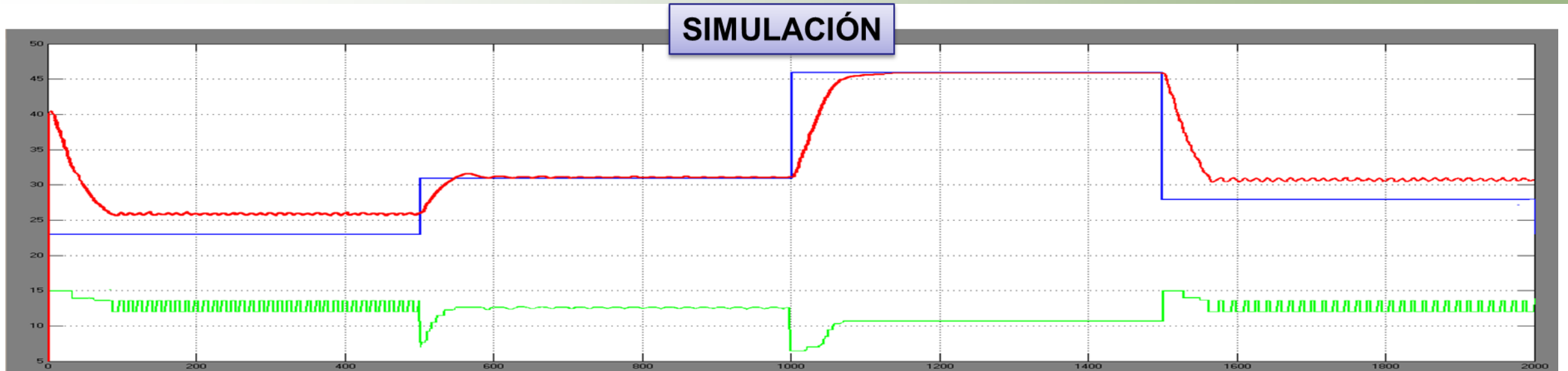
na M Ny\*Ny A(q)

nb M Ny\*Nu B(q)

nk M Ny\*Nu ceros del polinomio B.

