risti
Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

Recebido/Submission: 31/07/2019
Aceitação/Acceptance: 20/10/2019

Diseño de un Sistema Difuso para la Detección y Ubicación de Fugas en Tuberías Horizontales

July Andrea Gómez Camperos[1], Fernando Jesús Regino Ubarnes[2], Edwin Edgardo Espinel Blanco[3].

jagomezc@ufpso.edu.co, fjregino@ufpso.edu.co, eeespinelb@ufpso.edu.co.

[1] Grupo de Investigación INGAP, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña,Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

[2]Grupo de Investigación INGAP, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña,Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

[3] Grupo de Investigación GITYD, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña,Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

Pages: 277–290

Resumen: El presente artículo describe el desarrollo y posterior validación de un modelo para detección y ubicación de fugas en tuberías horizontales, basado en lógica difusa. El sistema emplea, como variables de entrada, las variables de control propias del banco de tuberías experimental: el flujo y la presión. Las variables empleadas para el desarrollo del sistema se obtuvieron de los datos suministrados por los sensores de presión y caudal instalados en una tubería piloto ubicada en el laboratorio de Automatización de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, a través de una plataforma virtual acoplada a un sistema de adquisición de datos, el propósito fue implementar una herramienta computacional inteligente que realizara la detección y ubicación de la fuga en tiempo real, garantizando niveles bajos de falsas alarmas y ubicando con precisión el tramo donde ocurre la fuga.

Palabras-clave: lógica Difusa; detección de fugas; Tuberías hidráulicas; Instrumento Virtual.

Design of a Fuzzy System for Detecting and Locating Leaks in Horizontal Piping Systems

Abstract: The present article describes development and later validation of a model for detection and position of leaks in horizontal pipes, based in fuzzy logic. The system uses, like variables of entrance, the own experimental manipulated variables of the bank of pipes: The flow and pressure. The employed developmental variables of the system obtained themselves of the data supplied by the sensors of pressure and flow installed in a piping I have command over a subject once a data acquisition system was located in the laboratory of Automatización of the Universidad Francisco of Paula Santander Ocaña, through a virtual matched platform, the purpose was to implement a computational intelligent tool that

accomplishes the detection and in real time position of the leak, guaranteeing low levels of false alarms and locating the span with precision where happens the leak.

***Keywords**:* Fuzzy logic; Leak detection; Hydraulic piping systems; Virtual Instrument.

1. Introducción

La seguridad y confiabilidad de las tuberías de transporte de hidrocarburos representan un aspecto crítico para la industria Petrolera. Las fallas en la tubería causadas por la corrosión, agentes externos, entre otros, pueden desarrollar fugas. o incluso la ruptura, lo que puede tener un impacto negativo en la población, el entorno natural, la infraestructura y la economía (Datta & Sarkar, 2018).

Existen muchos métodos disponibles para detectar y localizar una fuga en las tuberías que van desde la verificación de la trayectoria visual, la excavación mecánica directa hasta sofisticadas técnicas basadas en modelos, como los métodos basados en el balance de masa /volumen, la onda de presión negativa , el modelo transitorio , las fibras ópticas distribuidas y las ondas acústicas(Bermúdez, J. R., Santos-Ruiz, I., López-Estrada, F. R., Besançon, G., Torres, L., Valencia-Palomo, G., & CONACyT, 2018),(Verde, C., Molina, L., y Carrera, 2011)

Cada método tiene sus ventajas y desventajas. El método basado en ondas acústicas es prometedor, aunque la distancia de monitoreo es corta. Para aplicar el método acústico en tuberías de larga distancia, se elige un sensor de presión dinámico para expresar grandes amplitudes que se pueden propagar en una larga distancia, según la propuesta de una onda de presión dinámica, y se modifica la fórmula de ubicación de fugas.

En el diagnóstico de fugas, no solo es importante detectar la fuga y cuantificarla, sino que es una prioridad localizarla con la mayor precisión posible. Por lo tanto, es necesario tener algoritmos que determinen con precisión la ubicación de la fuga porque no siempre es visible desde fuera de la tubería.

