TECHNOLOGY FOR PRESSURE CONTROL AND IRRIGATION EMULATION USING THE PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL AND FULLY INTEGRATED AUTOMATION SOFTWARE

TECNIFICACIÓN PARA EL CONTROL DE PRESIÓN Y EMULACIÓN DE RIEGO USANDO EL CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE Y SOFTWARE TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION

MS(c). Javier Ascanio Villabona, MS. Camilo Leonardo Sandoval.

Unidades Tecnológicas de Santander
Ingeniería Electromecánica
Grupo de Investigación en Sistemas de Energía, Automatización y Control. GISEAC
Ciudadela Real de Minas. Bucaramanga, Santander, Colombia.
Tel.: 57-7-6917700 ext. 1103, Fax: 57-7- 6917691
E-mail: Jascanio@correo.uts.edu.co; csandoval@correo.uts.edu.co

Resumen: El presente trabajo describe el desarrollo de la tecnificación en el control de presión para una planta piloto de emulación de riego mediante un controlador lógico programable (PLC) intervenido por software Totally Integrated Automation (TIA) respondiendo a la variación de la presión por control automático PID.

Palabras clave: automatización, control, PID, presión.

Abstract: The present work describes the development of the technification in the pressure control for the irrigation emulation plant by means of a programmable logic controller intervened by Totally Integrated Automation software responding to the variation of the pressure by automatic control PID.

Keywords: automation, control, PID, pressure,

1. INTRODUCION

El presente informe refiere el desarrollo tecnológico en la implementación dentro de la planta piloto para la emulación de riego mediante dos tanques para almacenamiento de líquidos, un software TIA, controlador lógico programable, y un traspaso de fluido entre ellos mediante el uso de dos motobombas. Considerando que la característica principal de la planta piloto emulado es la capacidad para adaptarse a diferentes sistemas de medición permitiendo establecer control, al mismo tiempo es capaz de mantener la presión existente en las tuberías de los tanques. (PORRAS C, 2007)

De igual manera para el control se planea usar un transductor de presión en la tubería que permite establecer la lectura de presión de fluido entre los tanques. De esta manera con fin último se tiene modificar el flujo de líquido mediante tres válvulas de bola e ingresar un valor de presión que se mantenga constante, proyectado en pantalla HMI para evaluar el comportamiento del algoritmo de control al cambio de presiones aleatorias. (P. Ferreira, 2004)

En consecuencia, esta adaptación surge por la necesidad de controlar la presión en tuberías por

intermedio de entrada de lectura sin utilizar sistemas ON/OFF sino un control más específico, preciso y personalizado. (PORRAS C, 2007)

Así mismo los sistemas alternativos industriales, de manera sencilla y accesible, permiten un campo amplio en procedimientos de medición que se pueden llegar a emplear en regímenes robustos en comparación con otros controles. Siendo así, plantea la alternativa del control PID que no es convencional en los procesos industriales regionales. (PORRAS C, 2007)

De manera semejante, se realiza la evaluación y prácticas adecuadas para seleccionar de equipos necesarios, para así programar el algoritmo de control de presión que responda a las necesidades del proceso. (PORRAS C, 2007)

2. ELEMENTOS UTILIZADOS

Los módulos para la emulación de prácticas de automatización y control requieren la tecnificación y modernización, siendo necesario la evaluación de las necesidades para la adquisición de equipos, de acuerdo con lo anterior se requirieron los siguientes equipos:

2.1. TABLERO DE CONTROL, PLC Y PANTALLA HMI

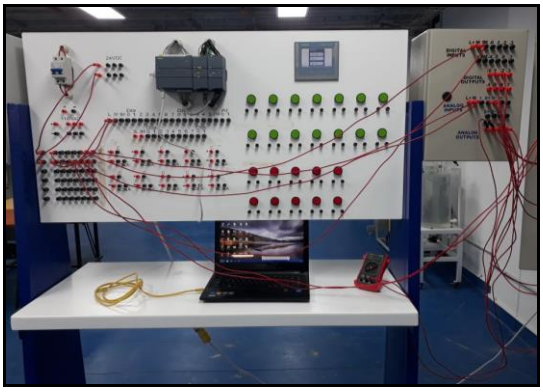


Fig. 1. Tablero de control PLC

Dotado con un PLC, borneras adaptadas y marcadas para fácil manipulación, pantalla HMI y conexión a puerto Ethernet para la programación directa mediante el software TIA.

