



DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL ÁCIDO SULFÚDRICO (H₂S) CONTENIDO EN EL BIOGÁS EN UNA TORRE DE FILTRACIÓN

Design of the control strategy for hydrogen sulfide (h₂s) contained in the biogas in a filtration tower

RESUMEN

En este artículo se presenta el diseño de la estrategia de control para la reducción de la concentración en ppm de ácido sulfúdrico, presente en el biogás crudo, extraído de biodigestores, mejorando así las condiciones del biogás para ser utilizado en generación eléctrica. Ante la falta de acceso a la planta, se aprovecha la disponibilidad de ciertos datos del funcionamiento de la torre de filtración, y utilizando redes neuronales artificiales se obtiene un modelo del proceso realizado internamente en la torre. Se construye con este modelo un lazo de control PID, en Simulink, para determinar los parámetros de sintonía del controlador que permitan obtener el desempeño adecuado del proceso. Para desarrollar el programa de control en un autómata programable, se utiliza la aplicación TIA Portal de Siemens,

- Javier Enrique Rodríguez Ceballos
javier.rodri-guez@uao.edu.co
- Jesús Alfonso López Sotelo
jalopez@uao.edu.co
- William Gutiérrez Marroquín
william.gutierrez@ sena.edu.co - CEAI

AUTORES

implementando la estrategia de control en un PLC serie S7-1500. Mediante intercambio de datos entre la aplicación TIA Portal y Simulink, a través de una aplicación OPC, se determina el comportamiento del proceso

de acuerdo con las condiciones de diseño establecidas. Se diseña una interfaz gráfica de usuario, HMI, desde la cual el operario puede visualizar el estado del proceso o modificar determinadas condiciones de su funcionamiento. El procedimiento utilizado con el modelo de la planta y en modo simulación, permitió alcanzar unos valores aceptables cercanos a las condiciones de diseño especificadas.

Palabras Claves: Ácido sulfhídrico, autómatas programables, biogás, estrategia de control, redes neuronales, torre de filtración.

ABSTRACT

This article presents the design of the control strategy for the reduction of ppm of hydrogen sulfide, which is present in crude biogas and is extracted through bio-digesters, thus improving the biogas conditions to be used in electrical generation. Given the lack of access to the plant, the availability of data on the operation of the filtration tower is used and using artificial neural networks a model of the process is obtained. A PID control loop is built with this model, in Simulink, to determine the setting parameters of the controller that allow obtaining the adequate performance of the process. To develop the control program in a programmable controller, the Siemens TIA Portal application is used, implementing the control strategy in an S7-1500 series PLC. Through data exchange between the TIA Portal application and Simulink. Through an OPC application, the behavior of the process is determined according to the established design conditions. A human machine interface, HMI, is designed from which the operator can view the status of the process or modify

some conditions of its operation.

Keywords: hydrogen sulfide, programmable automaton, biogas, control strategy, neural networks, filtration tower.

1. INTRODUCCIÓN

El mundo actual enfrenta una crisis energética donde uno de los factores que contribuye a ello es el uso indiscriminado de los combustibles convencionales. Para ello se han buscado alternativas de energías no convencionales, entre ellas, el caso del biogás. El biogás es un combustible sustentable, que se obtiene mediante el proceso de descomposición anaerobia de residuos orgánicos. En general, está compuesto aproximadamente por un 56% de gas metano (CH_4), un 40% de dióxido de carbono (CO_2), además de oxígeno y otros gases (W.-B. pp34-41 CIOB, 2010). Actualmente, al igual que el gas natural, formado principalmente por metano, el biogás permite generar electricidad a partir del uso de motores de combustión interna que impulsan un generador eléctrico. Uno de los componentes del biogás es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el cual en ciertos niveles de concentración es perjudicial para los motores y la estructura por la cual es transportado. El H_2S es un gas inflamable, incoloro, altamente tóxico y corrosivo, por lo cual dificulta su transporte por tuberías, su almacenamiento en tanques y otras estructuras metálicas, como aquellas que participan en la generación y distribución de electricidad (M. Varnero et al., 2012).

En este documento se presenta el diseño de una estrategia de control que permite disminuir la concentración de H_2S en el

biogás utilizando técnicas de inteligencia artificial, como lo son las redes neuronales, para la obtención del modelo del proceso. El resto del documento está estructurado de la siguiente forma, en la sección dos se presenta el estado del arte sobre otros intentos de reducción de los niveles de H₂S mediante distintas técnicas de remoción, en la sección tres se presenta la metodología implementada en el proyecto, en la sección cuatro se presenta el desarrollo del proyecto, detallando cada una de las actividades realizadas, posteriormente se presentan los resultados y su discusión en la sección cinco y por último en la sección seis se presentan las conclusiones.