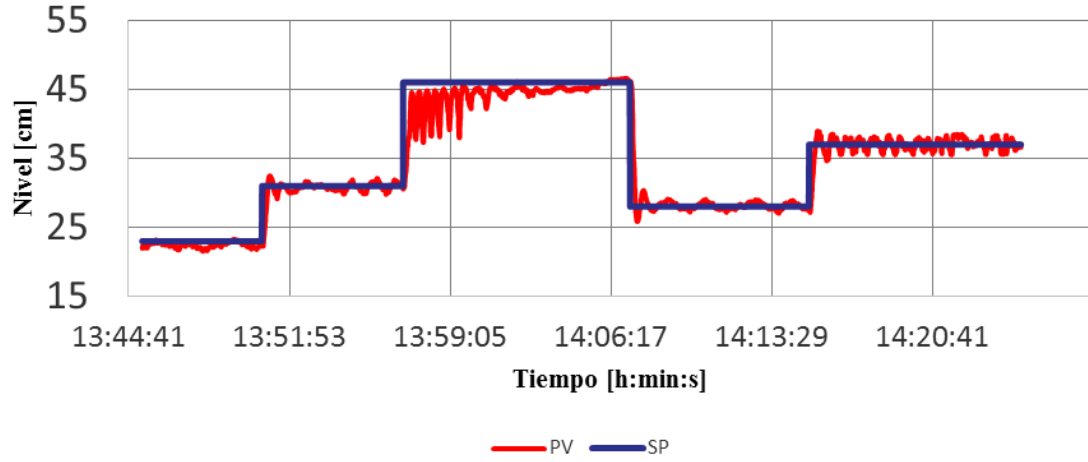


# VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

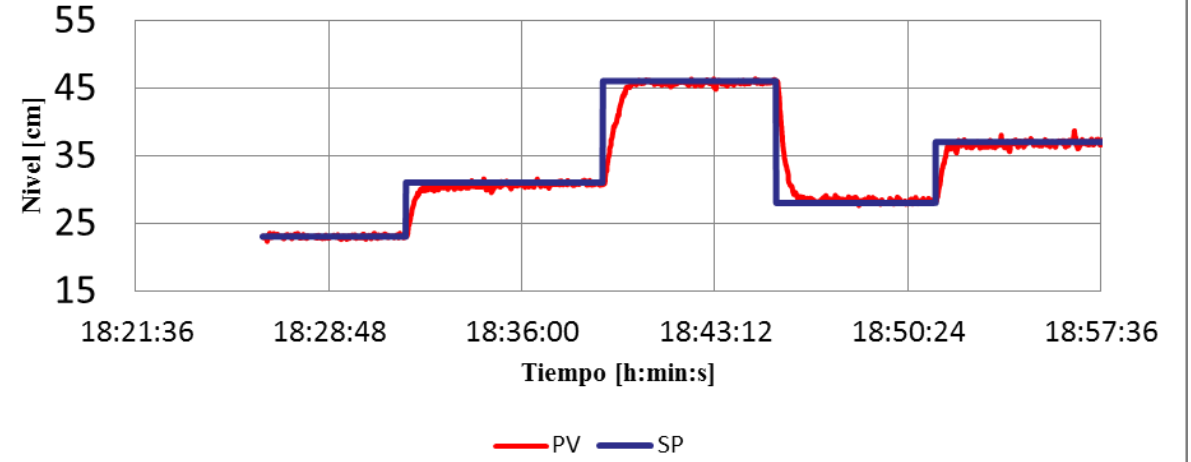


# PROPORCIONAL

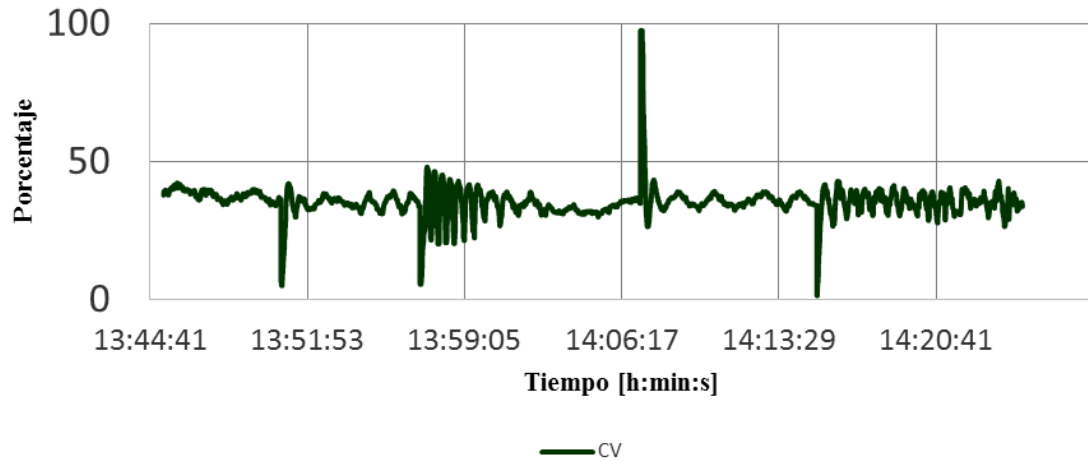
CIP\_P\_C2



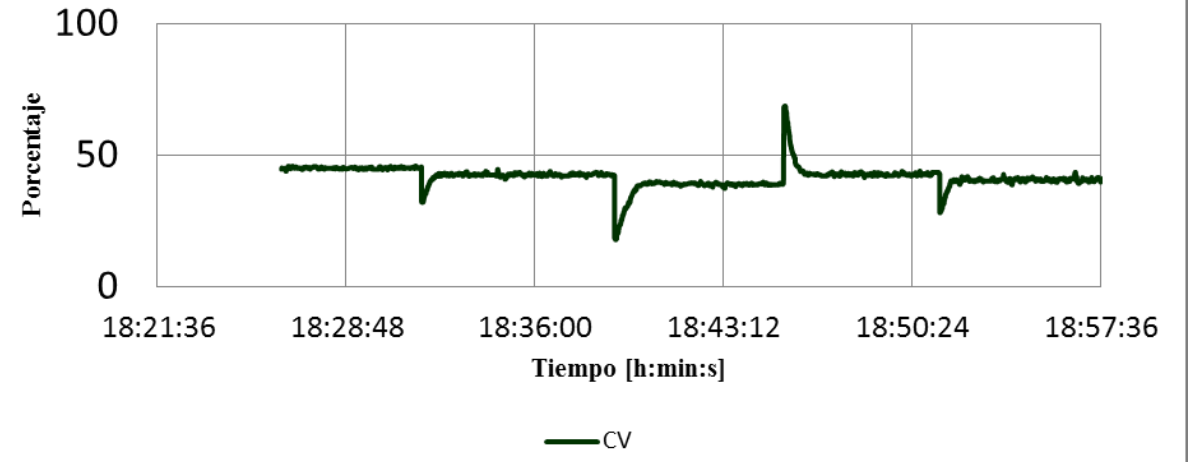
PSC\_P\_C2



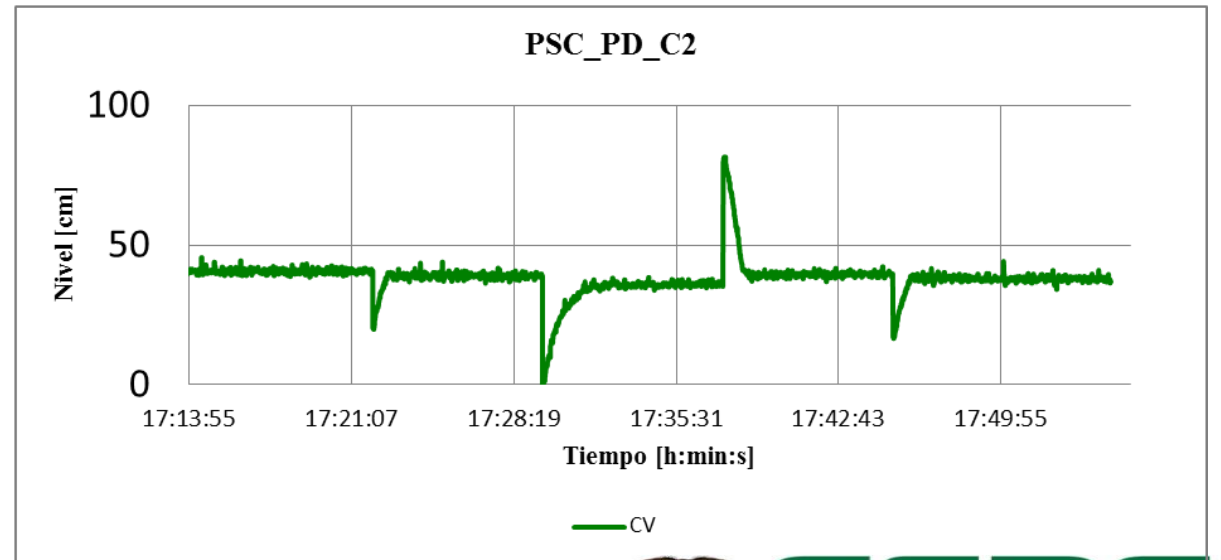
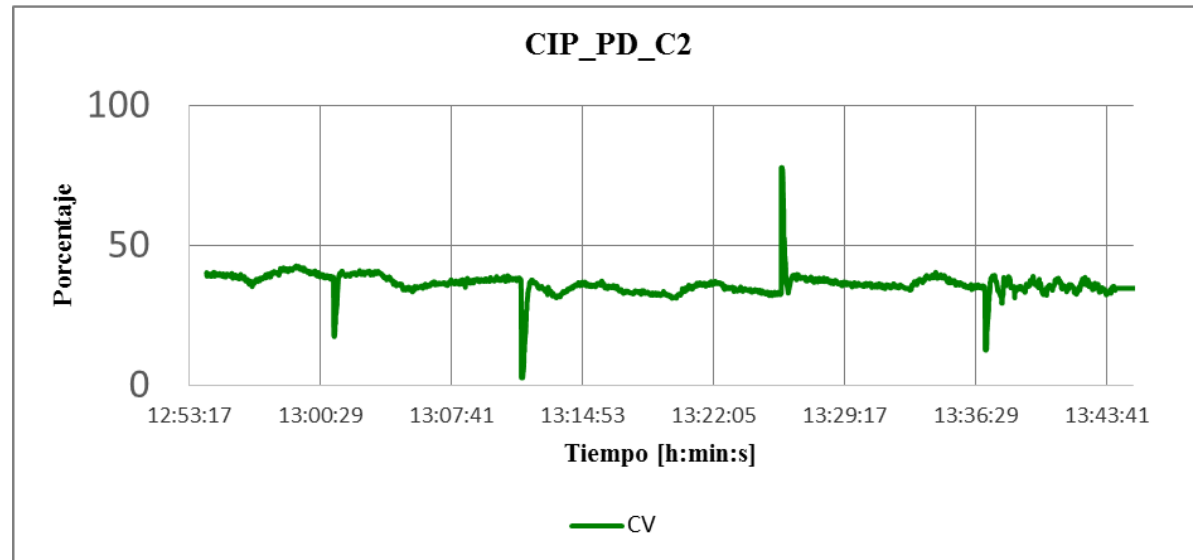
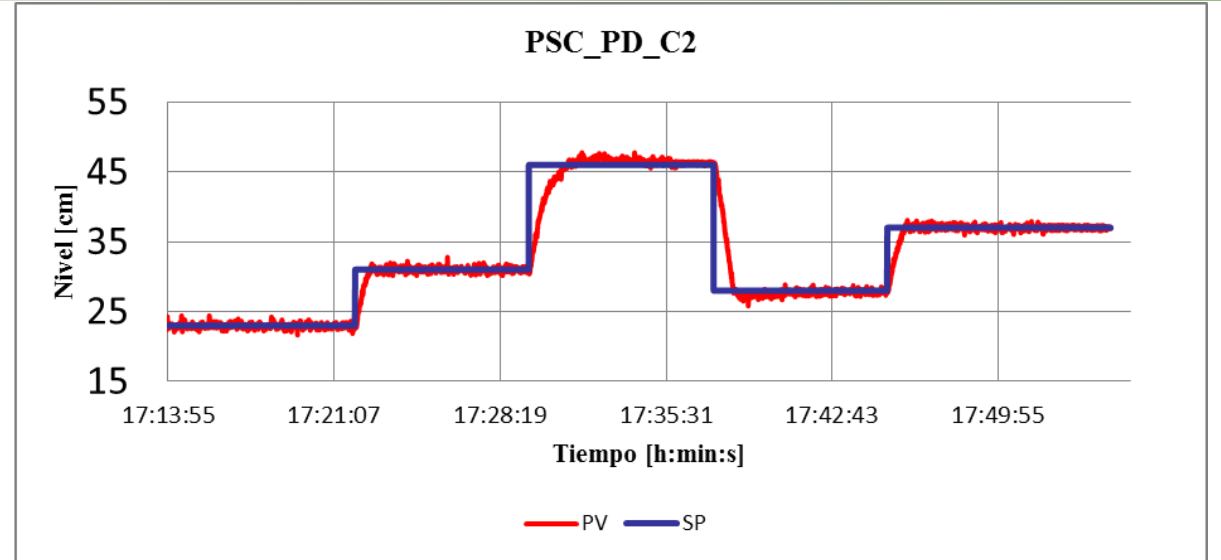
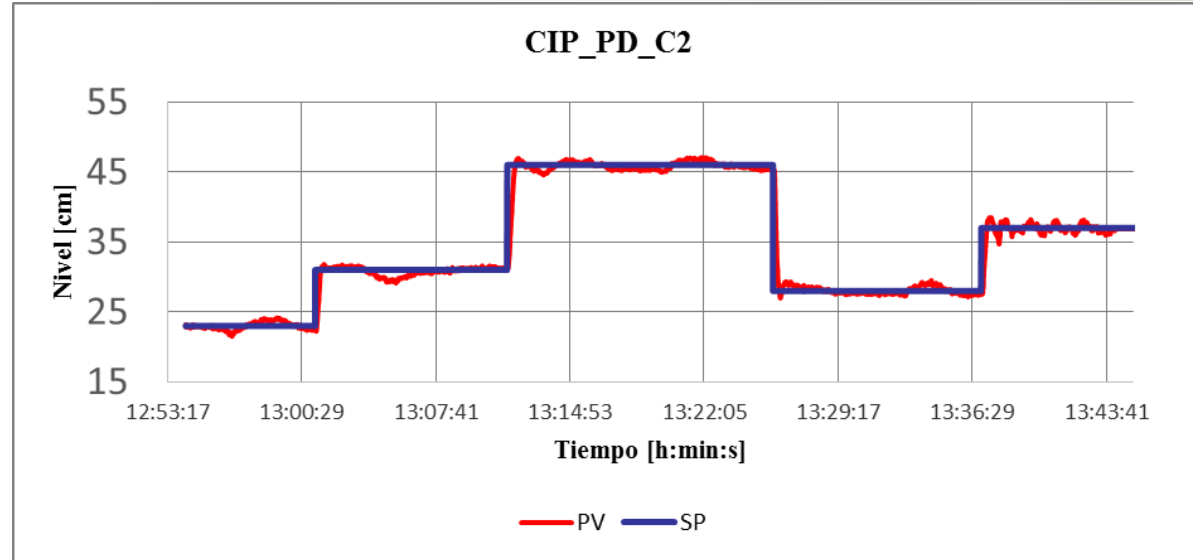
CIP\_P\_C2