2.2. PLC SIEMENS S7 1200 / CPU 1214

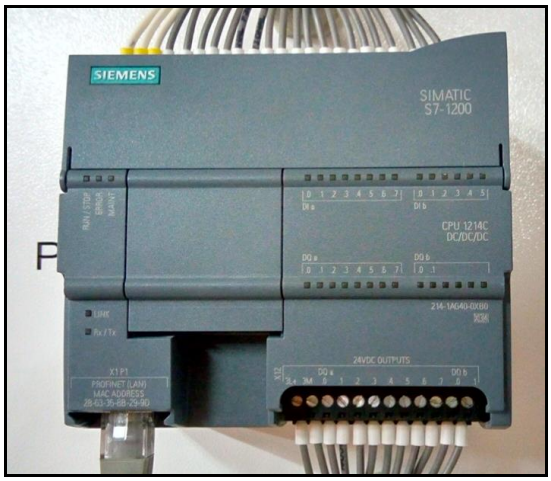


Fig. 2. Logo S7 1200

Memoria de trabajo 75KB; fuente de alimentación 24V DC con DI14 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ10 x 24V DC y AI2 integradas; 6 contadores rápidos y 4 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía E/S integradas; hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie; hasta 8 módulos de señales para ampliación E/S; 0,04ms/1000 instrucciones; interfaz PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC. (SIEMENS, 2016)

2.3. MÓDULO DE EXPANSIÓN ANÁLOGO

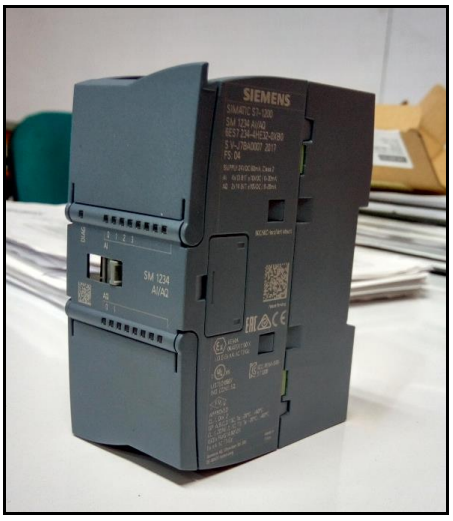


Fig 3. Módulo análogo

SIMATIC S7-1200, analog I/O SM 1234, 4 AI/2 AO, +/-10 V, 14-bit resolution or 0 (4)-20mA y 13-bit resolution. (SIEMENS, 2016)

2.4. MÓDULO DE EXPANSIÓN DIGITAL



Fig 4. Módulo digital

SIMATIC S7-1200, Digital I/O SM 1223, 8 DI/8 DO, 8 DI 24 V DC, Sink/Source, 8 DO, transistor 0.5 A. (SIEMENS, 2016)

2.5. PANTALLA SIMATIC HMI KTP 400 BASIC

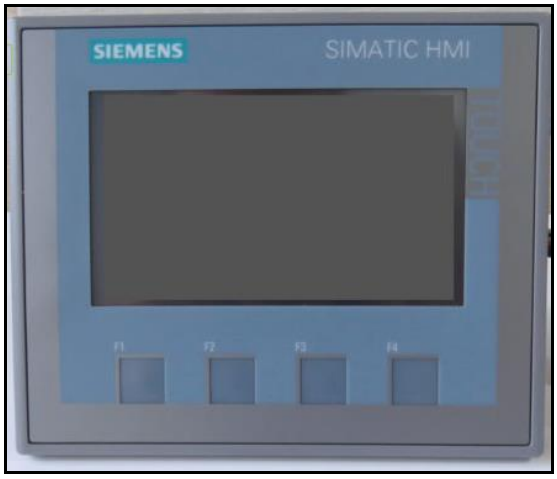


Fig. 5. Pantalla HMI

Es una HMI KTP 400 Basic que permite manipulación manual y cuenta con 4 botones físicos para su manejo. En la sección de programación se muestra detalladamente la función que ha cumplido. (SIEMENS, 2016)