2. ESTADO DEL ARTE

Por las características del biogás, es necesario someterlo a un proceso de depuración (L. Hamelin, H. Møller, & U. Jørgensen, 2020); se cuenta con diversas opciones tecnológicas para la depuración del H₂S presente en el biogás, basadas principalmente en procesos de tipo físico, químico y biológico tales como la absorción, adsorción, filtración, oxidación y mineralización. Tradicionalmente, los sistemas basados en procesos fisicoquímicos han sido los más implementados, a pesar de que los costos de inversión y operación tienden a ser altos dado el consumo de energía, productos químicos y generación de residuos secundarios que requieren de disposición final. Entre los sistemas de depuración de H₂S más utilizados a nivel comercial se encuentra la aplicación de cloruro férrico en el efluente que alimenta el biodigestor, la filtración por medio de óxidos de hierro, el uso de carbón activado como medio

filtrante y los lavadores de gases (scrubbers) con base en agua o hidróxido de sodio. La aplicación directa de pequeñas cantidades de oxígeno en la zona donde se almacena el biogás en los biodigestores permite reducir considerablemente los niveles de H₂S gracias a la oxidación biológica realizada por un grupo de microorganismos denominados Thiobacillus, que transforman el H₂S en azufre elemental. En los últimos años, los sistemas biológicos aerobios han adquirido especial importancia en la remoción eficiente de compuestos gaseosos en altas concentraciones tales como el H₂S; estos sistemas biológicos se caracterizan por tener menores costos de inversión y bajos requerimientos energéticos, lo cual les otorga claras ventajas económicas sobre las demás opciones tecnológicas de depuración.

A nivel de inteligencia artificial, entre las técnicas que se han implementado para la reducción del ácido sulfhídrico en torres de filtración, destaca por su efectividad el control mediante lógica difusa. La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general, la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas (D'Negri et al., 2006). Por lo anterior, ésta ha conseguido un gran éxito y un mayor número de seguidores al ser implementada en el control de procesos industriales. Una de las ventajas que suelen mencionarse de los controladores difusos, frente a otro tipo de controladores, es que pueden diseñarse, aunque no se tenga un

modelo matemático exacto de la planta a controlar gracias a que están basados en reglas. Esta situación, sin embargo, no es del todo favorable ya que el no tener un modelo matemático de la planta implica no poder realizar simulaciones sobre la misma, de tal manera que los ajustes del controlador deben realizarse en línea (Oscar Duarte, 2000).

3. METODOLOGÍA

La automatización de los procesos productivos se establece como una herramienta fundamental que permite a las empresas un desarrollo propio, dinámico y competitivo, facilitando la relación entre las diferentes áreas de la organización o empresa. Por lo que es muy importante aplicar una buena metodología o procedimiento adecuado y eficaz, que permita a las industrias automatizar bienes de producción particularmente con el uso de PLC's (J. Castro, J. Padilla, & E. Romero, 2005).

De este modo, para llevar a cabo la implementación de la estrategia de control para una torre de filtración del H₂S contenido en el biogás, se hace uso del Ciclo de Deming con el propósito de lograr una automatización eficiente y operativa, el cual se representa en la siguiente figura.



Figura 1. Gráfico ilustrativo del Ciclo de Deming. Fuente: Ciclo de Deming: Metodología de mejora continua | PDCA - PHVA. (2020). Retrieved 12 September 2020, from <https://www.ingenieriadecalidad.com/2020/02/ciclo-de-deming.html>

El ciclo Deming conocido como espiral de mejora continua propone inicialmente la fase de planeación, en la cual se establecen las actividades del proceso necesarias para obtener el resultado esperado. En la fase del hacer se realizan las actividades establecidas previamente. En la fase de verificación se determina el nivel de alcance de los objetivos propuestos y finalmente, a partir de los resultados alcanzados se procede a recopilar lo aprendido y a ponerlo en marcha. También suelen aparecer recomendaciones y observaciones que suelen servir para el cierre del ciclo y el establecimiento de una mejora continua.

4. DESARROLLO

4.1. Caracterización del Proceso

En el diagrama de flujo de la figura 2 se presentan las etapas del proceso por las cuales pasa el biogás crudo que sale de los biodigestores, antes de ser utilizado en la generación de energía.