PSC\_P\_C2

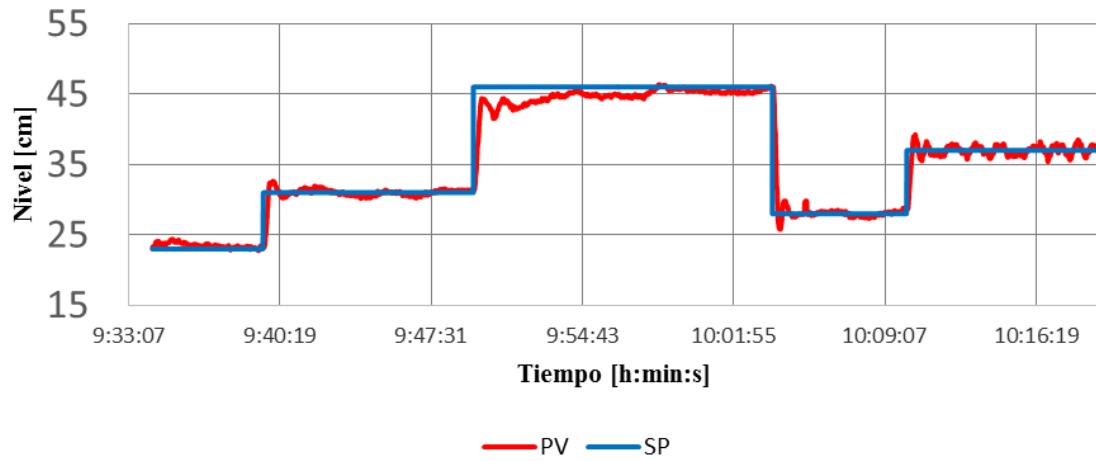


# PROPORCIONAL DERIVATIVO

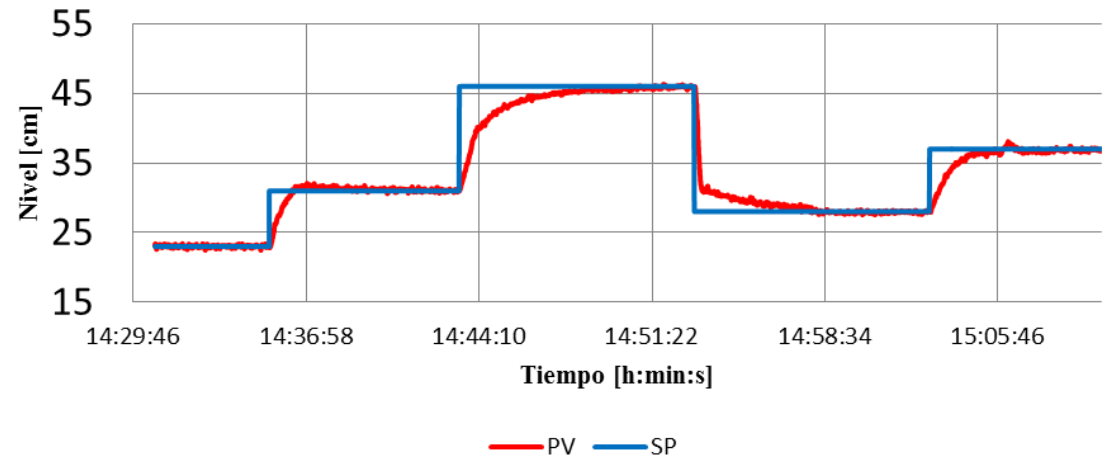


# Proporcional Integral

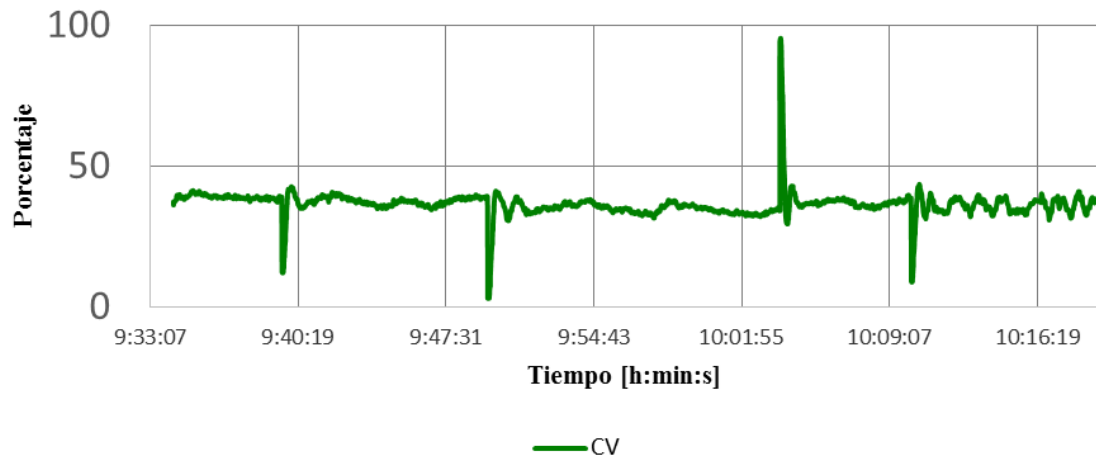
CIP\_PI\_C2



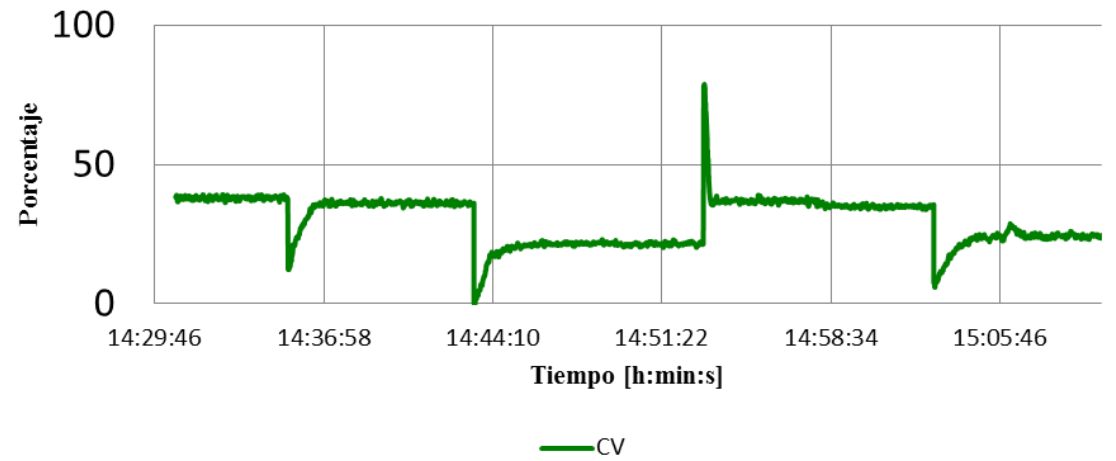
PSC\_PI\_C2



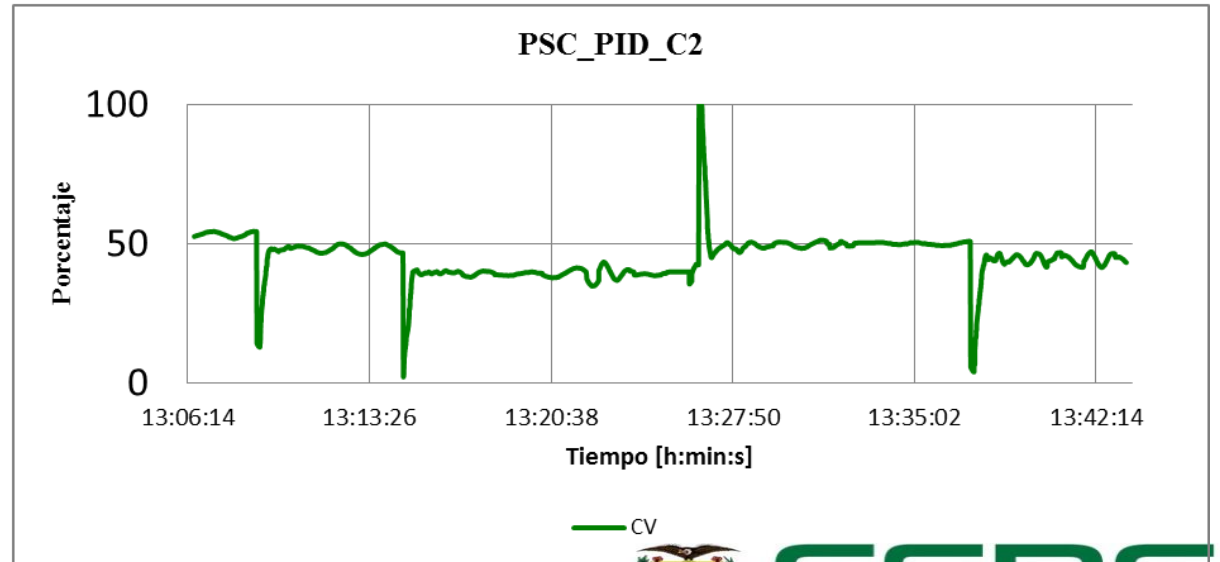
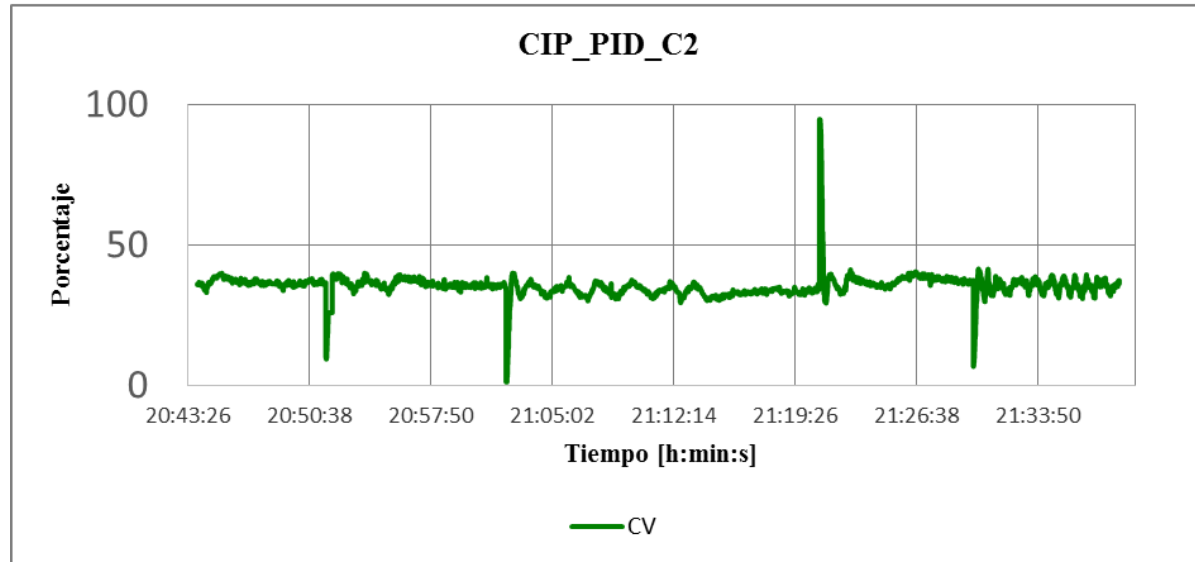
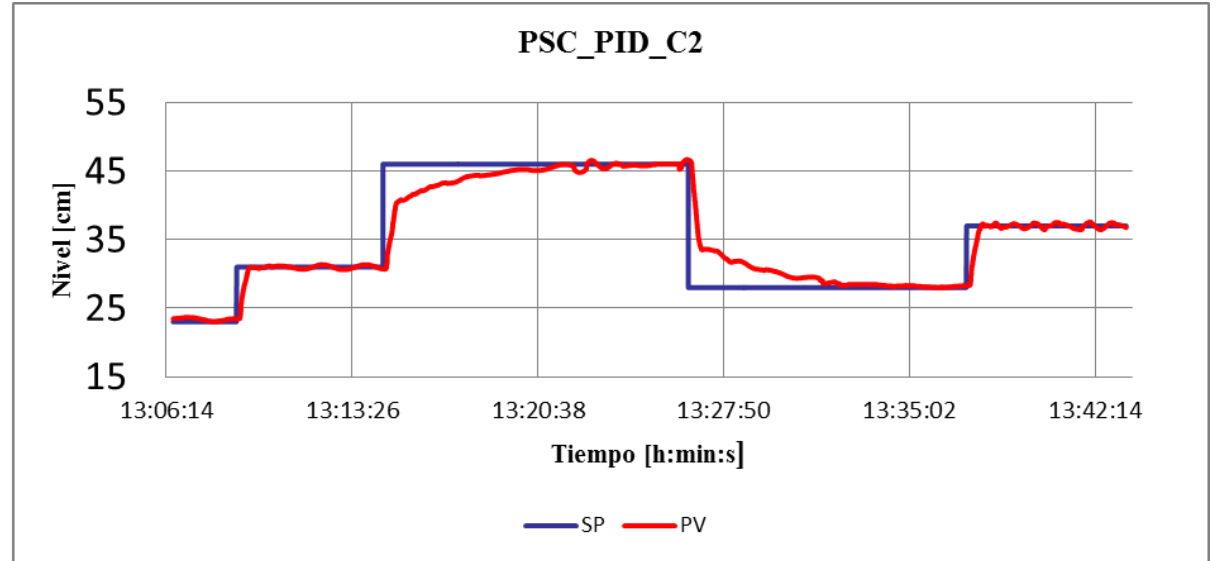
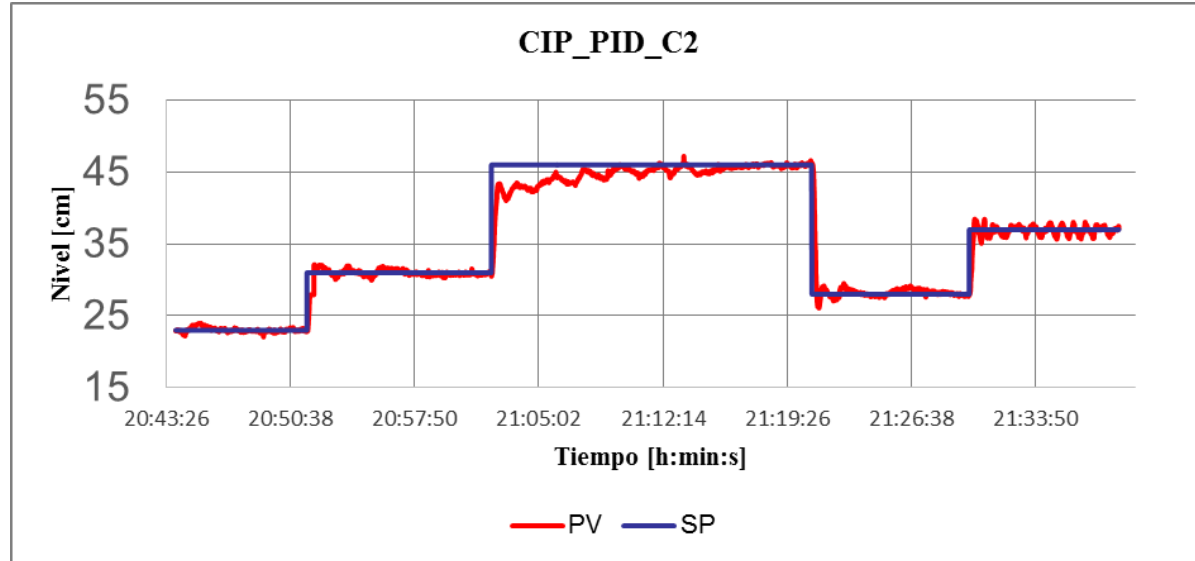
CIP\_PI\_C2