Crea una interfaz entre el hombre y la máquina, en ella se encuentra la opción del set point de presión en el que se desea mantener el valor de presión y la parada de emergencia. (SIEMENS, 2016)

2.6. PLANTA PILOTO PARA CONTROL DE PRESIÓN Y CAUDAL EN FLUIDOS



Fig. 6. Planta piloto para control de fluidos

Transmisor de presión marca Druck referencia PTX 1400. Dos bombas centrifugas marca Pedrollo CP 620 de 0.75 KW o 1 HP. Accesorios usados en la succión fueron: 0.58 metros de tubería de 1'', 3 codos, 1 válvula de bola de 1'' y 1 unión universal de tubería. Accesorios usados en la descarga: 1.9 metros de tubería de 1'', 8 codos, 2 T, 1 unión universal, 1 válvula cheque, 1 válvula de bola, 3 reducciones, una cruceta con 3 válvulas de diámetros ¾, ½ y ¼ y dos reducciones de 1'' a ¼ de tipo NPT, una para el transmisor de presión y otra para el manómetro. Un manómetro de glicerina de 0 a 50 PSI. (SIEMENS, 2016)

2.7. TABLERO DE CONTROL DE SISTEMA DE EMULACIÓN DE RIEGO



Fig. 7. Tablero de control del sistema de riego

Tablero de control: Cofre de dimensiones (120 x 80 x 30) cm, canaleta ranurada de (25 x 60) mm, higrostato de rango 40-90 % F/RH el cual mantiene la humedad relativa deseada del cofre mediante la resistencia de 1 Watt, 1 termostato de rango de 0-90°C de marca Raibon, un DPS marca Levinton, dos ventiladores EBC,

8 bombillas led alimentadas a 110v, tres switches de alimentación, dos pulsadores y una parada de emergencia. Controlador Automático Programable (PAC) marca Allen Bradley 5370 L2 L24ER-QBFC1B. Dos variadores de frecuencia Allen Bradley Powers Flex 525. (MULTIELECTRICOS, 2017)

3. PROCEDIMIENTO

Debido a que se estudió detalladamente el estado del arte en lo que a sistemas de control de presión hace referencia, se pudo conocer que el sistema de emulación de riego en el que se trabajó es un sistema no lineal y el hecho de realizar el cálculo de una función de transferencia que describa la planta resulta relativamente complejo.

Planteado el escenario anterior, el equipo de trabajo investigó un procedimiento experimental alternativo llamado el Método de Ziegler y Nichols. (UNAM, 2006)

El método nombrado anteriormente es el proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de comportamiento dadas, esto es conocido como 'sintonía del controlador'. Se busca encontrar el valor de las constantes para un controlador proporcional-integral-derivativo (PID). En caso de que los parámetros hallados no cumplan completamente con el controlador, serán tomados como referencia y se perfeccionarán a través de la prueba y el error. (UNAM, 2006)

Con la finalidad de obtener los valores del PID a través del método de Ziegler y Nichols, es necesario realizar una programación básica del Tía Portal con la que se pueda evaluar el sistema con escalón unitario. De la respuesta de la planta al escalón obtenemos la gráfica y en ella los valores del tiempo de retardo (L) y la constante de tiempo (T). (Ziegler, S.f)

La programación del PLC y la HMI debe generar una serie de valores tabulados o graficados en los que se pueda identificar la respuesta del sistema ante la entrada de un escalón unitario. En el proceso se desea controlar el variador de frecuencia principal y graficar la señal emitida por el sensor de presión en un diagrama PRESIÓN vs TIEMPO. Para obtener una respuesta promedio del sistema, el escalón unitario a inducir será la media del rango de voltaje de la referencia de velocidad parametrizada, 5v. En este numeral es importante que las perturbaciones del sistema se mantengan constantes durante todas las pruebas a realizar, para ello, las tres válvulas de descarga deben estar abiertas al 100%.

