



AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

Análisis del lazo de control de nivel LIC05001 de la Empresa Electroquímica de Sagua

Analysis of the control level loop LIC05001 of the Company Electrochemical of Sagua

Ing. Alexander Rodríguez Conte¹, Ing. Edel Rodríguez Alvarez²

1-Alexander Rodríguez Conte. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
arconte@uclv.cu

2-Edel Rodríguez Alvarez. Empresa Electroquímica de Sagua, Cuba.
erodriguez@elquim.cu

Resumen: El proceso de puesta en marcha de la nueva inversión en la Empresa Electroquímica de Sagua ha arrojado la necesidad de evaluar la efectividad del sistema de control implementado. El lazo de control de nivel del tanque de salmuera filtrada se considera como uno de los lazos complejos de la planta. Esta investigación se propone analizar el control de nivel del tanque en cascada con el flujo hacia los filtros de acabado. Para ello se describe la complejidad e importancia del sistema de filtración de salmuera, se caracteriza a los elementos que componen el lazo y se analiza la estrategia de control implantada. Además, se muestran valores reales de proceso obtenidos en una prueba de ajuste del lazo realizada el 22 de marzo de 2019. Todo ello permite tomar valoraciones acerca de la efectividad del sistema de control de nivel implementado en la unidad de proceso 05 de filtración de salmuera.

Abstract: *The process of starting of the new investment in the Electrochemical Company of Sagua has produced the need to evaluate the effectiveness of the implemented control*



system. The control of level loop of the filtered- brine tank is considered like one of the complex loops of the plant. This investigation proposes analyzing the control of level of the tank in cascade with the flow toward the filters of finishing. For that in the research it described the complexity and importance of the leak system of brine, and the elements that compose the loop are characterized and the strategy of control established is analyzed. Furthermore, are shown real values of process obtained in a proof of adjustment of the loop made on March 22, 2019. It all allows taking assessments about the effectiveness of the control system of level implemented in the processing unit 05 of leak of brine.

Palabras Clave: Control automático de procesos; Filtración de salmuera; Instrumentación industrial

Keywords: *Automatic process control; Brine filtration; Industrial instrumentation*

1. Introducción

La Empresa Electroquímica de Sagua (ELQUIM) se encuentra en un proceso de cambio tecnológico que posibilite tanto el aumento de la productividad de la misma como reducir el impacto medioambiental que la actual tecnología provoca en la zona. Esta empresa, fundada en 1936, se dedica, en la actualidad, a la producción de cloro, sosa cáustica, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico, y otros productos de química ligera. Su producción se dedica a satisfacer las necesidades nacionales a entidades como: Ministerio de Salud Pública, Acueducto y Alcantarillado, INDER, entre otros.

El proceso de producción de cloro, principal producto de la empresa, se realiza mediante la electrolisis de Cloruro de Sodio (NaCl). Con el uso de la tecnología de celdas de membrana – lo que elimina el uso del mercurio, el cual es un agente altamente contaminante para el Medio Ambiente - se realiza un proceso de electrolisis en el que se hace reaccionar Sosa Cáustica (cátodo) y Salmuera ultrapura (ánodo) (Noval Gómez, 2017).

La salmuera ultrapura que entra en las celdas se obtiene al hacer pasar la salmuera inicial por procesos de saturación, precipitación, clarificación, filtración, purificación secundaria y la adición de ciertos productos para la eliminación de otros sustratos.



Según (ThyssenKrupp, 2016b), las impurezas en la sal son la mayor causa de dificultad para mantener un buen rendimiento de las membranas en las celdas de electrólisis. Las impurezas disueltas se pueden eliminar en un intercambiador iónico, pero los sólidos en suspensión no. Por esto es necesario la filtración para eliminar por completo los sólidos antes de alimentar la salmuera al tratamiento secundario.

Las impurezas sólidas residuales de la salmuera clarificada se eliminan en dos etapas de filtración distintas: la primera con filtros de antracita y la segunda con filtros de acabado. Cada etapa dispone de un filtro de reserva, que se pone en marcha cuando alguno de los filtros en funcionamiento necesita limpieza. El sistema de filtración de dos etapas garantiza que la salmuera que se envía a la unidad de purificación secundaria de la salmuera carezca prácticamente por completo de sólidos en suspensión (ThyssenKrupp, 2016b).

