

# IMPLEMENTACIÓN DE UN POSICIONADOR 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

P. Calvopiña, E. Serna, E. Pruna, W. Freire.

*Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Sangolquí-Ecuador*

**Resumen**—En este trabajo se presenta el impacto de utilizar un controlador digital de válvula o posicionador para su accionamiento es decir para la apertura y cierre de la misma, así como también se identifica el impacto en estabilidad de todo sistema; y gracias a comunicación HART se generara el diagnostico en línea y fuera de línea.

**Índice de Términos**— HART, Posicionador, Diagnóstico, firma de una válvula, elemento de control final (ECF), PLC (Controlador lógico programable), PID (control proporcional integral) LCD (Controlador con lógica difusa).

## I. INTRODUCCIÓN

En la mayoría de los sectores de la industria se necesitan válvulas para controlar el flujo de fluidos, para liberar el exceso de presión en las tuberías y para eliminar la acumulación de aire, entre otras aplicaciones [1]. Es por ello que el correcto funcionamiento de estos elementos tiene un impacto directo en el control de una variable específica, manteniéndola bajo condiciones adecuadas para un correcto funcionamiento de todo el sistema. Los dispositivos inteligentes han contribuido en gran medida en la automatización de dichos segmentos del proceso, incluyendo una monitorización oportuna para reducir el número de averías en maquinaria [2]; por ejemplo una detección acertada de fricción estática en las válvulas de control se puede utilizar en la programación de mantenimiento y despliegue de técnicas de compensación de la válvula para reducir su impacto [3] o reemplazarla solo si es necesario ya que la experiencia con inspecciones indican que pueden producirse serios daños o deterioros en sólo el 40 % de las válvulas inspeccionadas. Esto quiere decir que en el 60 % de los casos, la válvula de control se quitó innecesariamente de las líneas de proceso [4]. Por esa razón surgen los posicionadores inteligentes que permiten un accionamiento más exacto de la válvula ya que tratan de equilibrar y compensar las fuerzas de desequilibrio que actúan en el desplazamiento del vástago respecto al obturador; y por su capacidad de integración a redes industriales como HART permite llevar información adicional del dispositivo incluyendo información de configuración, calibración, valores medidos o calculados adicionales de forma digital sobre la misma señal 4-20mA ampliamente utilizada en la industria [5]; lo que facilita el mantenimiento así como el diagnóstico

del funcionamiento tanto en servicio como fuera de servicio, estos dispositivos han mejorado las técnicas de calibración y capacidades de diagnóstico de las válvulas [6], para lo cual también se han desarrollado variedad de software que facilitan la obtención y almacenamiento de dicha información como Valvelink desarrollado por Emerson Process Managements para válvulas de control y tiene capacidad de detectar errores en línea, ayudando a mejorar el sistema de mantenimiento predictivo para válvulas de control.

Otro elemento de gran importancia en desenvolvimiento del sistema es el controlador que mediante la ejecución de un algoritmo de control es quien gobierna las acciones correctoras que se deben desarrollar tomando en cuenta las limitaciones físicas existentes en los diferentes elementos que conforman el sistema, dichos sistemas permiten realizar tareas repetitivas con precisión y seguridad, buscando garantizar la calidad de los productos en el proceso de producción. [7]. Las tareas de diseño y análisis de procesos, al igual que las técnicas avanzadas para el diseño de controladores, detección de fallas, optimización, supervisión y diagnóstico de componentes, están basadas en modelos de procesos [8], el modelado teórico basado en leyes básicas de la física y la identificación del sistema que es un método experimental basado en datos reales recogidos de la planta bajo estudio, son los métodos principales para obtener el modelo de un sistema [9]. La identificación de sistemas cubre el problema de construir modelos dinámicos en los casos en que existe insignificante información a priori, y las pocas propiedades que se conocen del sistema son unos cuantos parámetros físicos [8]