La referencia de velocidad es la frecuencia a la que se desea que se ejecute la marcha de la bomba centrifuga, con este segmento se logra la posibilidad de introducir una consigna entre 0 y 10 como variable de tipo real en la pantalla HMI que posteriormente será transformada en el variador. Dicho segmento consta de tres secciones fundamentales para el tratamiento del valor real.

La primera de ellas es una normalización del valor, la función de este bloque es transformar el valor de la consigna que se encuentra en el rango de 0 a 10 a un valor en un rango de 0 a 1, seguidamente en el segundo bloque se realiza el escalamiento de la señal, la función de escalado es transformar la señal normalizada a una señal en un rango de 0 a 27648 bits y en el tercer bloque se mueve el valor escalado a bits al módulo de expansión análogo. En el módulo se interpreta el valor en bits y se transforma en volts obteniendo al final una de señal de 0 a 10 volts en la entrada análoga del variador de frecuencia.

La presión a visualizar debe ser un número real, sin embargo, el módulo analógico la entrega al PLC en forma de bits, para obtener el valor real se hace un tratamiento de normalización de la señal en el primer bloque del segmento donde el valor que oscila entre 3900 y 22000 ofrecido por el módulo, se transforma en un número que fluctúa entre 0 y 1, seguidamente se hace un escalamiento de dicha señal en el segundo bloque, su salida se muestra en la variable 'Presión a visualizar' y ofrece un valor de presión real entre 0 y 51 PSI.

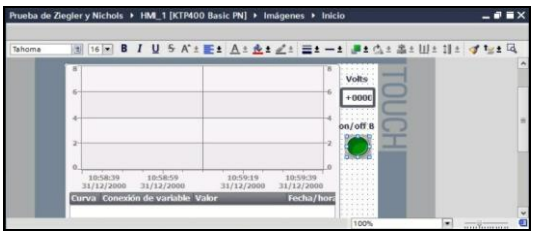


Fig. 8. Interfaz de la HMI para prueba Z&N

La figura 8 es la única imagen que se ha configurado y programado en la pantalla HMI para realizar la prueba de Ziegler y Nichols, en ella se encuentra una gráfica donde se registra el valor de las variables 'consigna de voltaje' y 'Presión a visualizar', también cuenta con un recuadro desplegable donde se introduce el valor de voltaje correspondiente al escalón unitario y un pulsador ON/OFF que controla el arranque y

paro de la bomba. Se realiza la programación de la HMI correlacionando las variables del PLC con los mandos de la pantalla.

Una vez realizada la programación, se procede con la puesta en marcha del sistema. Para ello se energiza la planta piloto del PLC S7 1200, el cajón de los variadores de frecuencia, se cablea el variador de frecuencia, el sensor de presión, el PLC, los módulos de expansión y la pantalla HMI. Se pulsa start en la imagen inicial que muestra la pantalla HMI, se pulsa el cuadro desplegable y se introduce el valor del escalón: 5v, inmediatamente se empieza a crear la gráfica de presión. La primera gráfica de respuesta obtenida muestra una señal sin filtrar, completamente ruidosa y no muestra ninguna de las opciones de respuesta similar a los modelos que Ziegler y Nichols ofrece para la caracterización inicial del PID.

Debido a la falta de claridad en la respuesta del sistema, se hace necesario filtrar la señal análoga desde la configuración del hardware del PLC mediante el TIA V13. El software ofrece 3 opciones de filtrado con hardware que son: 1 ciclo (sin filtrado), 4 ciclos (bajo), 16 ciclos (medio) y 32 ciclos (Fuerte), se prueba uno a uno y es el filtrado fuerte quien relativamente esclarece la respuesta del sistema ante un escalón unitario.

Los autores han optado por filtrar la señal físicamente con la intención de obtener una gráfica aún más precisa, dicho filtrado se realiza agregando uno o varios condensadores en paralelo con la resistencia de la que se ha tomado la señal análoga. En aras de obtener la mejor gráfica posible, inicialmente se prueba el filtrado con 1 condensador monolítico de 1uF, seguidamente 1,2 y 3 condensadores polarizados de 10uF de tantalio y por último con 1 condensador de 1000 uF junto a uno de 470 uF.