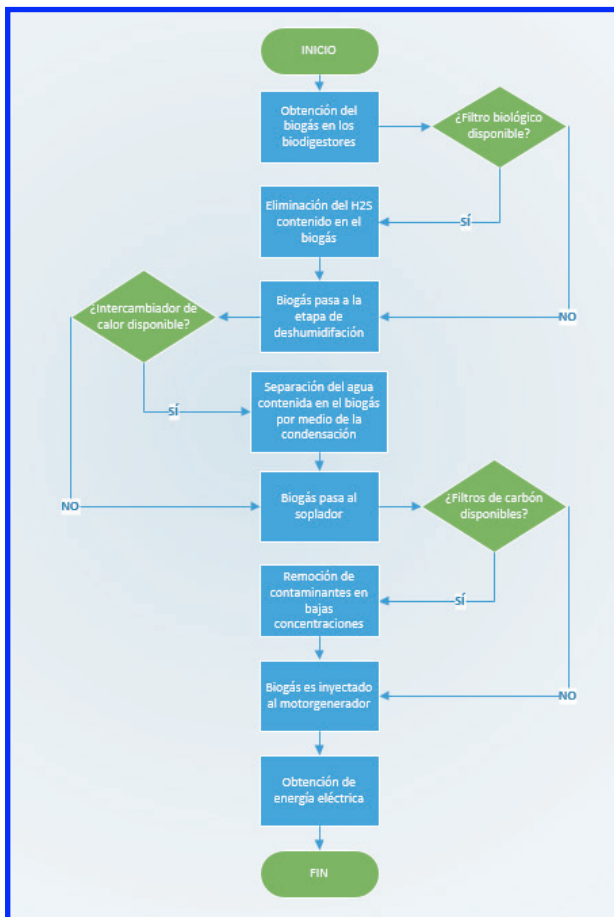


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento del biogás. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de flujo implementado permite identificar la etapa donde se debe implementar la estrategia de control, justo después de que el biogás sale del biodigestor. En esta etapa, mediante la torre de filtración,

que en este caso es el filtro biológico, se controla la concentración en ppm del H₂S a la salida del filtro, asegurando a través de la remoción por procesos biológicos, que el valor deseado dado en las especificaciones de funcionamiento sea alcanzado.

4.2. Lazo de Control a Implementar

Antes de identificar el lazo de control a implementar, cabe aclarar que el lazo o bucle de control en su forma básica es el sistema compuesto por el dispositivo de medición, el controlador, el elemento final de control y el propio proceso. El objetivo de este es mantener el proceso estable, independientemente de perturbaciones y desajustes (Issac Hernández, 2021).

Para una adecuada interpretación del lazo de control, se construye entonces el diagrama P&ID (Diagrama de instrumentación y tuberías) de la planta, resaltando la ubicación del lazo de control a implementar. En la figura 3 se presenta el diagrama P&ID de la planta, y con líneas a trozos, se muestran los elementos que componen el lazo de control.

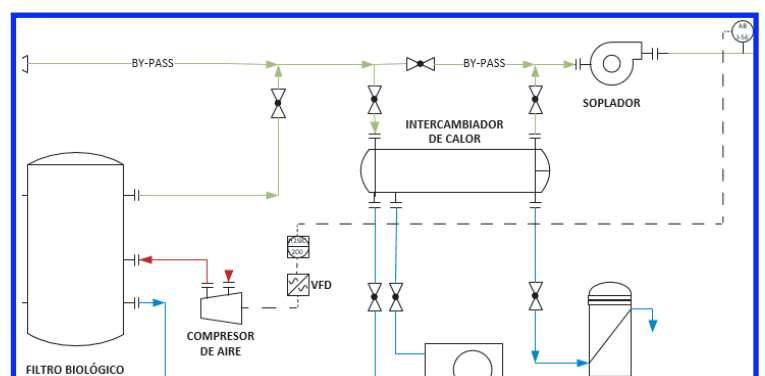


Figura 3. Lazo de control a implementar para el control de H₂S de acuerdo con la instrumentación y las tuberías del proceso de tratamiento del biogás. Fuente: Elaboración propia.

La concentración de H_2S en el biogás se mide a la salida del soplador utilizando el analizador, la señal captada es enviada al controlador de velocidad, con la cual se manipula la cantidad de oxígeno que entra al filtro biológico y así poder regular la concentración del H_2S . Al ser la torre de filtración un filtro biológico, la variable a manipular es el porcentaje de oxígeno que entra al filtro, para garantizar la reproducción de las bacterias encargadas de eliminar el H_2S .

Debido a que los datos registrados no presentan una periodicidad de muestreo constante y se evidencia gran dispersión en los mismos, se realiza un análisis inicial y se decide utilizar técnicas de redes neuronales para obtener el modelo del filtro biológico (J. Gonçalves Neto et al., 2021). Se utiliza la aplicación Matlab versión R2020a para obtener el modelo del comportamiento de la planta. En el diagrama en bloques siguiente se muestra el tratamiento realizado a los datos.

4.3. Diseño de la Estrategia de Control

Al no tener acceso a la planta física (filtro biológico), por su ubicación geográfica en el departamento del Meta, se ve la oportunidad de la obtención del modelo a partir de un conjunto de datos del proceso expuestos en la figura 4 suministrados por el ingeniero Arley, responsable en la empresa ProDG Ltda donde se realizó el proyecto.