En los filtros de acabado 05F002A/B (filtros de vela Dr Müller) la salmuera se hace circular por las velas del filtro, donde quedan retenidos los sólidos, por la presión que impregna la bomba 05P001 situada a la salida del tanque de salmuera filtrada. El caudal hacia los filtros de acabado se controla con una válvula de control de flujo en función del nivel del tanque de salmuera filtrada 05D001 (ThyssenKrupp, 2016b).

Este control en cascada permite mantener nivel del tanque lo que garantiza que no se active el enclavamiento que hace parar la bomba 05P001 por bajo nivel en el tanque. Además, permite mantener regulado el flujo a la entrada de los filtros, cuestión esencial para el correcto funcionamiento en el proceso de filtración de salmuera.

La presente investigación se encamina a analizar el lazo de control de nivel del tanque de salmuera filtrada. Para ello se describen los elementos del lazo (medidores, elementos de acción final, etc.) y se muestra un modelo del lazo en cascada nivel-flujo. Se analiza la filosofía de control implementada y se presentan valores reales de las variables medidas obtenidos en uno de los chequeos de lazo realizado en la planta.

2. Metodología

El lazo de control de nivel del tanque de salmuera filtrada, está compuesto por un controlador de nivel (LIC05001) implementado en el Sistema de Control Distribuido (DCS, por su sigla en inglés), un medidor de nivel (LT05001) y el tanque de salmuera filtrada. El controlador LIC05001 proporciona el valor de consigna a los controladores de



flujo (FIC05009A/B) de salmuera filtrada hacia los filtros de acabado. El lazo de control de flujo se integra por dicho controlador, las válvulas FV05009A/B y los flujómetros FT05009A/B.

2.1 Componentes del lazo de control

- El tanque de salmuera filtrada 05D001

Posición	Vertical
Volumen nominal	32,00 m ³
Diámetro de carcasa, exterior	3200,00 mm
Altura (longitud) de carcasa	4500,00 mm
Presión máx. permitida	0,02 bar g
Presión máx. permitida, inferior	-0,01 bar g
temperatura máx. permitida, superior	80,00 °C

- Sensor de nivel



Fig 1 Sensor de nivel EJA110E + W99027D

El medidor de nivel LT05001 infiere la medida del nivel por la presión hidrostática de la columna del fluido presente en el tanque. Se trata del dispositivo de modelo EJA110E + W99027D fabricado por la empresa Yokogawa, que mide la presión por un principio piezoeléctrico (ThyssenKrupp, 2016a; Yokogawa, 2015). Entre sus principales características se encuentran:

Rango de medida	0-100% (0 a 3750 mm)
Salida	4 a 20mA con HART
Rango de variable primaria	0 a 433.2 mbar
Precisión	±0.5%



Voltaje de alimentación	10,5 a 42 V
Fluido incompresible del medidor	Aceite de silicona
Grados de protección	IP67
Constante de tiempo	2 seg
Alarma por alto nivel y bajo nivel respectivamente	90% 40%
Switch de alarma por bajo-bajo nivel y por bajo-bajobajo nivel respectivamente	25% 18%

- Trasmisor de flujo



Fig 2 Sensor de flujo OPTIFLUX 4300C

El flujómetro FT05009 es empleado para medir el flujo de salmuera filtrada proveniente del tanque hacia el filtro. Dicho medidor, fabricado por la empresa KROHNE en su modelo OPTIFLUX 4300C, tiene principio de medida electromagnético por la Ley de Faraday (GmbH, 2016b; KROHNE, 2014). Entre sus principales características se hallan:

Rango de medida	0 a 26 m ³ /h
Salida	4 a 20 mA
Valor primario medido	Velocidad de caudal
Valor secundario medido	Caudal volumétrico
Dirección del fluido	Bidireccional
Conductividad eléctrica	> 1 μS/cm
Grados de protección	IP 65