PSC\_PI\_C2



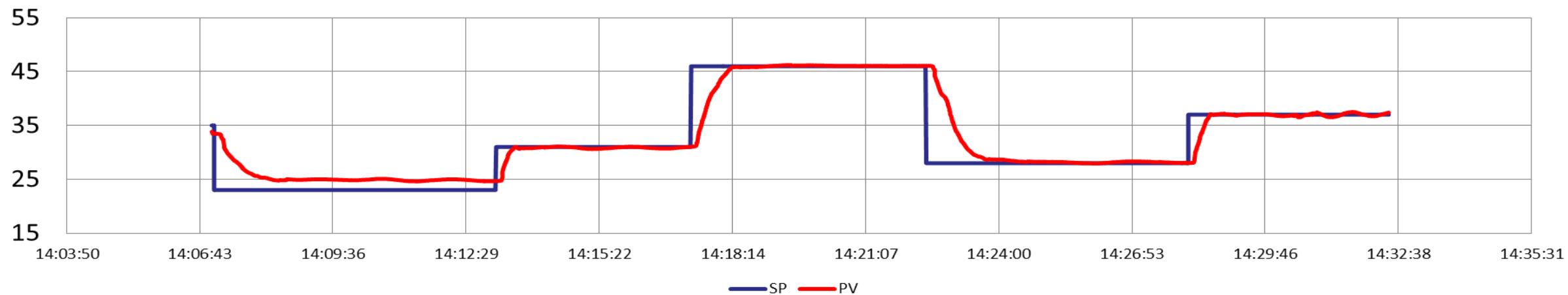
# Proporcional Integral Derivativo



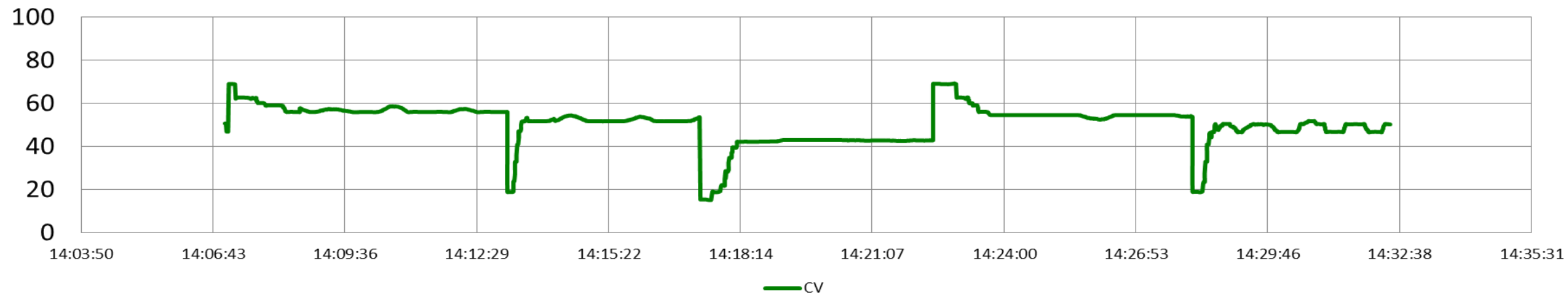


# Lógica Difusa

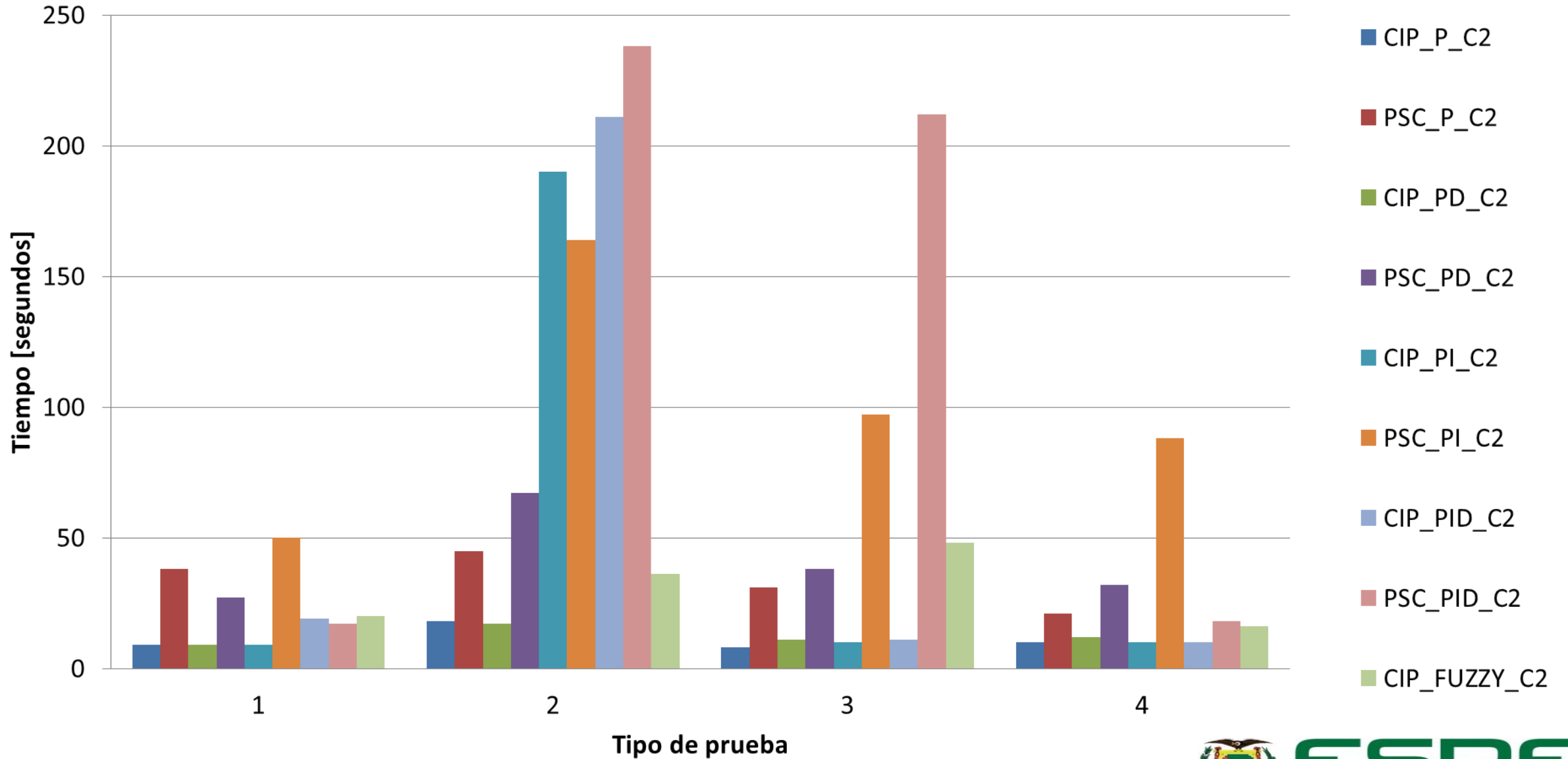
## PSC\_FUZZY\_C2



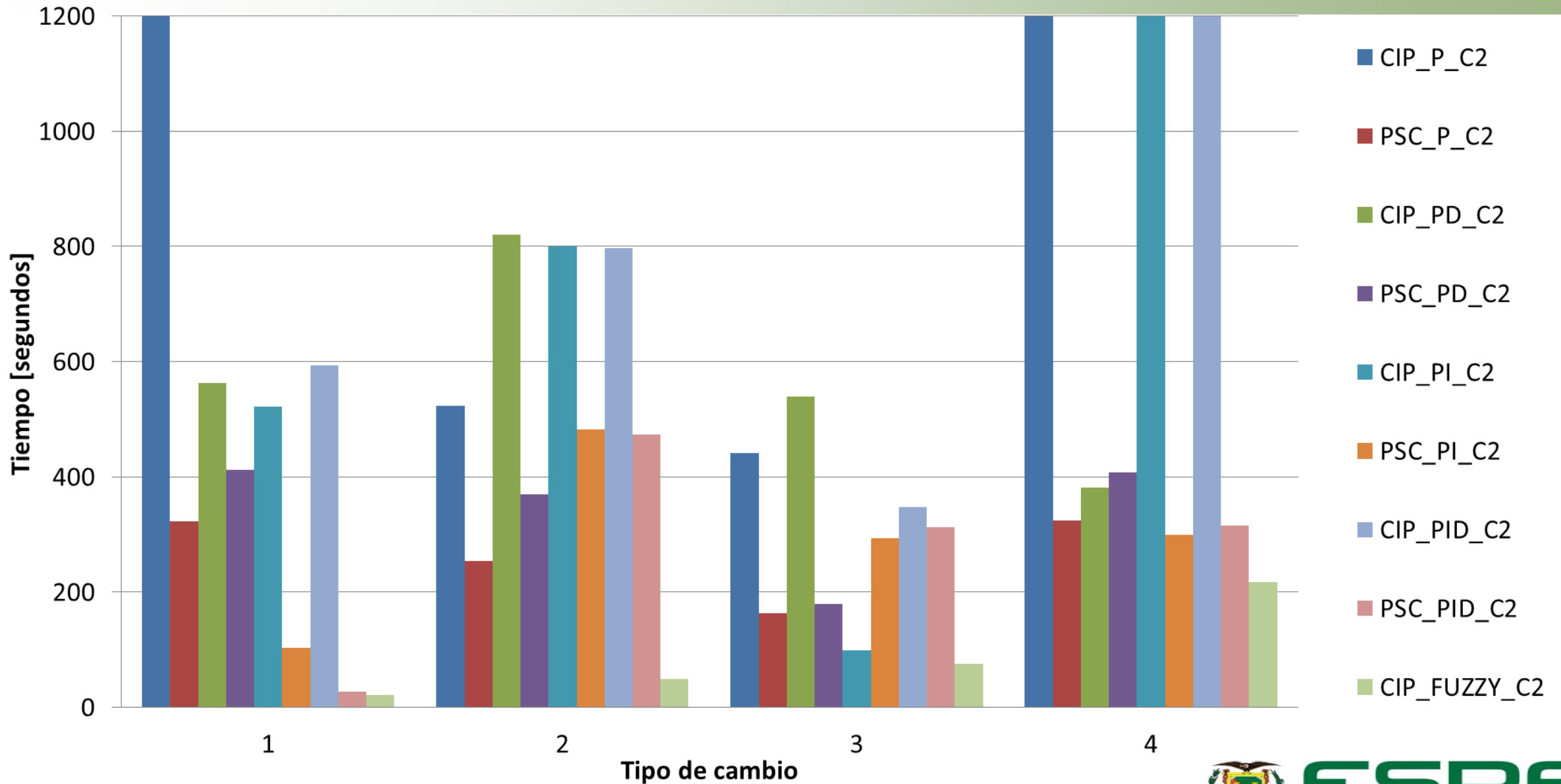
## PSC\_FUZZY\_C2



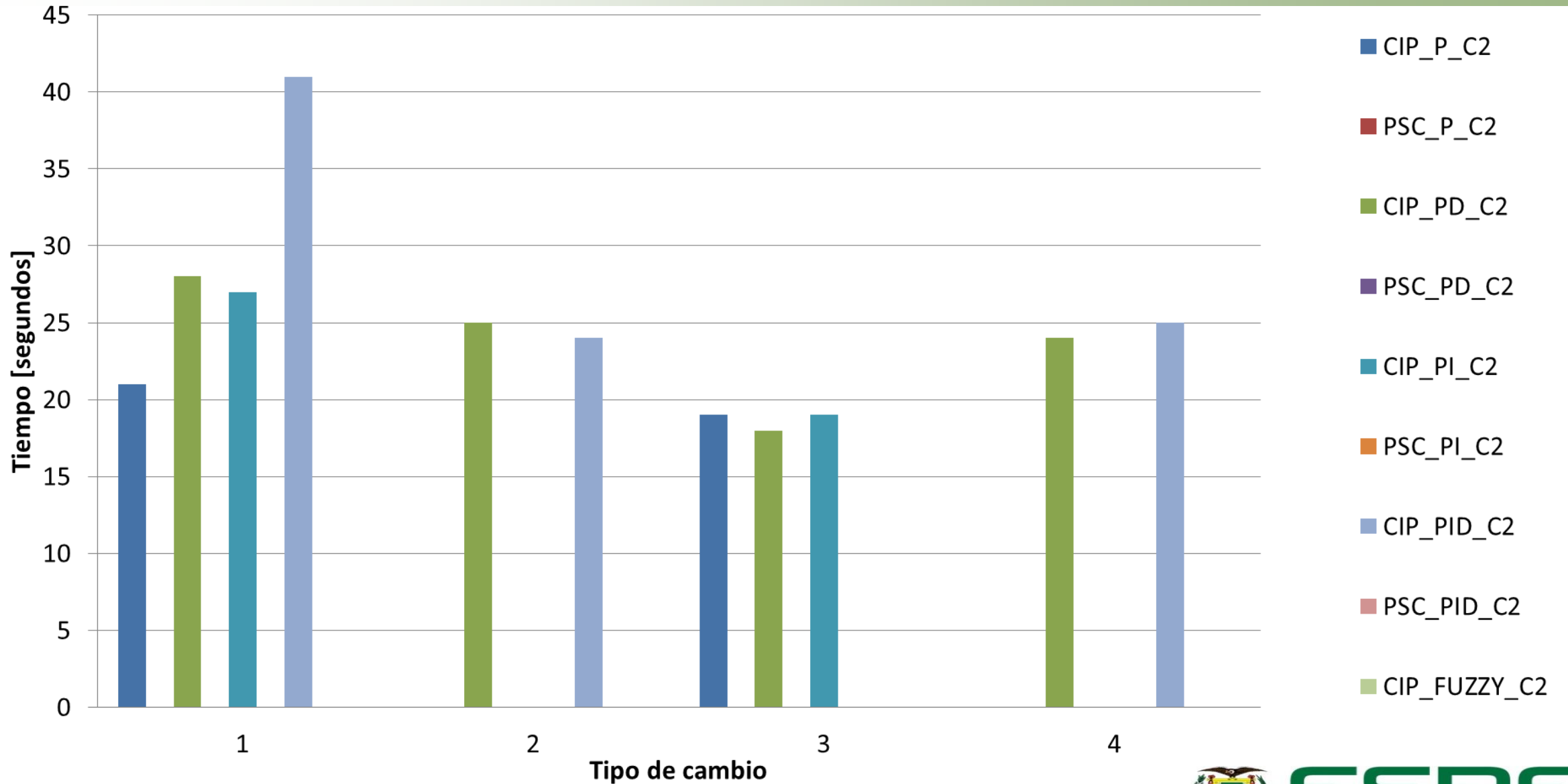
# TIEMPO DE LEVANTAMIENTO



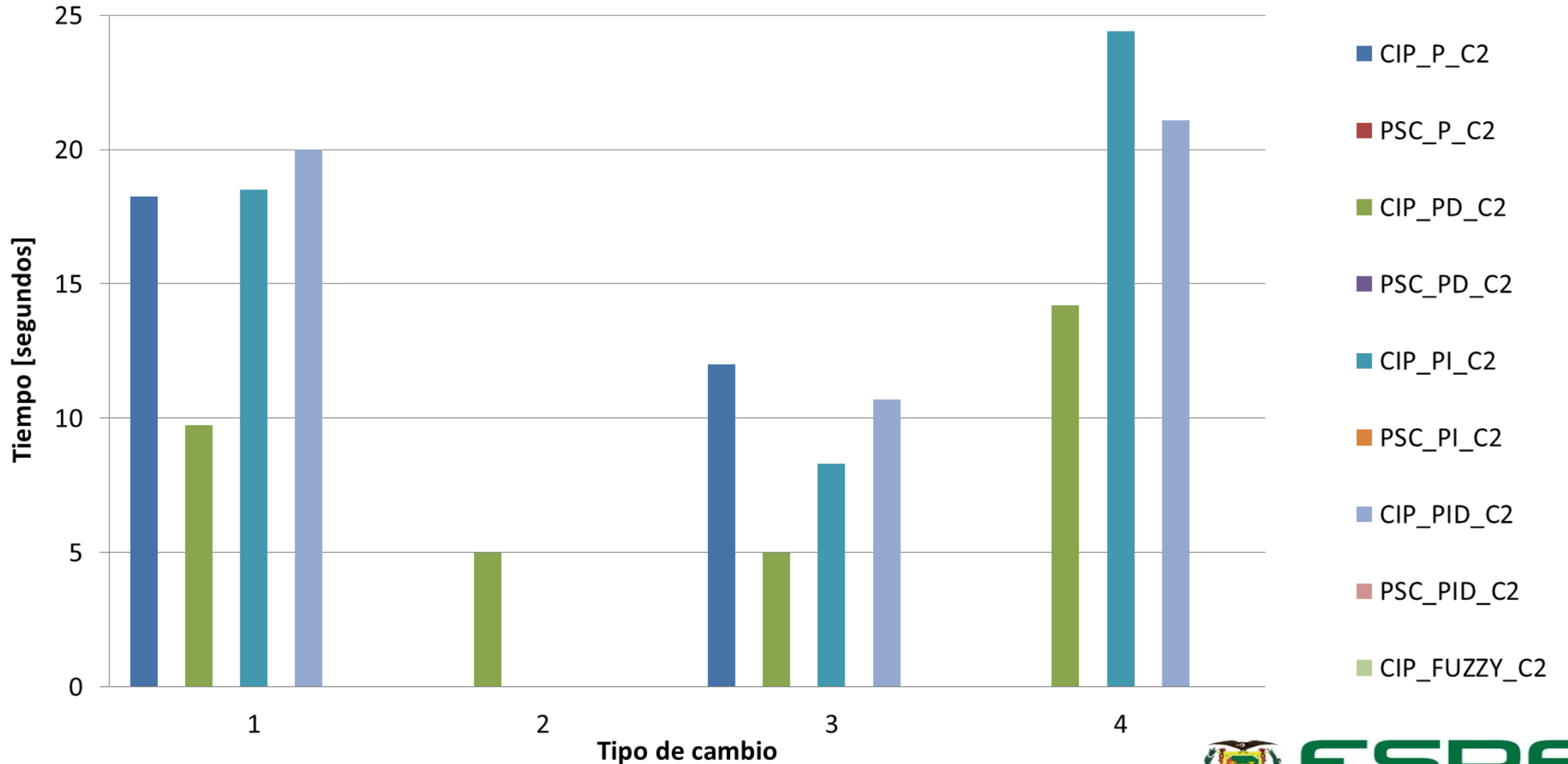