Por todo lo expresado anteriormente en este trabajo se presenta el impacto de implementar un posicionador electroneumático inteligente en una válvula de control, que es el actuador de un sistema de control de nivel de agua, e integración a una red HART para realizar el diagnóstico y monitoreo del funcionamiento de este elemento y estabilidad de todo el sistema en general además resalta la importancia de elegir y desarrollar un algoritmo de control a partir del modelo del sistema obtenido por identificación por lo cual este escrito está dividido en siete etapas, en la primera etapa se presenta la introducción, en la segunda etapa se describe el sistema; la tercera explica cómo se obtuvo el modelo del sistema y el control del mismo, en una cuarta etapa de se presenta la integración del dispositivo a una red HART para su diagnóstico, y en la quinta etapa se tiene el análisis de resultados; seguido de la discusión del tema y como último ítem se presentan las conclusiones.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La estación de trabajo ND-0704, del Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, con la cual se realizarán las respectivas pruebas y mediciones, consta de un sistema que controla la variable nivel cuyo funcionamiento general esta descrito por el diagrama de bloques (Figura 1) en el que se aprecia los siguientes elementos: un controlador lógico programable que procesa la información de acuerdo al control configurado a partir de una señal de 4 a 20 mA proporcional a un rango de 20 a 60 centímetros de nivel de agua, señal que es proporcionada por un transmisor de nivel tipo radar Rosemount 5402, y envía la señal de corrección al elemento de control final que es una válvula electro neumática proporcional Baumann 24000 Little Scotty a la cual se le coloca el controlador digital de válvula DVC6200 que se comunica con la PC por medio de protocolo HART con un modem HART como interfaz. Para configurar y calibrar el posicionador se utilizó el configurador de campo 475.

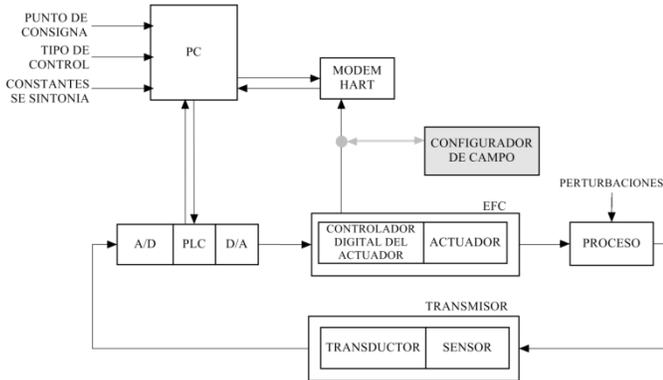


Figura 1 Diagrama de bloques de sistema

## III. MODELAMIENTO DEL SISTEMA Y DISEÑO DE CONTROLADORES

### A. Identificación del sistema con la herramienta ident

Para hallar el modelo de la planta en estudio se realiza una identificación experimental basada en el registro de datos de entrada (centímetros) - salida (mA), información que es procesada por la herramienta "ident" de Matlab

- **Generar Datos** En este paso se aplicaron escalones de corriente de diferente amplitud y duración al posicionador con el fin de variar el porcentaje de apertura de la válvula, y se midió la variación de nivel del líquido en la columna de agua, datos que se registraron en un archivo de Excel en conjunto con los diferentes datos HART que proporcionaba el posicionador.
- **Selección del modelo** Ya que no se tenía un conocimiento previo de modelo que pueda coincidir, se probaron los diferentes modelos en la herramienta ident y se eligió que tuvo un mayor porcentaje de aproximación

- **Validar el modelo** Para validar el modelo se realizaron pruebas del comportamiento del sistema bajo las acciones de un control con lógica difusa para compararlas con una simulación utilizando el modelo obtenido en Simulink (Figura 2).

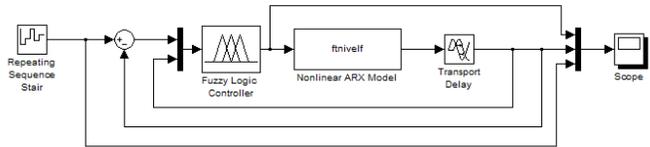


Figura 2 Esquema de un control fuzzy de una planta con modelo ARX

### B. Diseño del control PID

Para realizar el ajuste de los controladores PID del proceso en la estación de trabajo ND-0704 se ha utilizado el método del tanteo como se describe a continuación. Con la banda derivativa en 0 y la integral en 0 repeticiones/minuto, se aumenta la ganancia proporcional hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0,25 en donde  $K_p$  es igual a 2. Se incrementa lentamente la banda integral hasta que el sistema elimine el error de estado estable y dando perturbaciones al sistema con la válvula V-6,  $K_i$  es igual a 2,8 minutos/repeticion. Se aumenta poco a poco la banda derivada, creando al mismo tiempo perturbaciones con la válvula V-6 hasta que la constante derivativa compense rápidamente la perturbación evitando y adelantándose a los cambios bruscos en el proceso, en este caso  $K_d$  es igual a 0.0035.