Se exhibe la gráfica de respuesta del sistema en la que la señal del sensor de presión describe la imagen en forma de ‘S’ que se estaba buscando para aplicar el método de Ziegler y Nichols, dicha imagen es obtenida cuando se hace un filtrado de la señal análoga usando los condensadores de 1000uF y 470 uF en paralelo con la resistencia. La estabilidad del sistema después de alcanzar su punto máximo se ha promediado en base a tres graficas de tres ensayos realizados con el mismo nivel de filtrado.

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores Kp, Ti y Td únicos para el sistema. Con el fin de evidenciar la respuesta del sistema, la planta se ha puesto en marcha mediante el software TIA con los parámetros Kp, Ti y Td obtenidos en el método de sintonía de Ziegler & Nichols y la respuesta obtenida del sistema se observa a continuación:

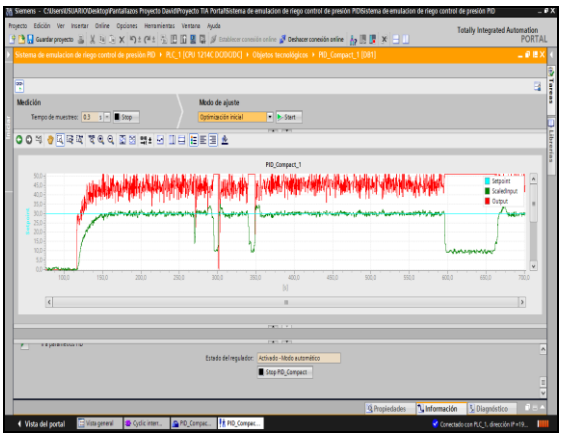


Fig. 9. Respuesta del sistema al controlador con parámetros PID de Ziegler y Nichols

Programación del PLC y su función PID compact_V12

Con el ánimo de realizar una comparación de la efectividad del sistema obtenido por el método de Ziegler y Nichols, en la presente sección se programa el PLC y su función PID compact_V12, dicha función realiza dos sintonizaciones automáticas (Optimización inicial y Optimización fina) de las que obtiene los parámetros más idóneos para el controlador.

El software TIA V13 ofrece diversos tipos de bloques para realizar la programación según sea la necesidad del usuario, para el presente proyecto se ha empleado un bloque de organización OB, un bloque de función FC y un bloque de función OB con derivación Cyclic Interrupt.

Debido a que el PLC identificaba un error en el módulo de expansión análogo cuando se conectaba la señal del sensor de presión en la polaridad intuitivamente reconocida, y en aras de eliminar cualquier clase de error de hardware que pudiese generar complicaciones en la programación y ejecución del PID y la pantalla HMI, se decide transmutar la polaridad de la conexión de la señal del SP.

Cuando se realiza la transmutación de la polaridad de la señal del sensor, el PLC corrige el error mostrado, sin embargo, la nueva señal leída tendrá signo negativo. Por la información de ayuda previamente consultada en el TIA, se reconoce que el objeto tecnológico con el que se realizará la sintonización de los parámetros PID,

no funciona con valores negativos. Para solucionar el impedimento, se ha programado el séptimo segmento llamado 'Cambio de signo al valor leído por el sensor de presión', en él se agrega un bloque de multiplicación donde el multiplicando es la lectura del sensor de presión, el multiplicador es menos uno y el producto es la variable 'Lectura del sensor (-1)'.

Nota: Toda la programación con la que se elaboró el proyecto se encuentra en el lenguaje KOP o LADDER.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL DE PRESIÓN.

Para generar el algoritmo óptimo para el control de la presión del sistema, se realizan dos procesos de sintonización de parámetros PID, el primero de ellos fue la regla de sintonía de Ziegler y Nichols 'Curva de respuesta en forma de S', tal regla sugiere un conjunto de valores de Kp, Ti y Td sobre los que se debe realizar un ajuste fino de manera experimental. El segundo de ellos es la sintonización automática de parámetros PID que ofrece el software TIA. A continuación, se presenta la evidencia en capturas de pantalla de las pruebas realizadas a los controladores. (R. Boel, 2000)

En la figura 10, se muestra la respuesta del sistema de control, en ella se identifica un tiempo de respuesta de 30 segundos aproximadamente.