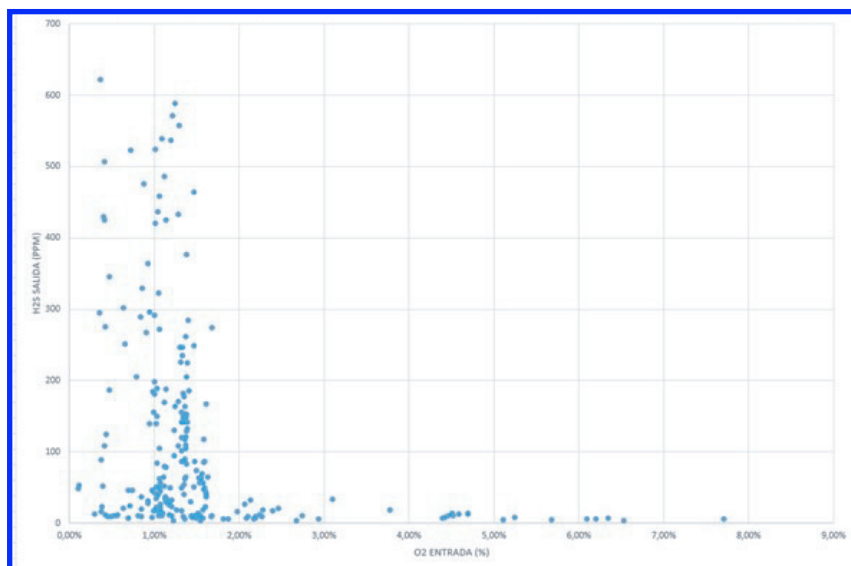


Figura 4. Datos proporcionados del H_2S en función del oxígeno inyectado. Fuente: Elaboración propia.

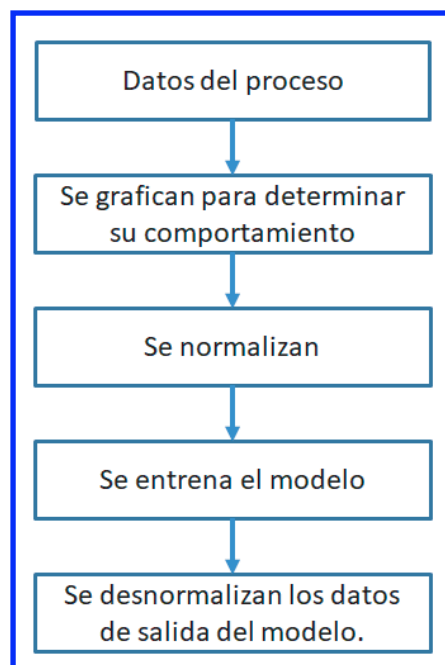


Figura 5. Diagrama de bloques del tratamiento realizado a los datos.

Fuente: Elaboración propia.

Una red neuronal es un modelo de computación cuya estructura de capas se asemeja a la estructura interconectada de las neuronas en el cerebro, con capas de nodos conectados. Ésta puede aprender de los datos, de manera que se puede entrenar para que reconozca patrones, clasifique datos y pronostique

eventos futuros. El valor clave de las redes neuronales artificiales es su capacidad para modelar funciones no lineales muy complejas, aunque también se adaptan bien a problemas altamente dimensionales, donde el número potencial de predictores es muy grande. Además, el esquema de conexión entre neuronas es libre, sin seguir una estructura de capas y permitiendo conexiones recurrentes.

Esta última consideración permite que las redes exhiban comportamientos dinámicos (J. Ortiz, s.f.).

Entre las ventajas que se tienen al utilizar redes neuronales se tienen que son modelos adaptativos, puesto que la aparición de nuevos datos permite el reaprendizaje de los parámetros adaptando los valores anteriores a los datos actuales y son tolerantes a fallos, ya que su comportamiento está distribuido entre todos los parámetros. Así, cuando alguno de ellos es incorrecto, el resultado global se degrada, pero no deja al modelo inoperante, necesariamente.