### C. Diseño del control con lógica difusa

Este control es de tipo MISO (múltiples entradas, una salida), la única salida es un valor de corriente en el rango de 4 a 20mA que es proporcional a un porcentaje de cierre de la válvula. La primera entrada es el error que se calcula restando el valor deseado del actual, el sistema funciona de 20 a 60cm por lo que el máximo error es cuando se encuentra en 20 y se debe llegar a 60 y el mínimo cuando se encuentra en 60 y se debe llegar a 20 por lo que el rango del error se establece entre -40 y 40; mientras que la segunda entrada es el valor actual del proceso y se utiliza cuando el error tiende a cero ya se deben aplicar ciertos valores de corriente para mantener dicho nivel; por ejemplo si tengo un error de -0.5cm y el nivel se encuentra en 20cm se deben aplicar corrientes de 13 mA mientras que con un mismo error en un nivel de 40 cm se debe aplicar un valor de 11mA y para un nivel de 60cm se aplica 10mA.

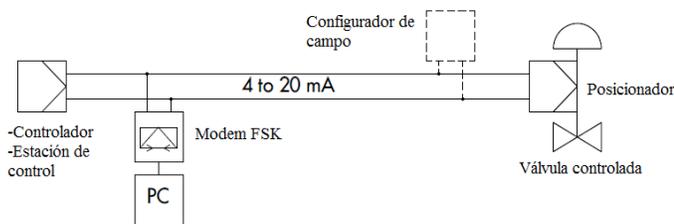
## IV. INTEGRACIÓN DE LA RED HART

El controlador digital de válvula DVC6200, es un instrumento inteligente de campo con capacidad de comunicarse mediante protocolos tales como Fieldbus y HART, de nuestro interés es

aprovechar el protocolo HART que permite establecer una comunicación digital sobre el mismo bucle de dos hilos que proporciona la señal de control del proceso de (4-20 mA), sin interrumpir esta señal. De esta manera, se puede utilizar para el control y al mismo tiempo, para diagnóstico digital, monitoreo y procesamiento adicional de datos como por ejemplo la posición de la válvula, presión de alimentación, presión en el actuador, etc.

La Figura 3 muestra la conexión para la comunicación HART entre un dispositivo de campo HART (posicionador) y un maestro primario HART (PC), es decir se establece una red punto-punto entre el posicionador y la PC, para esto se utiliza un modem HART como interfaz. Además la Figura 3 indica los terminales donde se debe conectar un maestro secundario HART (configurador de campo) que permite configurar y calibrar el instrumento de campo sin necesidad de retirarlo de su lugar de funcionamiento.

Para que esta comunicación sea exitosa se requiere que la dirección del dispositivo de campo sea cero ya que el programa operativo utiliza esta dirección para establecer la comunicación sobre el lazo 4-20 ms.



**Figura 3 Conexión punto-punto HART**

Esta red permite monitorear y registrar los valores de las variables HART del posicionador a lo largo de su funcionamiento para su posterior análisis, esto se debe a que todos los dispositivos HART permiten adquirir cuatro variables generales, en el caso de la válvula de control la variable primaria siempre proporciona el valor de corriente de lazo actual, mientras que a las demás variables se les puede asignar parámetros como: el punto de consigna, el desplazamiento del vástago, la presión del actuador, presión de alimentación, entre otras; con fine de monitoreo y diagnóstico del estado de la válvula y el posicionador las variables HART adquiridas en este trabajo se muestran en la Tabla 1.