# TIEMPO DE ESTABILIDAD



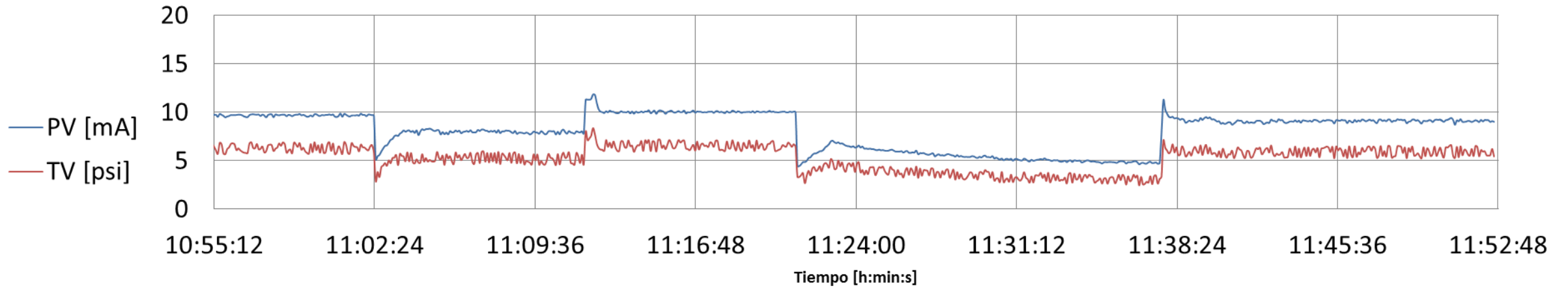
# TIEMPO PICO



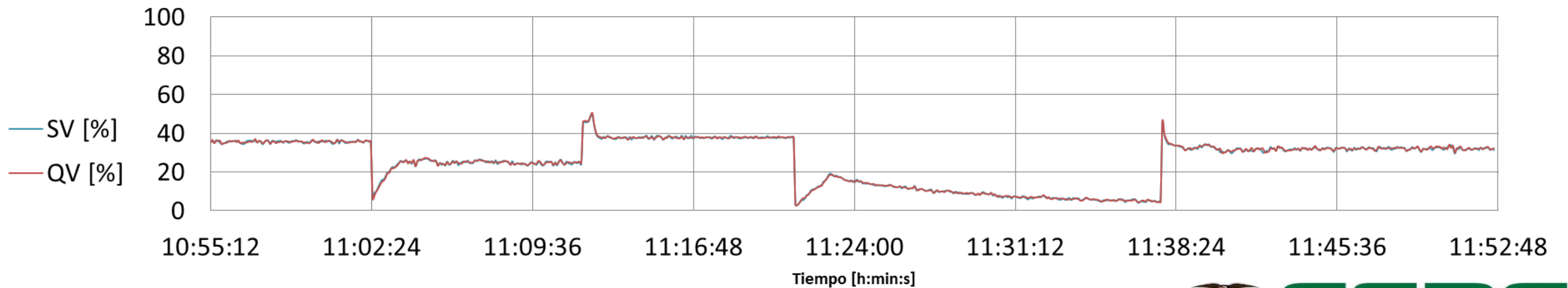
# % SOBRE IMPULSO



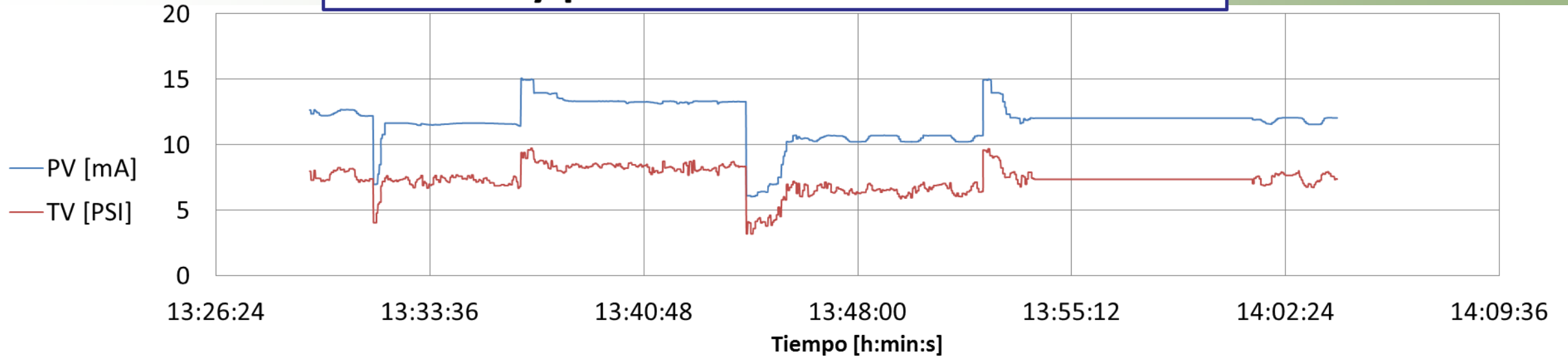
## Corriente y presión tomados con PACTWARE



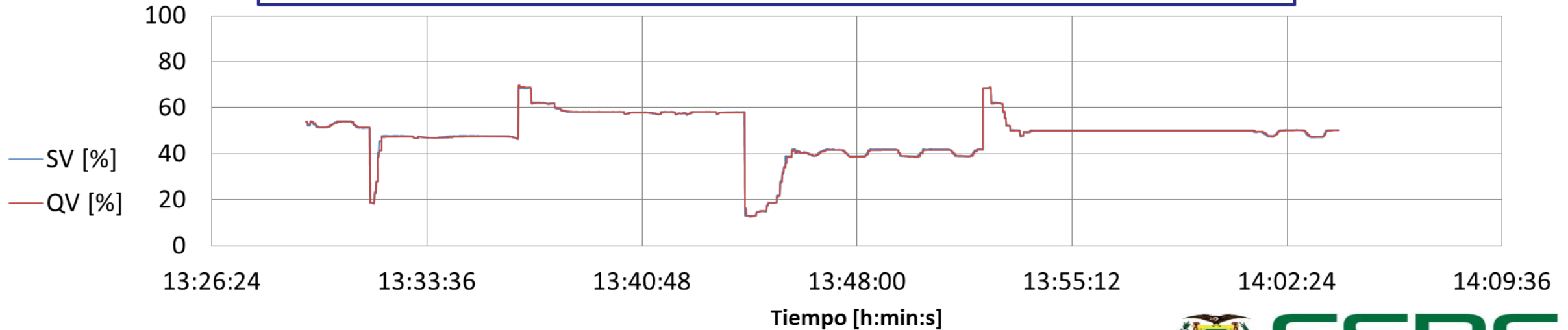
## % Desplazamiento vástago tomado con PACTWARE