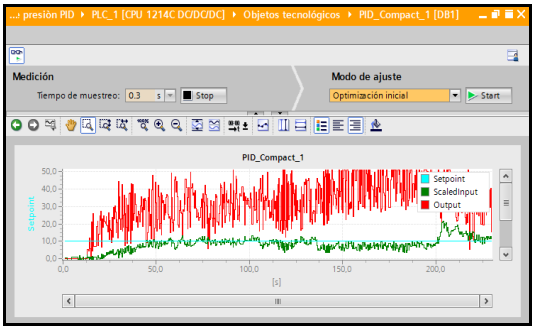


Fig 10. Respuesta del controlador Z&N a las perturbaciones - Set point de 10PSI

En la figura 11, se aprecia la gráfica de respuesta del sistema de emulación de riego con los parámetros PID de la sintonización automática. En ella se identifica un tiempo de respuesta de 12 segundos.

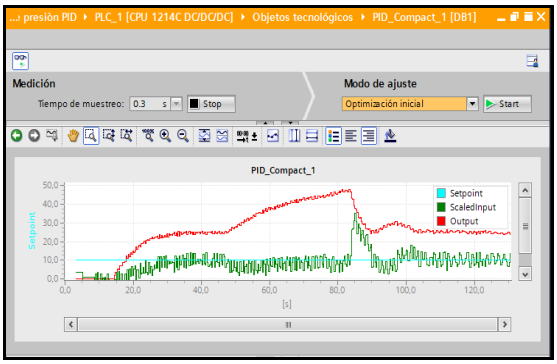


Fig 11. Respuesta del controlador Auto. a las perturbaciones – Set point 10PSI

La figura 12, permite visualizar la respuesta del algoritmo de control cuando se ha establecido un set point de 15 PSI y se inducen diferentes niveles de perturbación en la línea de flujo a través de las válvulas de descarga. Se observa tiempo de respuesta de 32 segundos.

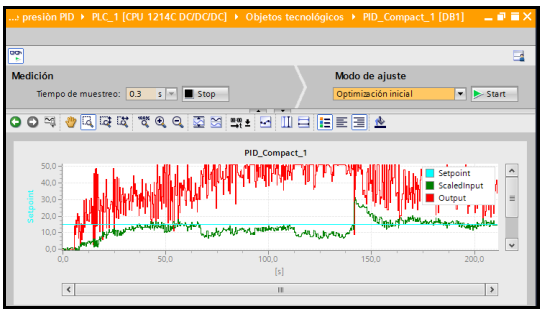


Figura 12. Respuesta del controlador Z&N a las perturbaciones – Set point 15PSI

El algoritmo de control autotunning de la figura 13, muestra un tiempo de respuesta de 10 segundos para un set point de 15PSI

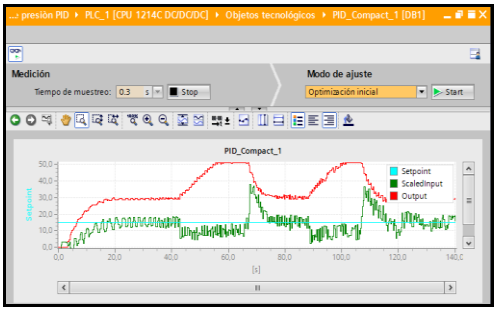


Fig 13. Respuesta del controlador Auto. a las perturbaciones – Set point 15PSI

El siguiente set point de presión se ha fijado en 20 PSI, de igual manera, se han inducido algunas perturbaciones en la línea de flujo durante el control de presión, la respuesta del algoritmo de control se observa en la figura 14. Tiempo de respuesta: 30 segundos



Fig 14. Respuesta del controlador Z&N a las perturbaciones – Set point 20PSI

En la figura 15, se observa que el algoritmo de control del Compact_V12 tiene un tiempo de respuesta 10 segundos cuando el set point se establece en 20PSI.