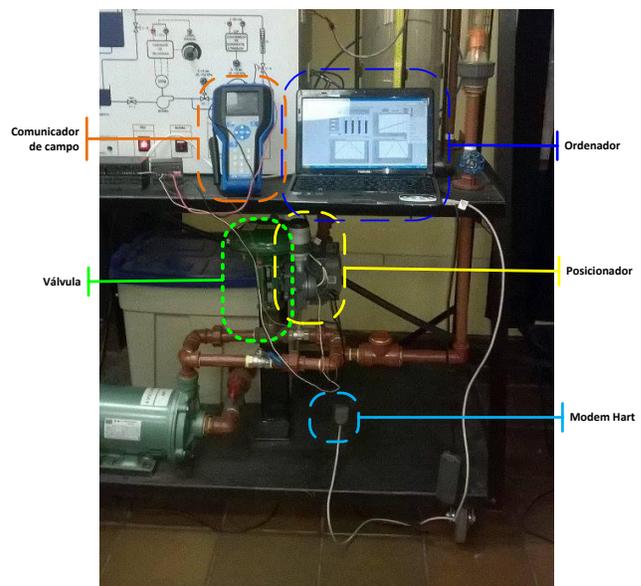
**Tabla 1 Variables HART de la válvula**

Ítem	Variable	Variable	Rango
PV	Variable Primaria	Corriente de lazo	4 a 20 mA
SV	Variable Secundaria	Punto de consigna (Desplazamiento del vástago)	-10 a 120 %
TV	Variable Terciaria	Presión	3 a 15 PSI
QV	Variable Cuaternaria	Desplazamiento del vástago	0 a 100 %

Los valores proporcionados por estas variables son representados y procesados en el software Labview, mediante el servidor HART, para que esta información sea de mayor utilidad al usuario se han desarrollado algoritmos que permiten implementar dos opciones de diagnóstico para el conjunto válvula – posicionador, que son el diagnóstico en línea y fuera de línea. En el diagnóstico en línea se observa el comportamiento del posicionador y la válvula en tiempo real mediante los registros gráficos de las variables HART: Desplazamiento del vástago y Presión del actuador, en contraste con la variable HART, Punto de consigna del desplazamiento del vástago y la variable de control respectivamente, esta última es entregada por el PLC. Para el diagnóstico fuera de línea se utiliza el método de la firma de la válvula que se basa en el registro gráfico de la relación entre la presión del actuador y el desplazamiento del vástago, para su obtención se requiere que la válvula esté in-situ pero fuera de servicio.

Para ambos tipos de diagnóstico se manipula la corriente de lazo que es proporcional a la presión del actuador que modifica el desplazamiento del vástago en la válvula. Si la válvula se encuentra en servicio debe comportarse acorde a las acciones comandadas por el control automático existente en un proceso; mientras que si se encuentra fuera de línea debe responder a valores de corriente generados automáticamente por el programa de diagnóstico, para cualquiera de las alternativas la variable modificada es la corriente de lazo.

La Figura 4 muestra la red implementada, que nos permite el control del nivel de agua en el depósito y simultáneamente la adquisición de información HART para el diagnóstico en línea y fuera de línea.



**Figura 4 Red HART implementada**

## V. RESULTADOS

### A. Modelo matemático

El modelo obtenido por la herramienta ident de Matlab se muestra la Figura 5, tiene un 78% de aproximación y corresponde a un modelo no lineal ARX con una única entrada  $u_1$  y una única salida  $y_1$  con un regresor no lineal  $y_1(t-1)$ . Los parámetros estándar poseen los siguientes órdenes:  $n_a=2$ ,  $n_b=2$ ,  $n_k=1$ .