En este artículo se propone una metodología basada en lógica difusa para la detección y ubicación de fugas de fluido en una tubería horizontal, considerando las mediciones de presión y el flujo en los extremos de la tubería. Este método permite enfocarnos en las características que se presentan al existir una fuga en un sistema, en vez de caracterizarlo completamente. Al utilizar el conocimiento de los diferentes métodos en conjunto, además de las recomendaciones para la detección de fugas, se puede crear una serie de reglas difusas que le brinden a nuestro sistema de detección un gran nivel de flexibilidad y una precisión en la detección y ubicación de fugas.

(Hurtado Cortes, Villarreal-López, & Villarreal-López, 2016)Una falla, es un cambio en el comportamiento de alguno de los componentes de un sistema, de manera que éste ya no puede cumplir con la función para la cual fue diseñado. Los sistemas de detección y diagnóstico de fallas, se presentan como una solución que permite determinar el estado de operación del proceso, así como identificar la naturaleza de las fallas presentadas, su localización y riesgo.

Los sistemas basados en Lógica Difusa o LD han sido eficientemente aplicados en problemas de detección y diagnóstico de fallas(Da Silva, H. V., Morooka, C. K., Guilherme, I. R., da Fonseca, T. C., & Mendes, 2005).

Los sistemas difusos se pueden usar para estimar cualquier función real en un subconjunto difuso compacto. El sistema difuso es un método basado en reglas en el que el conjunto de reglas aprende de la experiencia de un experto o el conocimiento previo del sistema. Debido a su implementación más sencilla y costos de diseño reducidos, el sistema difuso se usa ampliamente y se implementa con éxito en el área de control, pronóstico, monitoreo de planta, diagnóstico y detección de fallas (Mendonça, Sousa, & Sá da Costa, 2009).

El uso de modelos difusos aumenta la capacidad de detectar y diagnosticar fallas para trabajar con sistemas sin información completa y ruidosa. La ventaja clave de la lógica difusa es que permite que el comportamiento del sistema se describa mediante relaciones "si-entonces"(Kumar, Sen, Azid, & Mehta, 2017).

2. Metodología

La figura 1 muestra el procedimiento que debe cumplir el sistema para la detección y ubicación de la fugas en el banco de tuberías utilizando lógica Difusa.

2.1. Adquisición de datos

Para la toma de datos se utilizó un Chasis NI cDAQ-9178 y un módulo NI 9203 de entradas y salidas analógicas de 4 a 20 mA de National Instruments, Los sensores seleccionados permiten la conexión con el módulo. Como se muestra en la figura 2.

Para establecer comunicación mediante la tarjeta con LabView se utiliza el módulo DAQ Assistant, que es una aplicación que permite configurar las entradas y salidas de la



Figura 1 – Procedimiento Para detección y ubicación de fugas.Fuente: Autores.

tarjeta de adquisición de datos(Quintero, Claro, Regino, & Gómez, 2019),(Carrera, R., Verde, C., & Cayetano, 2014).Una vez configuradas las entradas y las salidas se identifica cual es la señal de cada sensor

Para calibrar el sensor de presión se realizaron pruebas en donde se le cambió el valor de presión (teniendo en cuenta que este sensor permite una visualización a través de un indicador con un display donde se muestra de manera digital y analógica los datos en tiempo real) y luego se relacionó con los valores obtenidos en mA con el módulo de adquisición de datos, obteniendo a través de Curve Fitting (MATLAB), como se muestra en la ecuación 1.

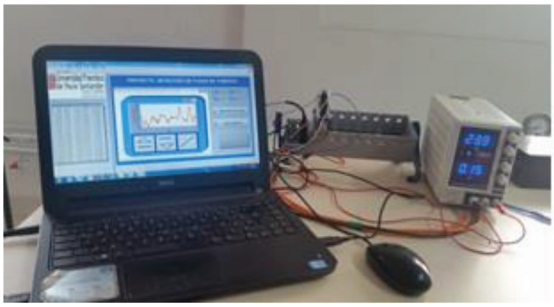


Figura 2 –Tarjeta y chasis para adquisición de datos.Fuente: Autores.