- Válvula de control de flujo hacia los filtros



Fig 3 Válvula de control

La válvula FV05009 se trata de una válvula de tipo globo fabricada por la empresa Samson modelo Pfeifer 1b con accionamiento neumático y posicionador. Este último se usa para asignarle la posición al vástago de la válvula manteniendo la relación entre esta señal y la señal eléctrica que se convierte a presión para accionar la válvula. Presenta además una electroválvula que permite que la válvula regrese a su posición segura (Normalmente Cerrada) cuando se active un enclavamiento o señal de alarma en el lazo (GmbH, 2016a; Samson, 2008, 2015). Entre las principales características de la misma se encuentran:

Recorrido de actuador	30.0mm
Set point de la señal de mando	4 a 20mA
Presión de alimentación	1,4 a 7 bar
Característica	Lineal
Sensibilidad	≤ 0.1 %
Constante de tiempo	240 s con aire ajustable
Grados de protección	IP 66
Kv	54
Bus de campo	HART ®
Alimentación de solenoide	24 V DC con aislamiento
Señal '0' Señal '1'	<12 V >19 V
Transmisor de posición	4 a 20 mA

- Bomba centrífuga a la salida del Tanque 05D001



Fig 4 Bombas del sistema

Capacidad	25,00 m ³ /h
Presión diferencial	4,470 bar
Altura (longitud) de carcasa	2800 mm
Presión máx. permitida	9,00 bar g
Unidad motriz	Motor eléctrico
Flujo mín.	5 m ³ /h
Eficiencia	90%
Velocidad	3550 rpm
Potencia	7,5 kW

La Fig 5 muestra en un diagrama de instrumentos y tuberías (P&ID, por sus siglas en inglés) la posición de los elementos del lazo.

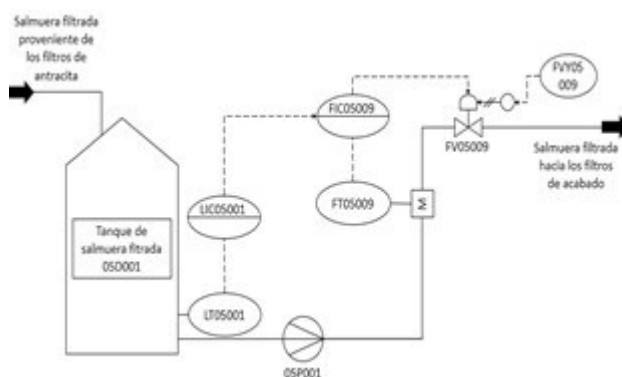


Fig 5 Diagrama P&ID del lazo en cascada nivel-flujo

El control en cascada nivel-flujo que se analiza no tiene en cuenta el modelo del filtro debido a que la acción del controlador de nivel solo enviará set point al controlador de flujo para regular la entrada del fluido al filtro y mantener controlado el nivel. Solo se tiene en cuenta que el tanque se mantenga en un nivel adecuado (entre 40% y 90%).



Tampoco se considera la dinámica de la bomba pues su función es solo enviar el flujo de salmuera desde el tanque hasta los filtros sin realizarse ningún control con la misma.

2.2 Filosofía del sistema de control

El sistema de control del nivel del tanque 05D001 presenta una estrategia de control en cascada nivel-flujo. Esta estrategia permite rápidas respuestas ante perturbaciones, en este caso, del flujo a la salida del tanque. El objetivo principal de este sistema es mantener controlado el flujo a la entrada de los filtros 05F009A/B, que garantice un correcto proceso de filtración de salmuera. Al mismo tiempo es necesario que este flujo a la salida del tanque no cause una para de emergencia de las bombas 05P001 por bajo nivel en el tanque. Para ello la estrategia en cascada posibilita que el nivel en el tanque se mantenga controlado. El controlador LIC05001 establece el set point del controlador FIC05009, y este responde de forma más rápida ante cambios del flujo.

Por otro lado, el flujo mínimo con el que pueden trabajar las velas de los filtros de acabado es de $10\text{m}^3/\text{h}$. Para garantizar este régimen de trabajo, la señal de mando del controlador de nivel es comparada con el valor de flujo mínimo mediante el comparador FY05009. De esta manera si el controlador LIC05001 envía un set point menor a $10\text{m}^3/\text{h}$ para el FIC05009, este último trabajará con su menor flujo permitido.