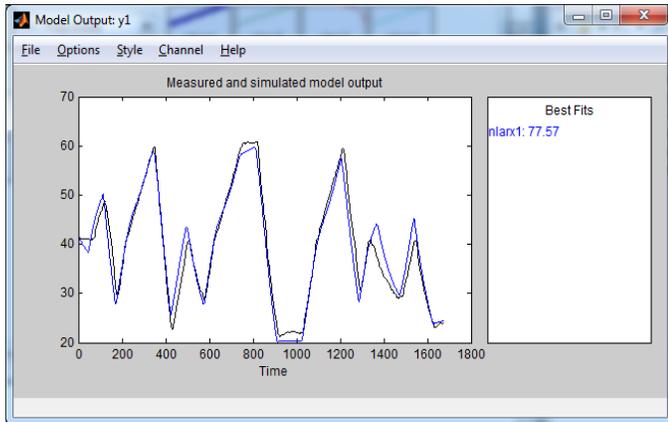
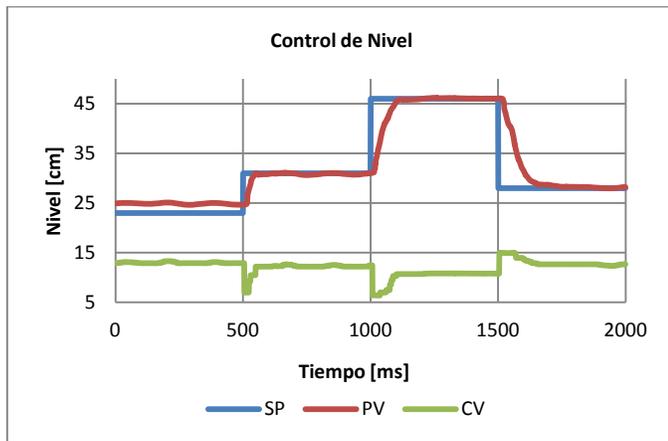
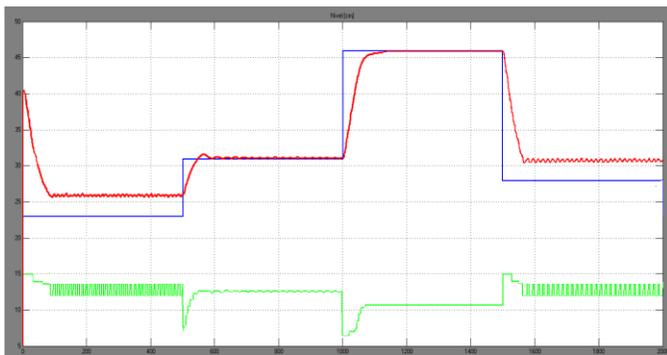


Figura 5 Modelo de la planta de nivel



a)



b)

Figura 6 a) Comportamiento variable nivel de forma real  
b) Comportamiento variable nivel obtenida con Simulink

Para validar el modelo matemático de la planta obtenido con la herramienta ident, se implementó un control de lógica difusa en la planta y se tomó mediciones en tiempo real de su respuesta que se representan en la Figura 6 a), para compararla con la respuesta del modelo matemático al aplicarle el mismo control difuso simulado en Simulink, como se observa en la Figura 6 b) obteniendo resultados similares. Los parámetros de estabilidad del sistema se analizan en el siguiente apartado.

### B. Impacto del posicionador en la estabilidad del sistema

En la Figura 7 se puede apreciar el tiempo de levantamiento, tiempo de estabilidad, tiempo pico y sobre impulso al realizar un cambio de consigna de 31cm a 46cm para un control PID antes (color azul) y después (color rojo) de implementar el posicionador con el fin de analizar el impacto que tiene en el desenvolvimiento del sistema y es claro que el tiempo de levantamiento casi se mantiene igual pero el tiempo de que tarda en estabilizarse se reduce casi a un 50% y para ambos casos no se presenta sobre impulso. Ya que el control no mejoró como se esperaba se desarrolló un nuevo algoritmo de control basado en el modelo matemático llegando a un control con lógica difusa (color verde), y para validar el modelo también se simuló dicho control con la ayuda de Simulink (color violeta), para lo que se obtuvieron tiempos de levantamiento y estabilidad muy similares y mucho menores (aproximadamente 25%) a los obtenidos con el control convencional que se utilizaba anteriormente, para estos casos tampoco se aprecia sobreimpulso.

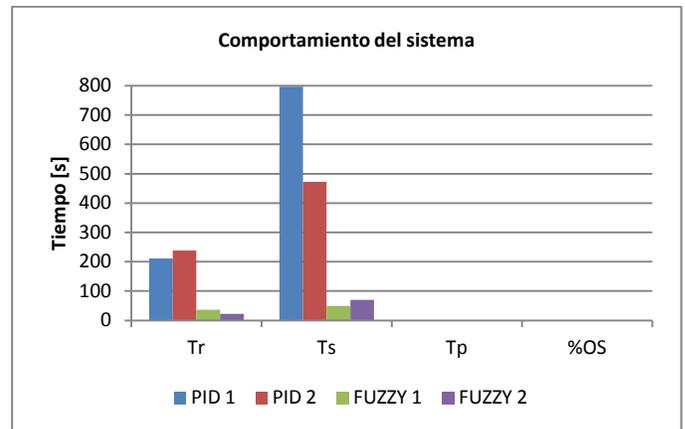


Figura 7 Comportamiento del Sistema

### C. Diagnóstico

#### i. Diagnóstico en línea

La Figura 8 muestra como la variación de corriente de lazo influye de manera proporcional en la variación de la presión mientras se desarrollaba un control PID; la Figura 9 muestra cómo se desplazaba el vástago en relación al punto de consigna del lazo de control interno del posicionador. Para ambos casos se tomaron datos mediante el software HART server en conjunto con Labview.