$$f(x) = p_1 * x + p_2 \tag{1}$$

En donde,

$$p_1 = 9256$$

$$p_2 = -37.09$$

Con un ajuste bueno de $R = 0.9935$

Para caracterizar el sensor de Flujo se realizaron pruebas en donde se le cambió el valor de Flujo (teniendo en cuenta que este sensor tiene un rango de operación de 2 a 50 L/ min y que las salidas son de 4 a 24 mA) y luego se relacionó con los valores obtenidos en mA con el módulo de adquisición de datos, obteniendo a través de Curve Fitting (MATLAB), la ecuación 2:

$$f(x) = p_1 * x + p_2 \tag{2}$$

En donde,

$$p_1 = -0.1372$$

$$p_2 = 1.677$$

Con un ajuste bueno de

$$R = 0.9791$$

2.2. Análisis de los datos obtenidos.

Variable	Baja	Fuga sección 1	Fuga sección 2	Fuga sección 3	Fuga sección 4	Trabajo
Presión de entrada	11-12.20 PSI	12.20-12.60 PSI	12.61-12.8 PSI	12.81-13.2 PSI	13.21 -14 PSI	14.4-14.97 PSI
Presión de salida	2-4 PSI	4.85-4.40 PSI	4.82-4.63 PSI	4.98-4.6 PSI	4.80-5.034 PSI	6.3-6.0 PSI
Flujo de entrada	25-25.9 L/min	28.1-27.7 L/min	27.41-27.7 L/min	27.41-26.6 L/min	26.22-26.14 L/min	26.6-26.22L/ min
Flujo de salida	10-17.60 L/min	19.15-18.02 L/min	18.76-17.64 L/min	18.69-18.35 L/min	18.17-17.94 L/min	24.7-24.6 L/min

Tabla 1 – Datos de lasvariables de entrada.

Con el programa de adquisición de datos que se realizó en labview se obtuvo una tabla amplia para poder determinar los umbrales mínimos y máximos de cada una de las variables.

Con los datos obtenidos se analizó el comportamiento de las variables en seis estados como se muestra en la tabla 1.

Esta prueba ayudo a definir posteriormente los umbrales mínimos y máximos de las señales. Además, las funciones de membresía para cada una de las señales.

2.3. Diseño del controlador difuso para detección y ubicación de la fuga

EL primer paso que se realizo fue analizar los datos obtenidos de las variables de entrada. Esencialmente el sistema cuenta con cuatro variables, que son la presión de entrada, la presión de salida, el flujo de entrada y el flujo de salida. El valor de estas variables son obtenidas a través de un instrumento virtual acoplado a una tarjeta de adquisición de datos la cual tiene conectada los sensores que dan las mediciones realizadas en el banco experimental de tuberías.

Observando la tabla 1. Las variables que aportan información significativa al sistema de acuerdo a donde se ubica la fuga es la presión de entrada que aumenta a medida que la fuga se ubica más lejos del sensor de presión de entrada. Y el flujo de entrada que disminuye a medida que la fuga se aleja del sensor de presión de entrada.

En la tabla 2 se observa a que distancia del sensor de presión de entrada se tomaron los datos para generar cada fuga.

Variable	Fuga sección 1	Fuga sección 2	Fuga sección 3	Fuga sección 4
Sensor Presión de entrada	1,03 metros	2,07 metros	4,33 metros	5,365 metros
Sensor de Flujo de entrada	0,65metros	1,69 metros	3,955 metros	4,985 metros

Tabla 2 – Distancias de las fugas a partir del sensor de presión de entrada

Por esta razón se utilizaron como variables de entrada del sistema la presión de entrada y el flujo de entrada.

Una vez definidas las variables de entrada se procede a asociar términos lingüísticos difusos con cada variable de entrada. A cada término, se asignaron funciones difusas triangulares y sigmoidal.

Debido al comportamiento de las variables para la presión de entrada (PE) se le asignaron Seis etiquetas.

- Baja (B)
- Medio Bajo (MB)
- Medio Centro (MC)
- Medio Centro Medio (MCM)
- Medio Alto (MA)
- Trabajo (T)

Para la variable flujo de entrada (FE) las etiquetes serian:

- Baja (B1)
- Trabajo (T1)
- Medio Baja (MB1)
- Medio Centro (MC1)
- Medio Alto (MA1)
- Alta (AL)

La variable de salida representa el comportamiento del sistema de manera cualitativa y no cuantitativa, esta variable fue denominada SAL. Hay siete términos lingüísticos asociados con la salida del sistema y se describen a continuación:

- Correcto (CR)
- Fuga en la sección 1 (F1)
- Fuga en la sección 2 (F2)
- Fuga en la sección 3 (F3)
- Fuga en la sección 4 (F4)
- Sistema sin funcionamiento (SF)
- Sistema con fallos de funcionamiento (FF)

Para los intervalos de operación de las condiciones del sistema su escala no cuenta con una magnitud siendo sus intervalos de 0 a 14, los cuales se verán de manera más detallada en la selección de funciones de membresía presentada a continuación.