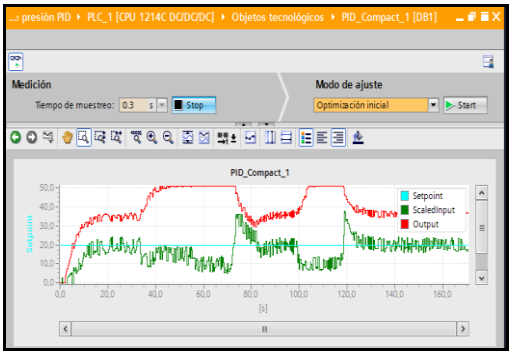


Fig. 15. Respuesta del controlador Auto. a las perturbaciones – Set point 20PSI

En la siguiente prueba, se desea mantener una presión de 30 PSI mientras se inducen algunas alteraciones de resistencia al paso del fluido en la descarga de la tubería. La figura 16., muestra la respuesta del controlador Z&N. Tiempo de respuesta: 37 segundos.

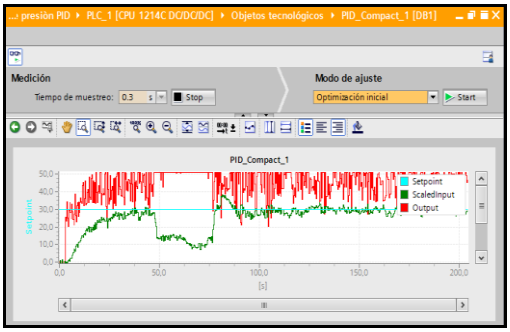


Fig 16. Respuesta del controlador Z&N a las perturbaciones – Set point 30PSI

El tiempo de respuesta se aproxima a 10 segundos para el mismo setpoint de 30PSI con el algoritmo de control atutotunning como se aprecia en la figura 17.



Fig 17. Respuesta del controlador Auto. a las perturbaciones – Set point 30PSI

Para un set point de 40 PSI, observado en la figura 18, el algoritmo de Z&N genera un tiempo de respuesta de 45 segundos.

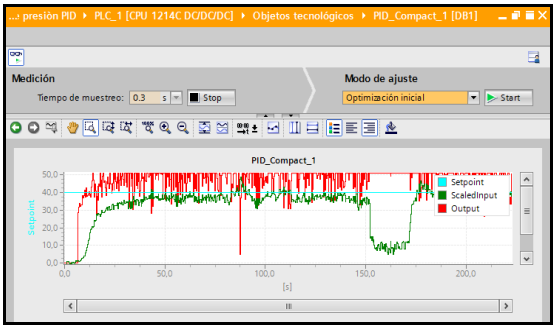


Fig. 18. Respuesta del controlador a las perturbaciones- Set point 40PSI

En la tabla 1 se realiza la comparación de los resultados de los tiempos de respuesta obtenidos en los dos algoritmos.

Tabla 1. Comparacion de la respuesta de los algoritmos de control

Prueba	Set point	Tiempo de respuesta - Algoritmo Ziegler & Nichols	Tiempo de respuesta - algoritmo Compact_V12
		$Y(s)=\frac{7,4057142857e^{-2,8s}}{3,2s+1}+\frac{1,3234489796e^{-2,8s}}{3,2s^2+s}+\frac{10,367999999e^{-2,8s}}{3,2s+1}$	$y=0,9347867(w-x)+\frac{(w-x)}{0,4349069s}+\frac{0,00898994Xs}{0,00898994s+1}$
1	10PSI	30 segundos	12 segundos
2	15PSI	32 segundos	10 segundos
3	20PSI	30 segundos	9 segundos
4	30PSI	37 segundos	8 segundos
5	40PSI	45 segundos	10 segundos

5. CONCLUSIONES

El bloque físico de control de los variadores de frecuencia ha sido el componente principal que permite su integración con el PLC S7-1200 1214C-DC/DC/DC; de no existir o no funcionar, el control de los variadores de frecuencia se llevaría a cabo mediante la conexión Ethernet de los dispositivos, sin embargo, sería un proceso complejo por la incompatibilidad de los elementos. En los casos de integración de componentes de control de diferente marca, la mejor opción es conectarse al Power Flex 525 por su bloque físico de control y configurar los parámetros P046 (opción 2) y P047 (opción 5) correspondientes al arranque y referencia de velocidad respectivamente.