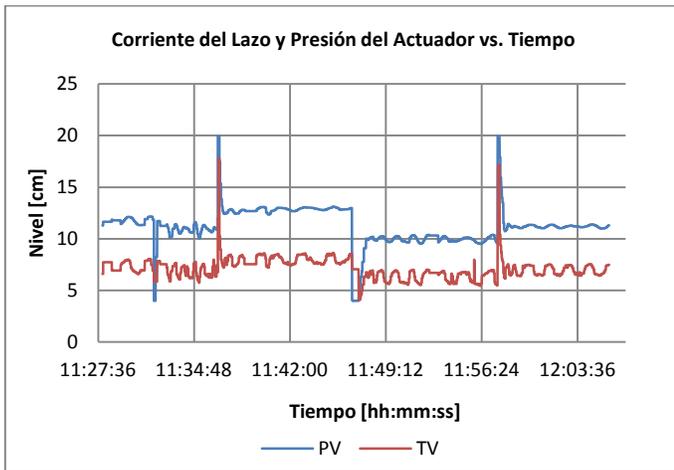


Figura 8 Datos HART de corriente y presión tomados con HART Server

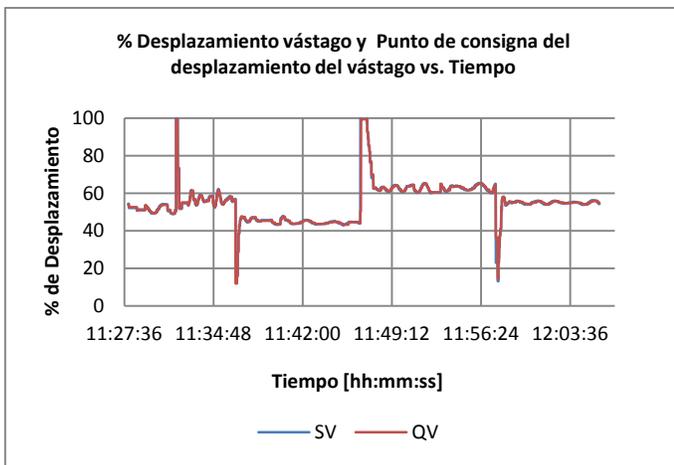


Figura 9 Datos HART de % desplazamiento vástago y punto de consigna de desplazamiento del vástago

## ii. Diagnóstico fuera de línea

El diagnóstico fuera de línea representa la firma de la válvula que es visible en el gráfico de la Figura 10, que muestra la presión del actuador en función del desplazamiento del vástago, la línea de cierre (azul) muestra a la presión cuando el vástago es ascendente y la línea de apertura (rojo) muestra la presión cuando el vástago se mueve de manera descendente. De manera visual Figura 10 permite conocer que la presión inicial para que la válvula empiece a cerrarse es de 2,5 PSI, mientras que se necesita que una presión de 12 PSI para que la válvula empiece a abrirse, es decir estos valores de presión son los necesarios para vencer la fricción del actuador. Se observa también que la válvula se ha desplazado del 0 al 100% de su carrera y viceversa, los picos de los extremos de las líneas de apertura y cierre permiten verificar que la válvula alcanzó una parada sólida en ambos extremos del recorrido. La banda diferencia presión existente entre la línea de apertura y la de cierre representan la presión necesaria para lograr la transición del movimiento de apertura al de cierre y viceversa; en este caso la transición fue de 1,24 PSI.

Cabe recalcar que el software Labview permite la creación de un programa de diagnóstico con un entorno amigable permite modificar las escalas del gráfico de manera más específica, lo que facilita al usuario el análisis de las gráficas, adicionalmente es posible llevar un registro de las variables HART en un archivo con extensión txt.