## Corriente y presión tomados con Hart Server

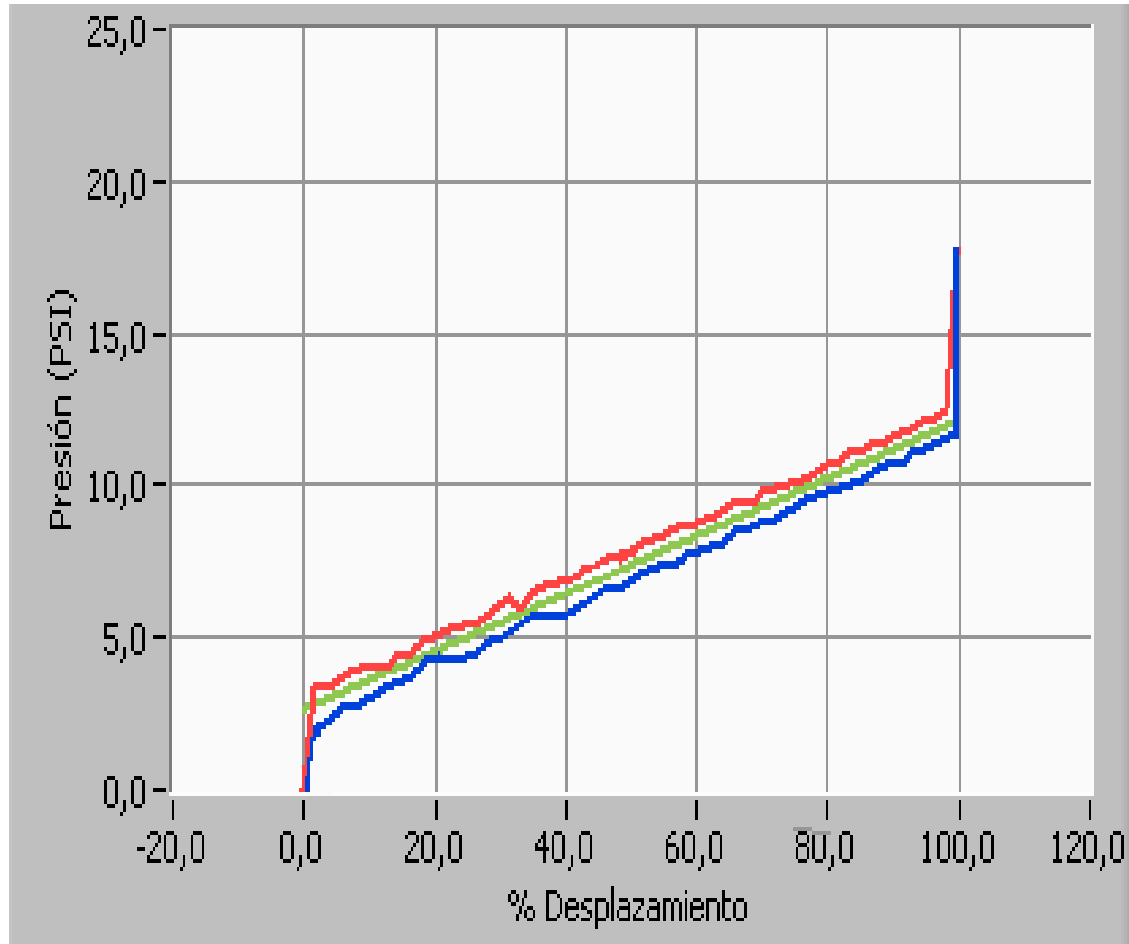


## % Desplazamiento vástago tomado con Hart Server

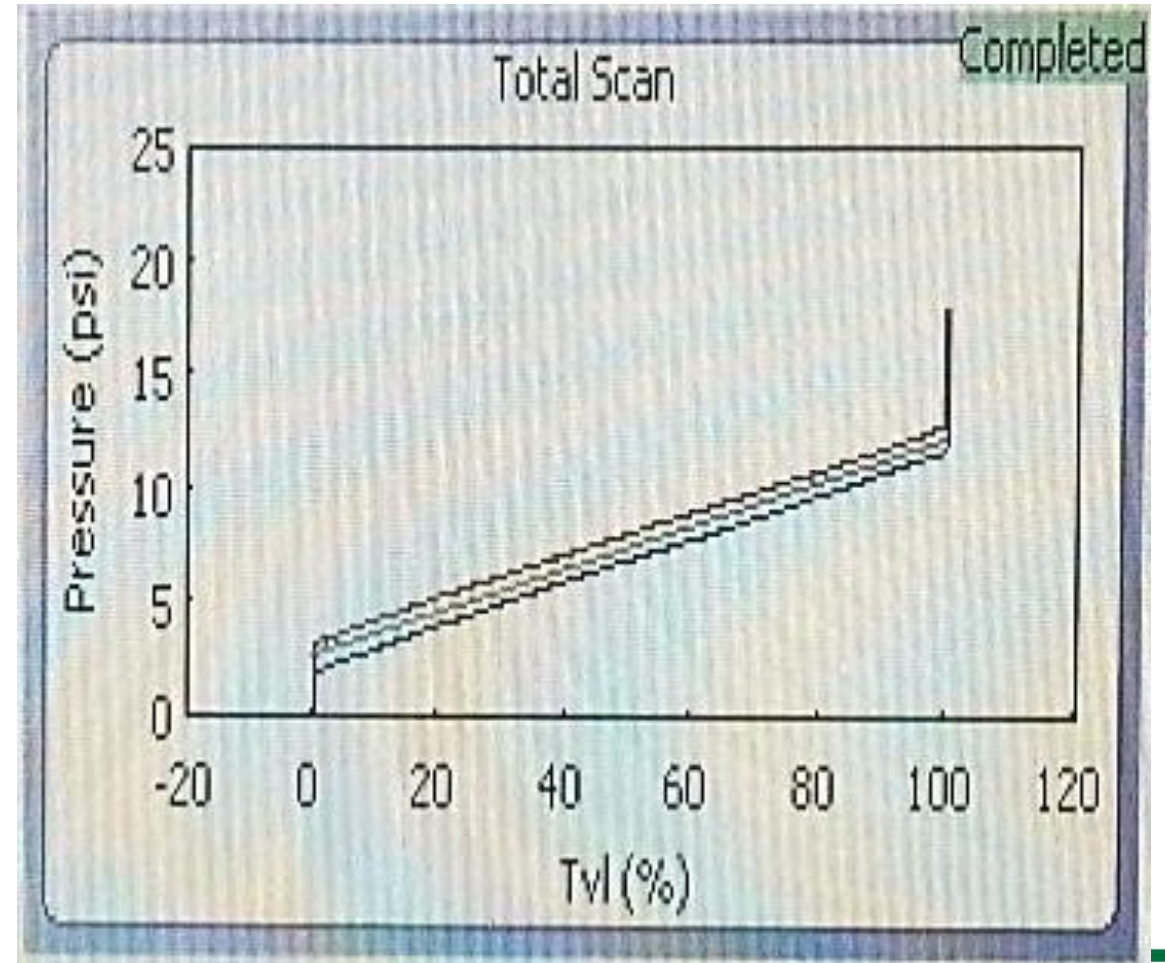


# Diagnóstico – Firma de la válvula

## Software Labview



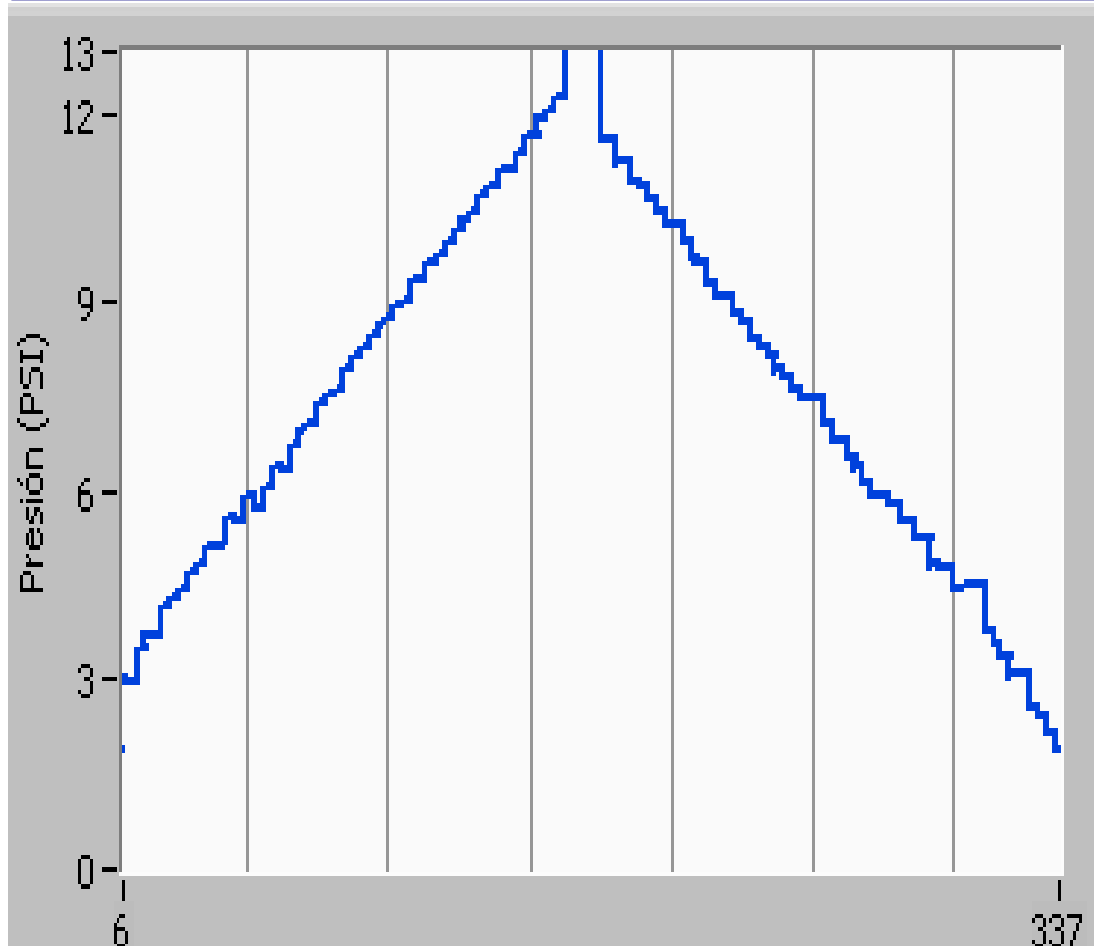
## Comunicador 475



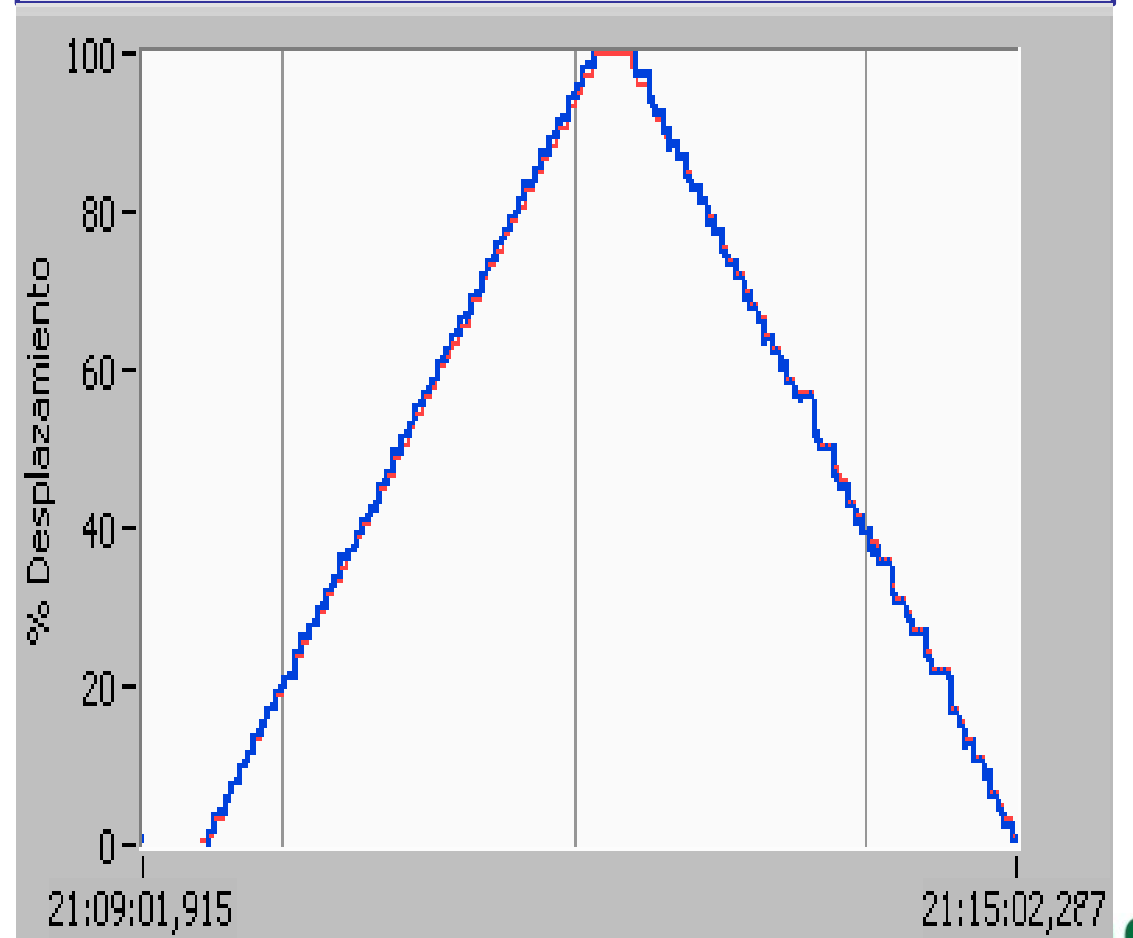


# Diagnóstico – Firma de la válvula

## Presión de entrada vs. Tiempo

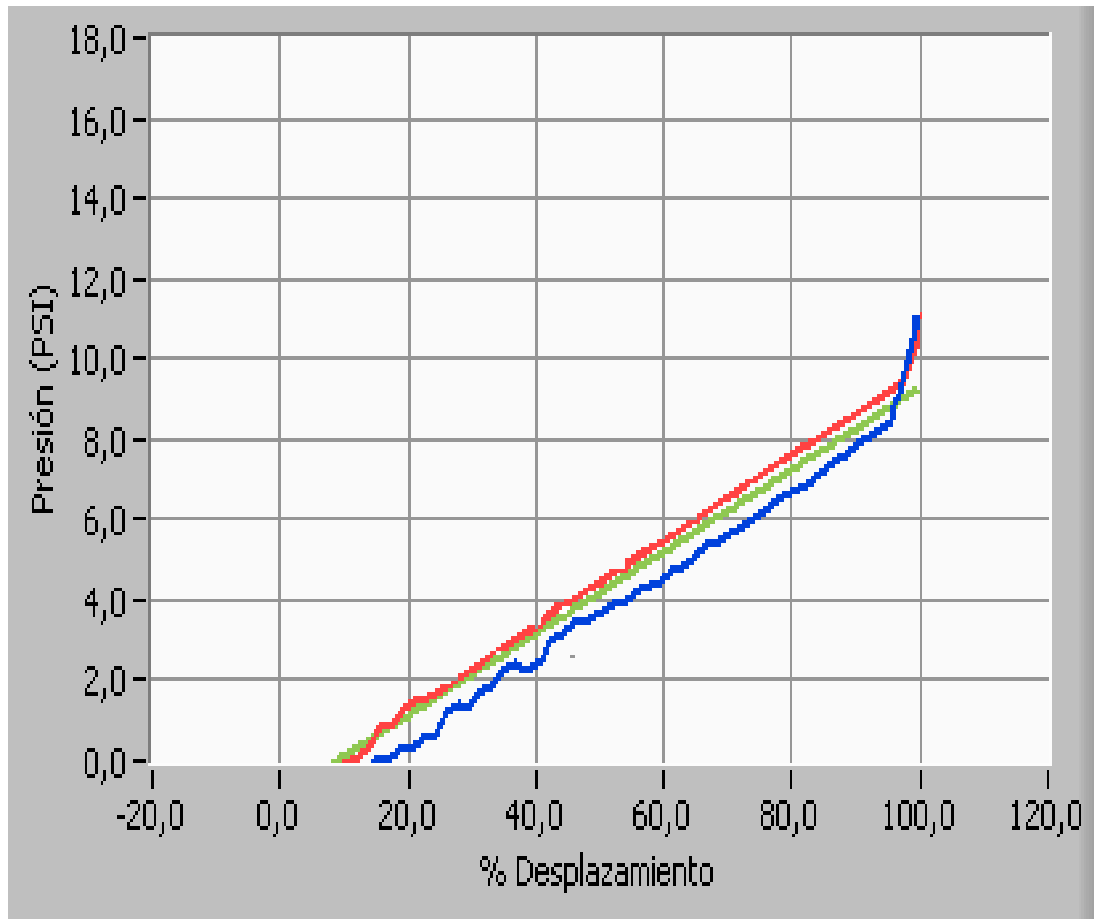


## % de Desplazamiento vs. Tiempo % Punto de consigna vs. Tiempo

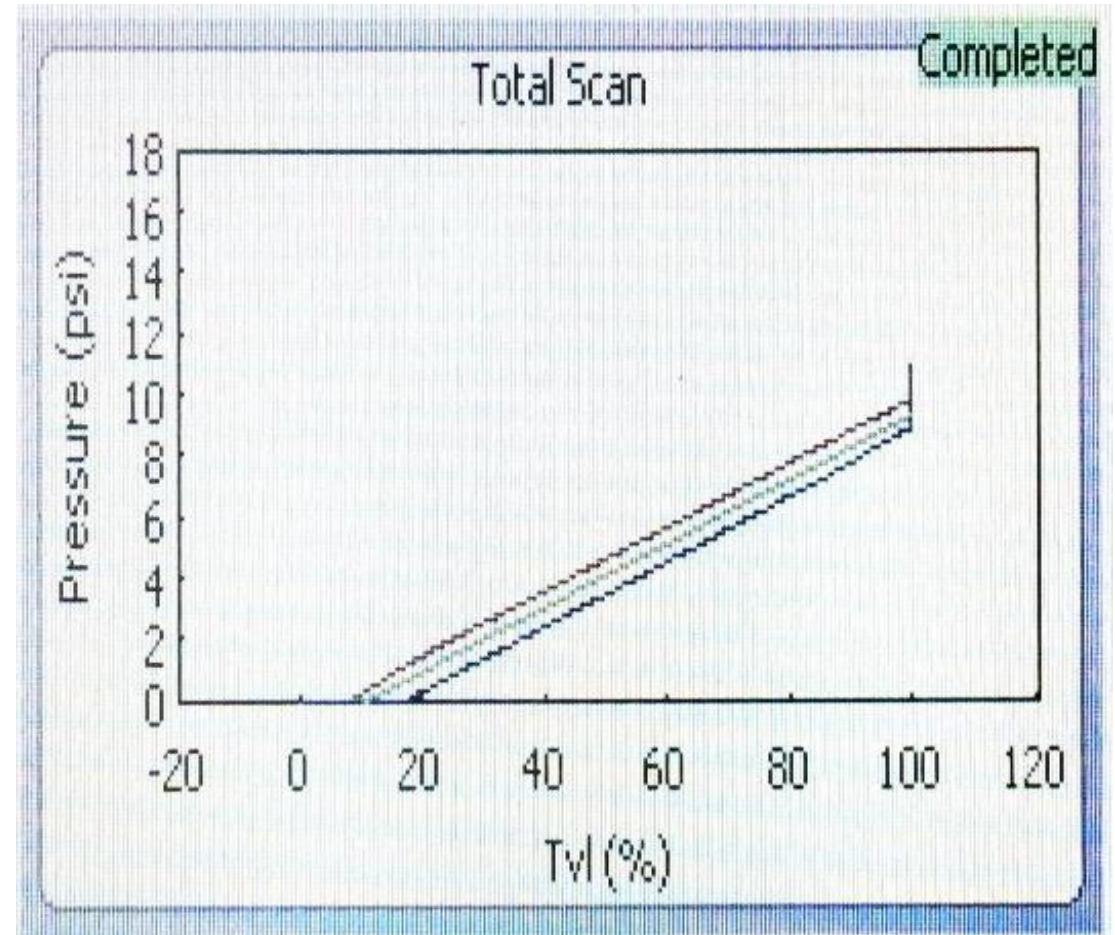


# Diagnóstico – Firma de la válvula

## Software Labview

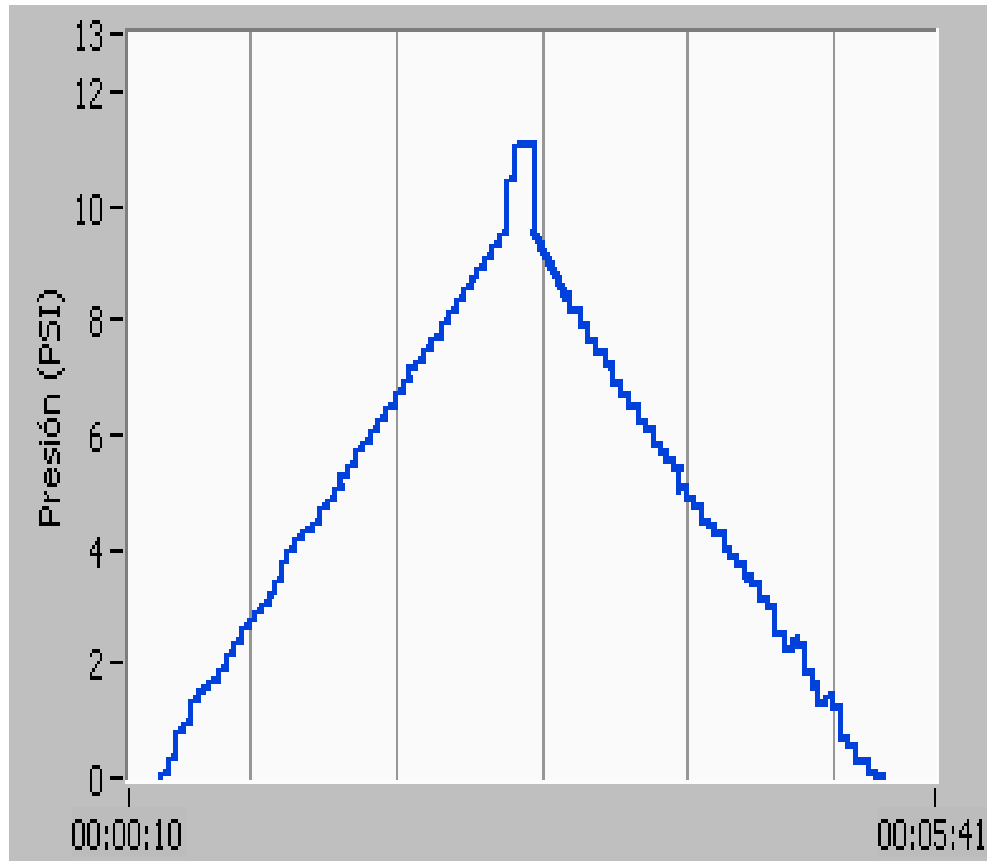


## Comunicador 475

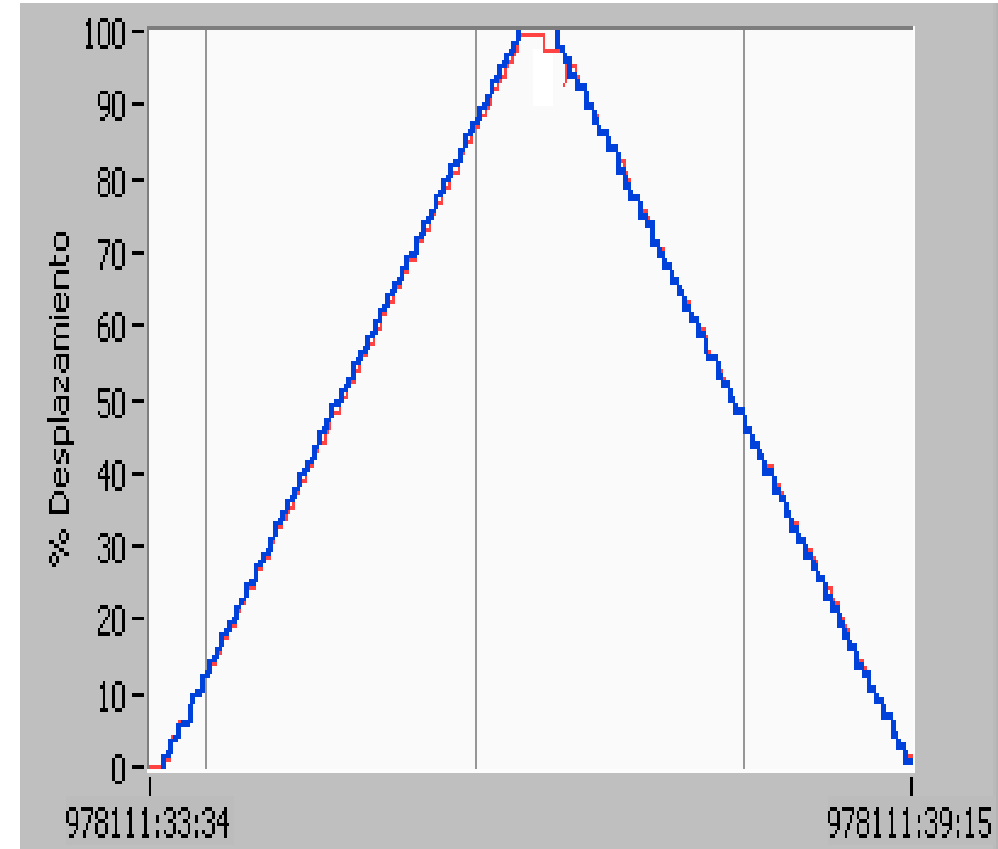


# Diagnóstico – Firma de la válvula

## Presión de entrada vs. Tiempo

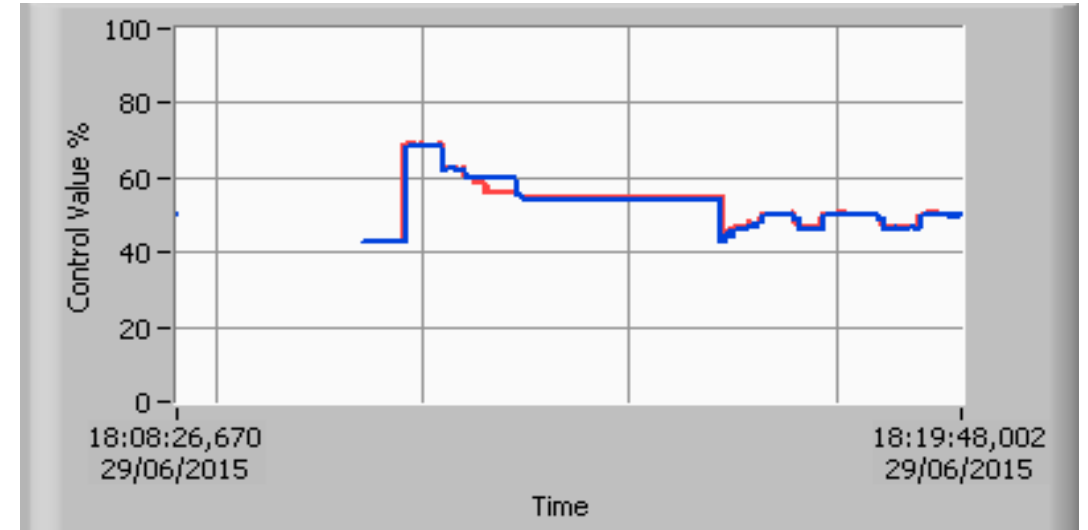
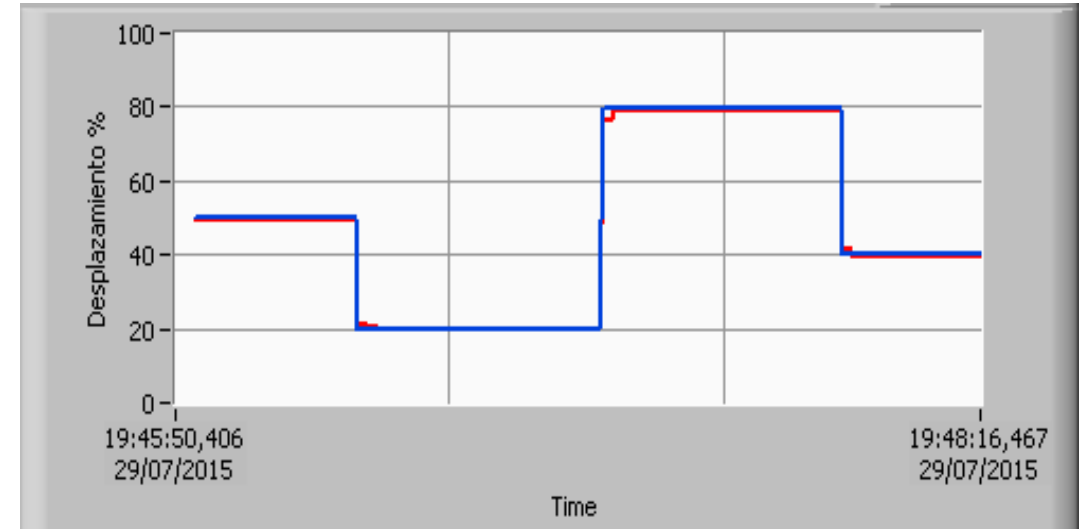
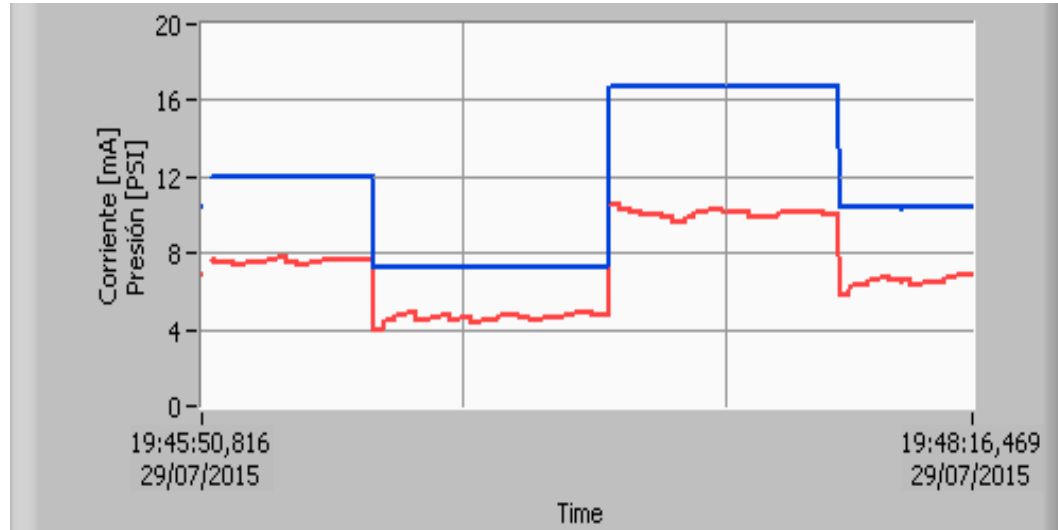


## % de Desplazamiento vs. Tiempo % Punto de consigna vs. Tiempo



# Diagnóstico – Fuera de línea manual

Se realizaron pruebas con el diagnóstico fuera de línea manual, aplicando al posicionador escalones de corriente de 12, 8, 16 y 11 mA como señal de control





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Conclusiones y Recomendaciones



# CONCLUSIONES

- El controlador inteligente de la válvula o posicionador evita que el control sea errático y lo vuelve estable al compensar las fuerzas de desequilibrio que actúan sobre la válvula, mejorando el control de la variable nivel en este caso.