El método de Ziegler y Nichols 'Curva de respuesta en forma de S' ha demostrado su efectividad en la sintonización de la ganancia proporciona Kp, el tiempo de integración Ti y el tiempo derivativo Td, a pesar del ruido excesivo presente en la señal del sensor de presión. Sin embargo, dichos parámetros del algoritmo no ofrecen los tiempos de respuesta más eficientes para el proceso y requieren de un reajuste cuidadoso experimental.

Según la comparación de los algoritmos de control generados en el proyecto, el que más se adapta al sistema es el obtenido con el Compact_V12, no causa sobre elongación de la respuesta, logra alcanzar el set point por lo que el error es cero y el tiempo de asentamiento es considerablemente menor que el de la respuesta del algoritmo de control con los parámetros de Ziegler y Nichols.

Se observa que la frecuencia natural del sistema Wn es más controlada cuando se usa el algoritmo del Compact_V12 que cuando se encuentra operando la sintonización de Ziegler y Nichols. Esto se debe a la falta del ajuste de los parámetros PID encontrados en la curva de respuesta al escalón. Por ello el sistema debe enviar una mayor cantidad de pulsos de respuesta para alcanzar el set point.

El algoritmo de control que entrega el mejor tiempo de respuesta del sistema es el generado mediante el objeto tecnológico Compact_V12 ofrecido por el TIA V13. En esencia, el procedimiento realizado por el objeto tecnológico es similar a la regla de sintonía de Ziegler y Nichols ya que realiza dos optimizaciones de los parámetros; la primera de ellas es una optimización general y la segunda es una optimización fina que permite al programador omitir el procedimiento de reajuste de datos mediante prueba y error.

Debido a la estructuración del PID generado por el algoritmo de control del objeto tecnológico Compact_V12, el sistema logra alcanzar el set point con cualquier grupo de parámetros Kp, Ti y Td, cuando Kp es diferente de 0. La variación entre un grupo de parámetros y otro es el error de la respuesta, el tiempo de respuesta y la sobre elongación de la respuesta. Esto se visualiza en la sección de evaluación de los dos grupos de parámetros que se han generado en el proyecto. De cualquier manera, la composición del algoritmo del software se ha diseñado para compensar o descompensar la presión del sistema y mantener el set point en todo momento.

6. REFERENCIAS

SIEMENS, Autómata programable S7-1200, configuración e instalación.

SIEMENS, Software de sistema para S7-1200. Diseño de programas.

SIEMENS, Manual Simatic S7-1200(www.siemens.com)

PORRAS C, Alejandro. Autómatas Programables. Fundamento, manejo y practica. Edit. McGraw Hill.

SIMON, André. Autómatas Programables. Programación, automatismos y lógica programada.

Y.-C. Wu y C.-F. Fan, «Automatic test case generation for structural testing of function block diagrams», Inf. Softw. Technol., vol. 56 (10), pp. 1360-1376, oct. 2014.

A. Mader, «A Classification of PLC Models and Applications», en Discrete Event Systems, vol.

R. Boel y G. Stremersch, Eds. Springer US, 2000, pp. 239-246.

L. Wang, G. Adamson, M. Holm, y P. Moore, review of function blocks for process planning and control of manufacturing equipment», J. Manuf. Syst., vol. 31 (3), pp. 269-279, 2012.

International Electrotechnical Commission, «IEC 61499-1: Function Blocks - Part 1 Architecture», Int. Stand. First Ed. Geneva, vol. 1, 2005.

I. E. Commission, «Programmable Controllers - Part 3: Programming languages», vol. 3, 2003.

N. Völker y B. J. Krämer, «Automated verification of function block-based industrial control systems», Sci. Comput. Program., vol. 42 (1), pp. 101-113, 2002.

C. Yuan y P. Ferreira, «An integrated rapid prototyping environment for reconfigurable manufacturing systems», en ASME 2003 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2003, pp. 737-744.

C. Yuan y P. Ferreira, «An integrated environment
for the design and control of deadlock - free flexible manufacturing cells», en ASME 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2004, pp. 471-481.

Complemento al libro “Advanced PID Control” de Complemento al libro “Advanced PID Control” de Aström y Hägglund, 2005