Inicialmente se realiza una normalización a los datos disponibles del filtro, seguido se implementa un script para el entrenamiento de la red neuronal mediante el cual se obtiene el modelo del proceso.

```

%% Separación de datos de entrenamiento y validación aleatoriamente
U=O2NORMENTRADA';
[trainO2, valO2] = dividerand(U,0.7,0.3);
UTrain=trainO2'; % datos entrada para entrenamiento
Uval=valO2'; % datos entrada para validación
Y=H2SNORMSALIDA';
[trainH2S, valH2S] = dividerand(Y,0.7,0.3);
YTrain=trainH2S'; % datos salida para entrenamiento
Yval=valH2S'; % datos salida para validación

%% Entrenamiento de la red
Phi=[YTrain(1:end-1) UTrain(1:end-1)]';
Yreal=[YTrain(2:end)]';
Red=newff(Phi,Yreal,[10],{'tansig','purelin'},'trainlm');
Red.dividefcn='';
Red.trainParam.goal= 0;
Red=train(Red,Phi,Yreal);

%% Generación de red en Simulink
gensim(Red,-1)
  
```

Figura 6. Código implementado en Matlab para el entrenamiento y la obtención del modelo mediante la red neuronal. Fuente: Elaboración propia.

En el script mostrado en la figura 6, el primer bloque de instrucciones del conjunto de datos totales, se seleccionan el subconjunto que conforma los datos de entrenamiento y el subconjunto de datos de validación. En el segundo bloque se define la estructura de la red neuronal, los elementos de las capas de entrada y salida, número de capas ocultas y el número de neuronas en cada una, así como también el algoritmo de entrenamiento. Como respuesta del entrenamiento se genera un bloque del modelo encontrado por la red neuronal definida, este bloque se integra en Simulink para realizar la implementación de la estrategia de control, en este caso un regulador PID (proporcional, integral y derivativo) continuo, para regular la concentración de H₂S en el biogás (Alex Rubio, 2019). Mediante esta simulación en

Simulink, se determinan los parámetros óptimos del controlador para obtener el comportamiento definido de la planta.

En la figura 7 se muestra la estrategia de control implementada.

esto se establece una comunicación de intercambio de datos vía OPC, KepServer EX5, entre la aplicación TIA Portal y el Simulink (I. Pranowo, Y. Bagastama, & T. Wibisono, 2020). La aplicación KepServer

hace las veces del servidor de datos y las aplicaciones TIA Portal y Simulink son los clientes. En la figura 8 se muestra la configuración de la comunicación OPC en la aplicación Simulink.

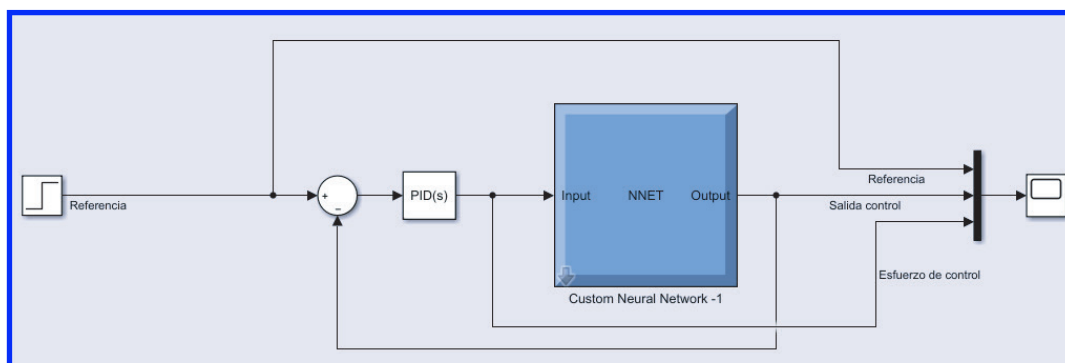


Figura 7. Configuración estrategia de control PID a la red neuronal en Simulink Fuente: Elaboración propia.