Selección de funciones de Membresía

De acuerdo a(Ley Mendoza, Chacón Mondragón, & Vázquez Martínez, 2000), la forma de la función de membresía debe reflejar los cambios en el grado de satisfacción del experto, con los cambios en las variables. Estas pueden ser por ejemplo: triangulares, trapezoidales, lineales, lineales separables, parabólicas, singleton y S.

Las funciones de membresía deben describir el grado de verdad que tenga de la variable ya sea medida, calcula o estimada con respecto a su magnitud y estado deseado, es por ello que la selección de estas deben ser determinadas en base a esa relación (Priyanka, E. B., Maheswari, C., & Thangavel, 2018).

El paso siguiente en el proceso del modelado difuso es la selección de las funciones de membresía de la salida, como el objetivo del controlador difuso es resaltar una cualidad y no generar una acción de control se determinó un intervalo de valores de 0 a 12 para las funciones. Estas funciones se eligieron como triangulares con el fin de tener una distribución equitativa entre ellas y de esta manera obtener una salida uniforme. La figura 3 muestra el sistema MISO de dos entradas y una salida.

Seleccionadas las variables de entrada y de salida del sistema, así como las funciones de membresía propias para cada una de ellas, se continúa a la definición de las reglas difusas.

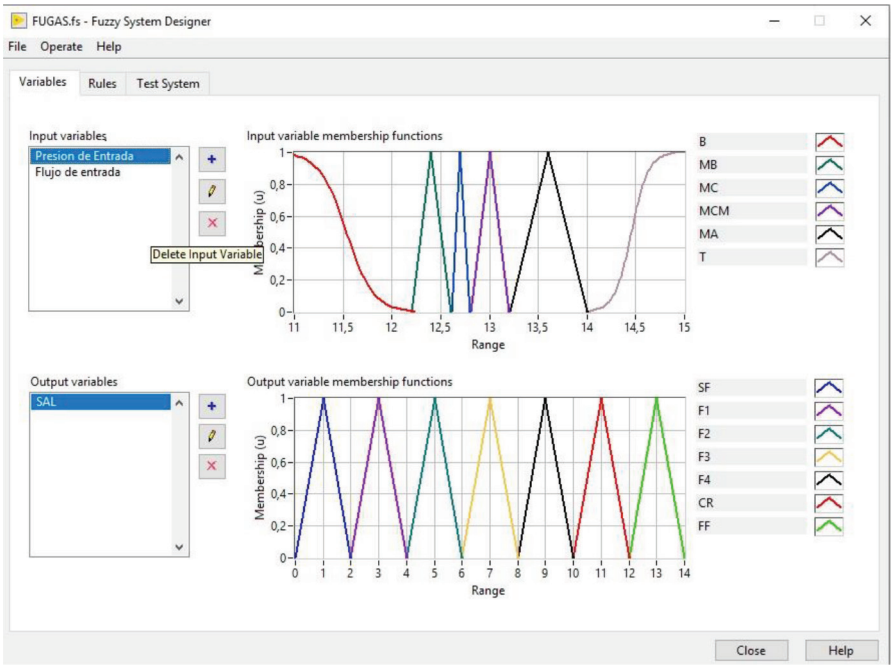


Figura 3 – Sistema MISO de dos entradas una salida.Fuente: Autores.

Definición de las reglas difusas

Para la definición de las reglas difusas se utilizó el conocimiento del comportamiento de las variables de entradas del sistema tomadas del banco experimental de tuberías en ausencia de fugas y en presencia de fugas como se puede observar en la tabla 3.