La Fig 6 muestra un diagrama de la filosofía de trabajo de la cascada nivel-flujo presente en este sistema de control.

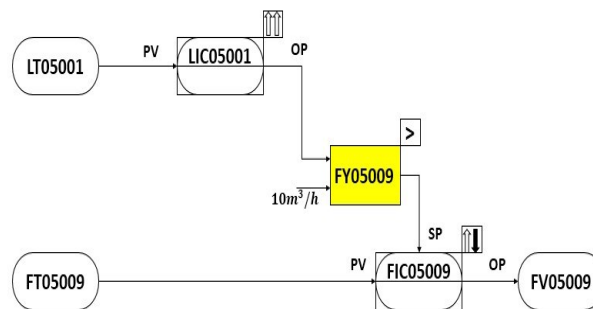


Fig 6 Diagrama de la filosofía de trabajo



3. Resultados y discusión

La configuración implementada para los controladores LIC05001 y FIC05009 por parte de los diseñadores del proyecto, la empresa alemana ThyssenKrupp Electrolysis GmbH, es Proporcional-Integral (PI). Para ambos casos los controladores tenían una ganancia proporcional de valor 100 y una ganancia integral de valor 20 como sintonía por diseño. En la medida que ha avanzado el proceso de puesta en marcha, ha sido necesario cambiar los parámetros de sintonía de manera que el sistema de filtración secundaria responda de forma óptima.

Durante pruebas realizadas en la planta se determinó por parte de los ingenieros de proceso que lideran el chequeo de lazos, elevar las ganancias proporcional e integral a 300 y 28 respectivamente, en el controlador de flujo. Por otro lado, en el controlador de nivel solo se cambió a 80 la ganancia proporcional. Es necesario acotar que el tiempo integral se encuentra en segundos, la ganancia se expresa en banda proporcional y el fluido que se regula durante las pruebas es agua desmineralizada.

La Fig 7 muestran el comportamiento del lazo en cascada durante una prueba realizada el viernes 22 de marzo de 2019 en la unidad de filtración de salmuera. Los datos fueron tomados del almacenamiento histórico de la planta entre las 10:49 y las 11:01 am del día señalado. Los valores de sintonía de los controladores en el momento de la prueba eran de:

Controlador de nivel: $K_p=80$ y $K_i=20$

Controlador de flujo: $K_p=300$ y $K_i=28$

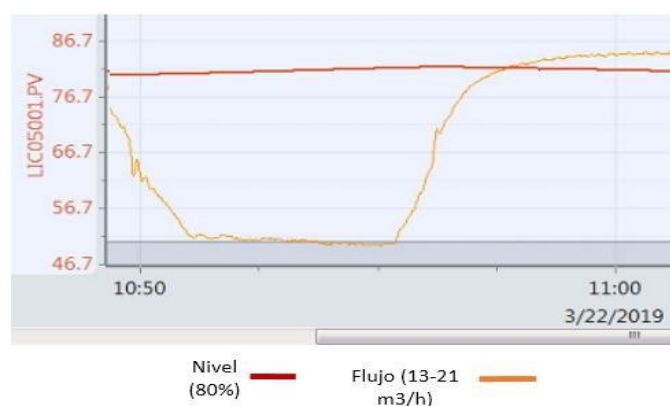


Fig 7 Valores reales de nivel y flujo de la planta durante un chequeo de lazos (Fuente: valores históricos de la planta)



Se puede apreciar en la Fig 8 que el nivel del tanque se mantuvo regulado alrededor del 80% durante el periodo mostrado. A pesar de las variaciones del flujo por las exigencias del proceso de filtración, el nivel se mantuvo alrededor del punto de consigna con un error máximo de 2%. Se observa una disminución del nivel ante un aumento del flujo de salida que se mantiene regulada por el controlador LIC05001.