- La implementación del posicionador mejoró sustancialmente la estabilidad de la válvula y la estabilidad del sistema pero en menor grado, por lo que se concluye que se incrementa la vida útil del elemento de control final.
- El posicionador permite realizar una configuración y calibración en menor tiempo ya que no es necesario retirar la válvula del sistema al utilizar un configurador de campo que posee un asistente que guía paso a paso al personal.



# CONCLUSIONES

- El protocolo Hart integra una señal digital sobre la señal de control de 4 a 20 mA que comunica instrumentos convencionales e inteligentes sin necesidad de modificar el diseño del sistema.
- El protocolo Hart define variables universales que los distintos dispositivos Hart poseen, lo que hace posible acceder a información general del dispositivo así como información específica de su funcionamiento.



# CONCLUSIONES

- El modem Hart permite integrar un ordenador a una red industrial lo que facilita el almacenamiento y procesamiento de información como atributos generales de fábrica y variables Hart.
- El sistema posee un modelo matemático no lineal por lo que el control de la variable nivel mejoró al utilizar un algoritmo de control automático con lógica difusa.
- Pactware y Hart Server permiten monitorear el funcionamiento de la válvula en línea, además tienen la opción de llevar un registro de esta información, con la diferencia que Hart Server sirve de interfaz con el entorno Labview.