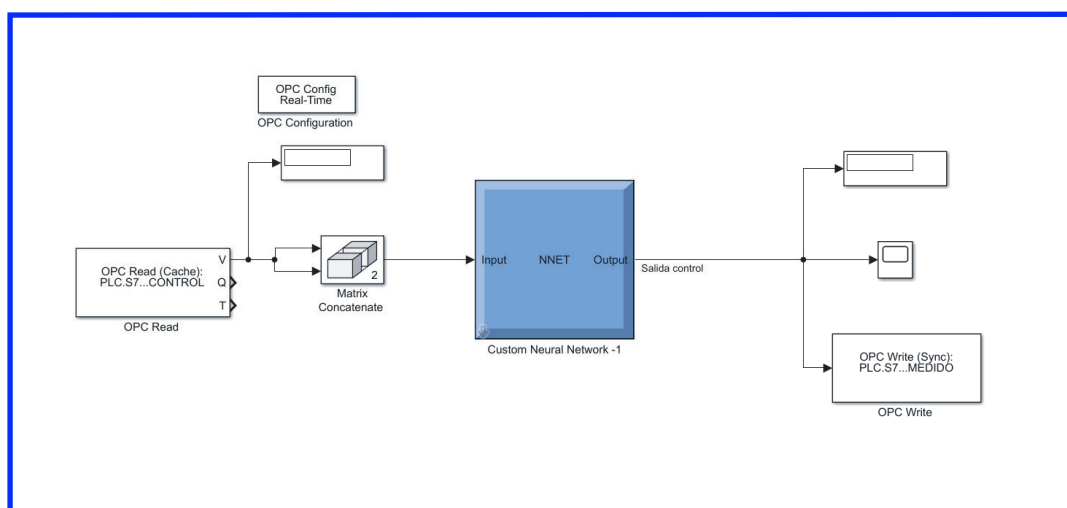


Figura 8. Configuración para aplicar el control PID desde el TIA Portal a la red neuronal en Simulink por medio de comunicación OPC. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Simulación de la Estrategia de Control Implementada en el PLC Seleccionado

Utilizando la aplicación TIA portal, con la cual se programan controladores de la serie Siemens, se implementa la acción de control para regular la concentración del H₂S presente en el biogás. En esta etapa se pretende determinar el comportamiento del modelo obtenido del proceso, implementando la estrategia de control en un autómata programable. Para

Con el fin de que el operario pueda interactuar con el sistema de control, se diseña un sistema HMI con cuatro imágenes, una imagen principal desde la cual se presenta información del proceso y el operario accede a las demás imágenes,

la imagen de visualización de las variables principales en el lazo de control, Setpoint, SP, variable de proceso, PV, y la señal de control, MV, además en esta imagen se puede conmutar el funcionamiento del controlador entre los modos manual y automático. En la imagen de sintonía, el operario puede realizar la sintonía del lazo de control y en la cuarta dispone del gráfico de tendencias donde se puede visualizar el comportamiento en el tiempo de las variables principales del lazo de control. En la figura 9 se muestran las imágenes diseñadas para que el operario supervise y monitoree el proceso.

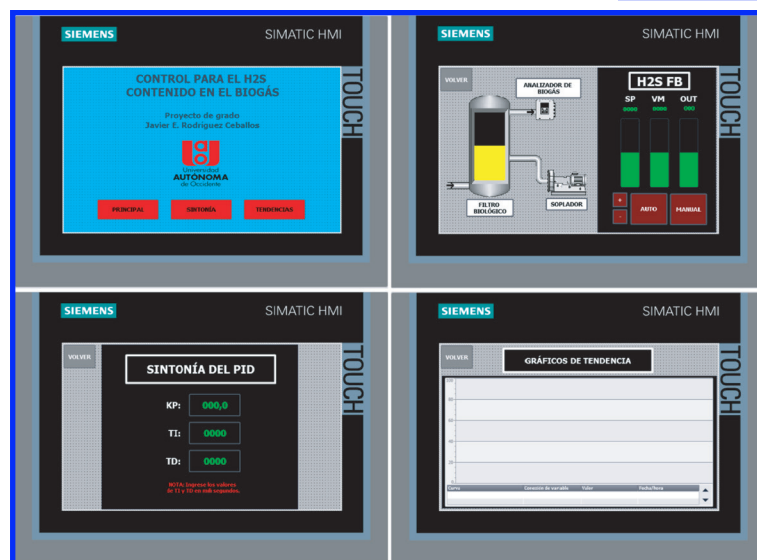


Figura 9. Sistema HMI. Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La sintonía del controlador permite obtener un valor de la variable de proceso, concentración de H₂S, cercano al valor especificado en las condiciones de diseño. En la siguiente

figura se observa el comportamiento de las variables principales del lazo de control.