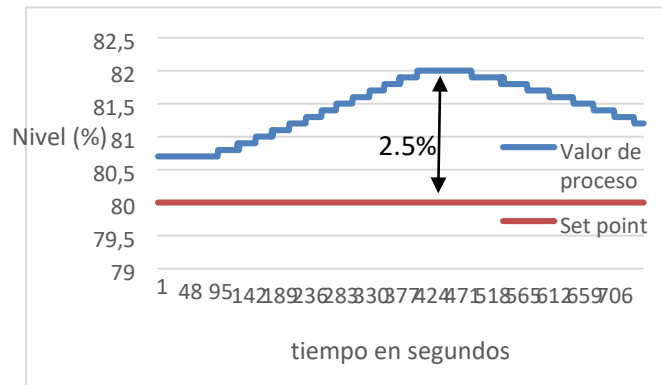


Fig 8 Respuesta de lazo de nivel con valores reales del proceso

Por otro lado, tal como se observa en la Fig 9, el lazo interno de flujo recibió un cambio en su set point de tipo paso con valor 7 m³/h para que se disminuyera el flujo hacia el filtro como parte del proceso de filtración. En la figura se aprecia que el controlador es capaz de llevar al lazo al valor deseado en 120 segundos aproximadamente sin errores en el estado estable.

A los 249 segundos de haberse alcanzado el valor deseado recibió otro cambio de tipo paso en este caso para que se aumentara el flujo, de valor 7. Se puede observar en Fig 9 que a los 89 segundos el sistema alcanzó el valor deseado, con una respuesta estable y con un error máximo de 10%. A pesar del error la respuesta mostrada, de acuerdo con los ingenieros de proceso, es adecuada para el correcto funcionamiento de la planta.

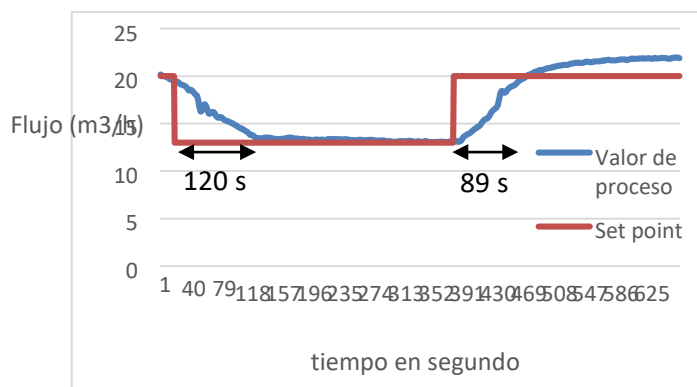


Fig 9 Respuesta del lazo de flujo con valores reales del proceso



4. Conclusiones

1. Los elementos que componen al lazo de control de nivel del tanque de salmuera filtrada de la unidad 05 presentan características estáticas, dinámicas y constructivas adecuadas para trabajar salmuera, un fluido altamente corrosivo y cumplir con las exigencias del proceso.
2. La configuración de los controladores de la forma PI, así como la sintonía que presentan los permite la estabilidad de los lazos de nivel y flujo ante cambios en el set point y en los disturbios.
3. Los valores reales del proceso tomados durante el chequeo del lazo demuestran que la estrategia de control implementada permite una respuesta estable y con un máximo error de 2.5% en el estado estable para el lazo de nivel y 10% para el controlador de flujo.
4. Con el análisis desde la teoría del control las diferentes estrategias de control que se han implementado en la nueva inversión de la planta de producción de cloro y sosa de Sagua la Grande, se obtienen bases que sirven para la solución de problemas y correcta operación de la planta.

5. Referencias bibliográficas

- GmbH, T. E. (2016a). Instruments Specification. Globe valv with interior lining PFA with pneumatic Actuator.
- GmbH, T. E. (2016b). Intruments Specification. Magnetic-inductive flow meter, Ti electrodes
- KROHNE. (2014). OPTIFLUX 4000. In KROHNE (Ed.).
- Noval Gómez, L. (2017). El cloro, producción e industria.
- Samson. (2008). Posicionador electroneumático.
- Samson. (2015). Pneumatic actuator Type 3277. In S. S.A (Ed.).
- ThyssenKrupp, E. G. (2016a). Instrument specifitation. Level dP-transmitter with chemical seal, Ta.
- ThyssenKrupp, E. G. (2016b). MANUAL DE INSTRUCCIONES. Sistema de salmuera.
- Yokogawa. (2015). Instruction manual Transmitter Serie 110. In Y. E. Corporation (Ed.), (18 ed.).