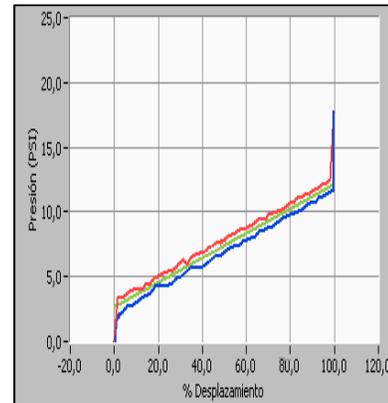


Figura 10 Firma de la válvula

## VI. DISCUSIÓN

Al implementar el controlador digital a la válvula esta se convirtió en un instrumento inteligente con capacidad de comunicarse mediante el protocolo HART por lo que se pudo integrar en red con una PC mediante un modem USB-HART en base a lo cual se desarrolló una herramienta de diagnóstico bajo la plataforma Labview que permite llevar un registro de los parámetros de funcionamiento de la válvula paralelamente a un registro del comportamiento del sistema en sí, también se puede obtener graficas como la firma de la válvula, la evolución de corriente, presión y desplazamiento del vástago con resultados muy satisfactorios respecto a los obtenidos con un configurador de campo, pero la comunicación HART entre el dispositivo de campo y el ordenador es unidireccional, por lo que el control se sigue desarrollando mediante la variación de corriente del lazo mientras que los datos digitales simplemente pueden ser leídos. Aunque en la actualidad existen transmisores inteligentes que se comunican directamente con el actuador, con una variación de corriente que responde a un algoritmo de control automático antes que a la variación de la señal física en sí, para el control de la variable nivel no se han desarrollado puesto que la debilidad de la tecnología mencionada es que tiene cierto retardo de respuesta, no admisible para el control de una válvula, por lo que no es posible suprimir el controlador como elemento físico intermediario.

Con la implantación del posicionador se mejoró notablemente la señal del actuador evitando las grandes oscilaciones pero se mejoró en menor grado la estabilidad del sistema razón por la cual se desarrolló un nuevo algoritmo de control basado en el modelo matemático que se obtuvo previamente logrando cumplir satisfactoriamente con el objetivo.

## VII. 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 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.

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, de manera que para desarrollar cualquier algoritmo de programación, independientemente de la tecnología, lenguaje de programación y dispositivos que intervienen, se debe partir de las condiciones y requerimientos del sistema.

La firma de la válvula permite comprobar detalladamente el estado del conjunto válvula posicionador, dando a conocer un conjunto de parámetros como: presión de transición, presión inicial para apertura y cierre, desplazamiento del vástago, rango de presión del actuador de la válvula, etc.

paramétrica en lazo cerrado de sistema de accionamiento neumático para cilindro de doble efecto,» *Ebsco*, 2012.

[9] M. E. López Guillen, *Identificación de Sistemas*, 2010.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] . C. Nwaoha, «Extending Control Valve».
- [2] M. Tawanda, C. Ngoni, M. Kumbirayi y C. N. Namatai, «A study into the role of Fuzzy logic systems in condition based maintenance for control of the pneumatic valve of bottle washer in beverage companies, specifically the Krones group of companies,» *IEEE*, 2012.
- [3] N. Ulaganathan y R. Rengaswamy, «Blind identification of stiction in nonlinear process control loops,» *IEEE*, 2008.
- [4] «TODOPRODUCTIVIDAD,» 2009. [En línea].
- [5] A. Barandica López, «Análisis del desempeño del protocolo HART sobre par trenzado en diferentes configuraciones,» *Revista Energía y Computación*, pp. 1-10, 2010.
- [6] E. T. Ladd Jr., «Leveraging Diagnostic Data,» *Flow Control*, vol. 15, n° 10, pp. 30-34, 2009.
- [7] R. . A. ARCHILA TORRES, J. F. ARCHILA DIAZ y J. . M. CASTELLANOS, «Caracterización de Dispositivos Lógicos Programables Implementados en un Péndulo Invertido Accionado Hidráulicamente,» *EBSCO* , p. 14, 2010.
- [8] O. Caldas Flautero, S. Jiménez Gómez, E. Mejía Ruda, J. Hernández Mejía y O. Avilés Sánchez, «Identificación