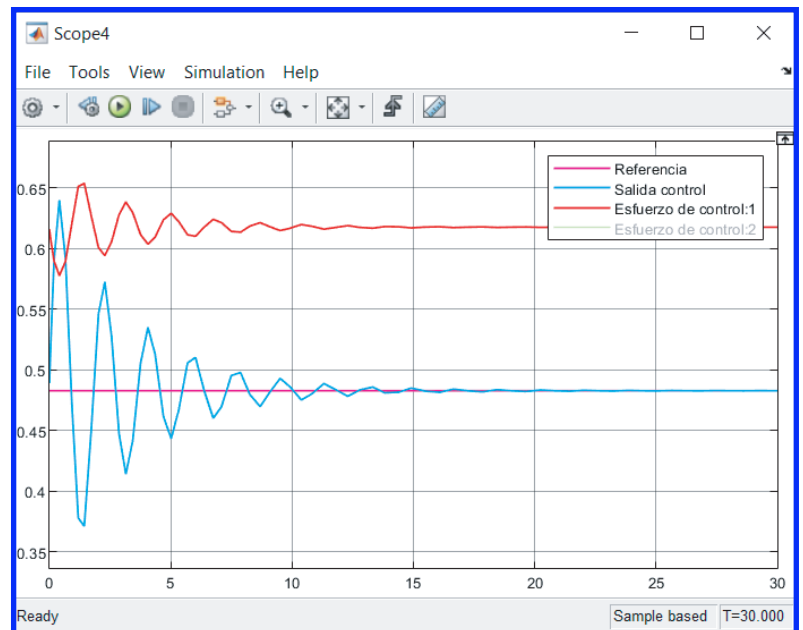


Figura 10. Respuesta del control PID en Simulink a la planta ante una entrada tipo escalón. Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el procedimiento de sintonía del controlador se obtienen los valores, ganancia proporcional $P = -0.2$, tiempo integral $I = 60$ segundos y ganancia derivativa $D = 5$ segundos. El signo negativo en la ganancia proporcional indica que la estrategia de control es de acción directa. En la figura 10 se observa que se obtuvo un tiempo de establecimiento de aproximadamente 20 segundos, menor que el tiempo de 25 segundos establecido en las condiciones de diseño.

Para determinar el comportamiento del sistema de control utilizando el autómata programable, se utilizan los mismos parámetros de sintonía obtenidos en Simulink. En la figura 11 se muestra la

respuesta del sistema de control ante una entrada tipo escalón, con la estrategia de control implementada en el TIA Portal. Desde la interfaz HMI se modifican los parámetros de sintonía del controlador PID, se establecen el Setpoint y se ingresan los parámetros de sintonía obtenidos en Simulink, todo esto utilizando la comunicación OPC establecida entre las aplicaciones.

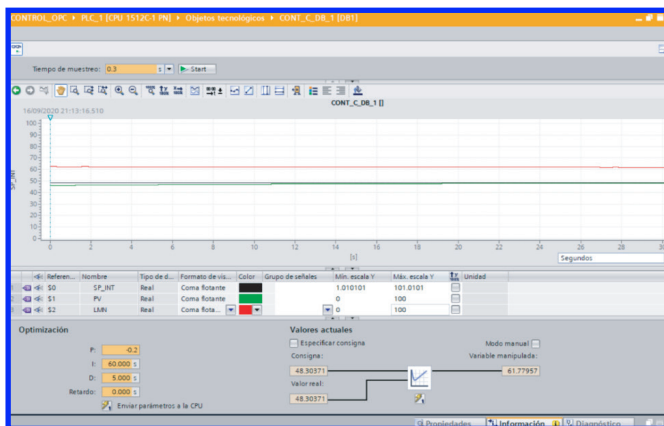


Figura 11. Respuesta de la planta en Simulink ante una entrada tipo escalón, control implementado en TIA Portal. Fuente: Elaboración propia.

Por efectos relacionados a la comunicación entre los programas mediante el servidor OPC, la respuesta ante la entrada no fue idénticamente la misma que en el Simulink, pero se evidencia que tanto el tiempo de estabilización como el esfuerzo de control cumplen con las expectativas que se tenían al aplicar el control desde el autómata programable a la planta simulada. Para concluir con los resultados, se puso a prueba la estrategia de control diseñada y simulada al ingresar diversos valores deseados de H₂S desde la interfaz de control en el HMI. Como se ve en la siguiente figura, el resultado fue positivo ya que se alcanzaron los valores

deseados en todas las ocasiones.

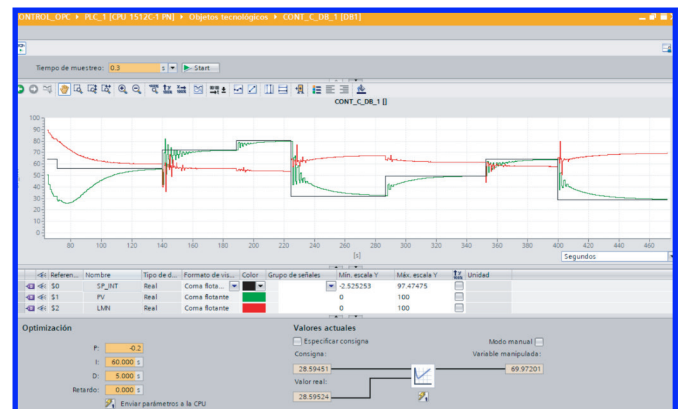


Figura 12. Respuesta del control PID en TIA Portal a la planta en Simulink ante varias entradas tipo escalón. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 12, la señal de control oscila antes de estabilizarse al igual que la simulación en Simulink en todas las entradas que se le dieron. En la figura anterior se ve claramente las respuestas de la salida de control (línea roja), el Setpoint (línea negra) y la variable medida (línea verde). El tiempo de establecimiento está dentro de un rango aceptable de funcionamiento de la planta, Mostrando un buen porcentaje de similitud entre el comportamiento del sistema en la simulación con el implementado en el autómata programable. respondiendo también a la acción directa de control expuesta anteriormente demostrando los valores de sintonía utilizados y el desempeño del controlador para ajustar el valor real de acuerdo con la consigna ingresada.