# CONCLUSIONES

- El software Labview mejora la presentación de la información del lazo control, así como datos Hart en una Interfaz Humano Máquina que incluyen gráficas e indicadores que son intuitivos para el usuario.
- La firma de la válvula es un método de diagnóstico muy completo, ya que permite comprobar detalladamente el estado del conjunto válvula actuador, dando a conocer un conjunto de parámetros como: fricción, presión de transición, presión inicial para apertura y cierre, desplazamiento del vástago, rango de presión del actuador de la válvula, etc.



# RECOMENDACIONES

- Antes de realizar cualquier pruebas verificar el correcto accionamiento de los dispositivos dentro de su rango de trabajo.
- El suministro de presión del posicionador debe ser mayor a (5 PSIg) y no debe sobrepasar (145 PSIg) o la presión máxima del actuador o el que sea el menor.
- Verificar que la posición del dip switch del posicionador sea la correspondiente para el tipo de comunicación que se va a realizar (punto-punto o multipunto).
- Comprobar que el instrumento este en modo servicio después de realizar la configuración o calibración de un instrumento Hart.



# RECOMENDACIONES

- El voltaje mínimo en los terminales del instrumento debe ser 9.5 VCD para control analógico y 10 VCD para una comunicación Hart, con una corriente mínima de 4mA.
- Recuerde que el microprocesador reinicia con 3.5 mA.
- No sobrepasar el voltaje máximo 30 VCD que soporta el posicionador.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