6. CONCLUSIONES

- Se diseña la acción de control para regular la concentración del H₂S en el biogás logrando disminuir la intervención

directa de los operarios sobre el control del proceso de eliminación del H₂S en la torre de filtración con la ayuda del sistema HMI, se espera la mejora en la productividad de energía al mantener el biogás en las condiciones óptimas para la combustión. Además, se pueden reducir costos en el mantenimiento de equipos e instalaciones, al reducir la concentración alta de H₂S, la corrosión no será un factor de amenaza en el proceso.

- Gracias a la utilización de las redes neuronales en la obtención del modelo del proceso, se consigue generar una solución confiable para la obtención de la representación del filtro biológico. Debido a las restricciones que se tuvo con los datos suministrados correspondientes al funcionamiento del filtro biológico, el entrenamiento de la red neuronal fue la solución que mejor se adaptó a las necesidades ofreciendo buenos resultados del modelo obtenido al conseguir una concentración de H₂S admisible en la salida al inyectar cierto porcentaje de O₂ a la entrada.
- Teóricamente, el modelo del filtro biológico real tiene el comportamiento de un sistema no lineal debido a la conducta imprevista de las bacterias en su interior al tratarse de un sistema vivo, pero para el desarrollo de esta estrategia como se obtuvo la representación de la planta mediante una determinada cantidad de datos, con la implementación de un controlador PID se alcanza un buen desempeño. Esta estrategia de control fue efectiva debido a que los datos de entrenamiento correspondían a una región de operación donde el filtro

biológico presentó un comportamiento lineal. Para futuros experimentos sobre la planta real, se sugiere el uso de otra alternativa de control como lo es la lógica difusa, permitiendo la obtención del H₂S deseado a través de reglas heurísticas de la forma SI (antecedente), ENTONCES (consecuente).

Referencias

- Alex Rubio. (2019). "No Title4 ventajas de los reguladores PID | ¿Por qué usar reguladores PID?," <https://www.instrumentaciondigital.es/4-ventajas-de-los-reguladores-pid/>.
- D´Negri, Carlos Eduardo; De Vito, Eduardo Luis. (2006). "Introducción al razonamiento aproximado:lógicadifusa", Revista Americana de Medicina Respiratoria, vol. 6, núm. 3, diciembre, 2006, pp. 126-136. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382138367007>.
- I. D. Pranowo, Y. B. T. Bagastama, and T. A. F. Wibisono. (2020). "Communication between PLC different vendors using OPC server improved with application device," Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control., vol. 18, no. 3, pp. 1491–1498, 2020. 10.12928/TELKOMNIKA.v18i3.14757.
- Issac Hernández. (2021). "LAZO DE CONTROL. Curso instrumentacion y control." <http://cursoinstrumentacionycontrol.blogspot.com/2016/10/lazo-decontrol.html#:~:text=En%20su%20forma%20b%C3%A1sica%20un,independientemente%20de%20perturbaciones%20y%20desajustes>.
- J. Castro, J. Padilla, y E. Romero (2005). "Metodología para realizar una automatización utilizando PLC , IMPULSO, REVISTA DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES". https://www.itson.mx/publicaciones/rieeyc/Documents/v1/v1_art4.pdf.
- J. Gonçalves Neto, L. Vidal Ozorio, T. C. de Abreu, B. dos Santos, and F. Pradelle. (2021). "Modeling of biogas production from food, fruits and vegetables wastes using artificial neural network (ANN)," Fuel, vol. 285, 2021. 10.1016/j.fuel.2020.119081.
- J. Ortiz. (s.f.). "¿Qué es una red neuronal?, Mathworks". <https://es.mathworks.com/discovery/neuralnetwork.html>.
- L. Hamelin, H. B. Møller, and U. Jørgensen (2020). "Harnessing the full potential of biomethanetowardstomorrow'sbioeconomy: A national case study coupling sustainable agricultural intensification, emerging biogas technologies and energy system analysis," Renew. Sustain. Energy Rev., p. 110506, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110506>.
- M. T. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos, and P. Achondo. (2012) "Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica," Inf. Tecnol., vol. 23, no. 2, pp. 31–40, 2012. 10.4067/S0718-07642012000200005.
- Oscar G. Duarte. (2000). "Aplicaciones de la Lógica Difusa" Revista Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.n45.21308>
- W.-B. pp34-41 CIOB (2010) Code of Practice for Project Management (4th edition) Chichester, "No Title No Title," Journal of Chemical Information and Modeling, 2019. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2475&tip=10&xit=biogas-energia-limpiay-sustentable>.