PRESION DE ENTRADA	FLUJO DE ENTRADA						
		B1	MB1	T1	MC1	MA1	AL
	Baja	SF	FF	FF	FF	FF	FF
	MB	F1	F1	F1	F1	F1	F1
	MC	F2	F2	F2	F2	F2	F2
	MCM	F3	F3	F3	F3	F3	F3
	MA	F4	F4	F4	F4	F4	F4
	T	CR	CR	CR	CR	CR	CR

Tabla 3 – Definición de reglas

2.4. Diseño de la interfaz

Una interfaz se usa para que el usuario visualice de forma amigable el comportamiento de las variables del sistema (presión y flujo) así como tener una notificación del estado del sistema de la tubería ya sea para realizar alguna acción de control o tener un registro del comportamiento del sistema(Gómez, Carreazo, & Camperos, 2015).

Para el diseño de la interfaz se analizó las necesidades del sistema, con el fin de satisfacer las exigencias de monitoreo, detección y ubicación de la fuga en tiempo real, para finalmente emitir un reporte de los resultados, con la ubicación del tramo donde ocurre la fuga.

La interfaz del sistema propuesto cuenta con una pantalla de inicio, la cual tiene tres menús, para realizar la adquisición de datos, la detección y ubicación de la fuga, y una simulación del sistema de tuberías. La figura 4 muestra la pantalla de inicio, y la figura 5 la estructura de las pantallas en programación modular.



Figura 4 – Pantalla de inicio.Fuente: Autores.

Se utilizó el concepto de máquina de estado estilo productor/consumidor. Un patrón diseño maestro/esclavo o productor/consumidor. Este se caracteriza por ejecutar tareas en bucles paralelos, comunicándolos entre sí a través de una cola de datos. Estas colas de datos están incorporadas en el software para el desarrollo del instrumento.

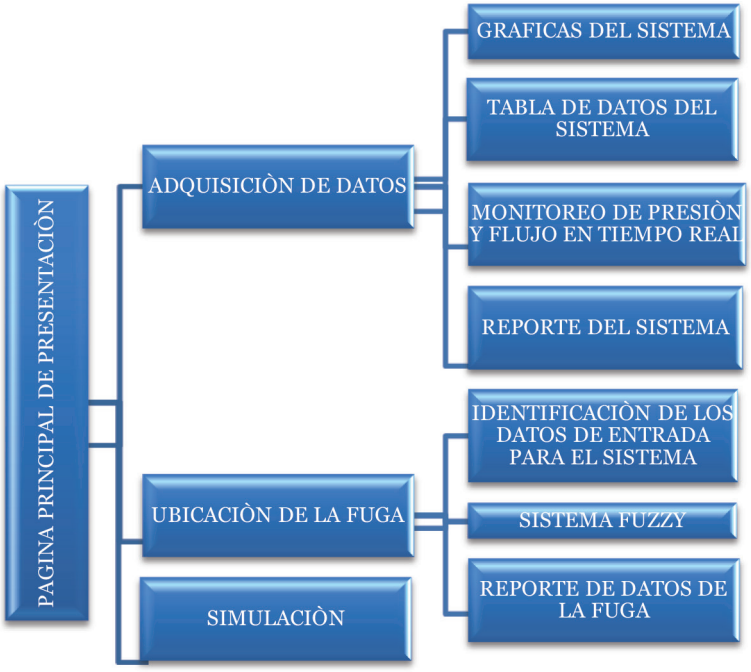


Figura 5 – Estructura de las pantallas.Fuente: Autores.

3. Resultados

3.1. Clasificación de los datos obtenidos de la adquisición y definición de rangos

Una vez obtenidos los datos y procesados se utilizó la aplicación de PID Tuning de matlab, para obtener los modelos dinámicos del sistema en ausencia y presencia de fugas visto desde cada una de las variables de entrada, el comportamiento del sistema se asemeja a un sistema de primer orden cuya función de transferencia se puede ver en la ecuación 3.

$$\frac{Q}{N} = \frac{K}{T_1 * s + 1}\ 3 \tag{3}$$

en donde:

N es la potencia de la bomba.

Q es el flujo

K es la constante proporcional.

T es la constante de tiempo (indica el tiempo que demora la señal en llegar al 63.2 % de su valor final)

La figura 6 muestra el modelo dinámico del sistema en ausencia y presencia de fuga. Se puede observar el comportamiento de las señales de flujo cuando hay una fuga el flujo del sensor de salida baja

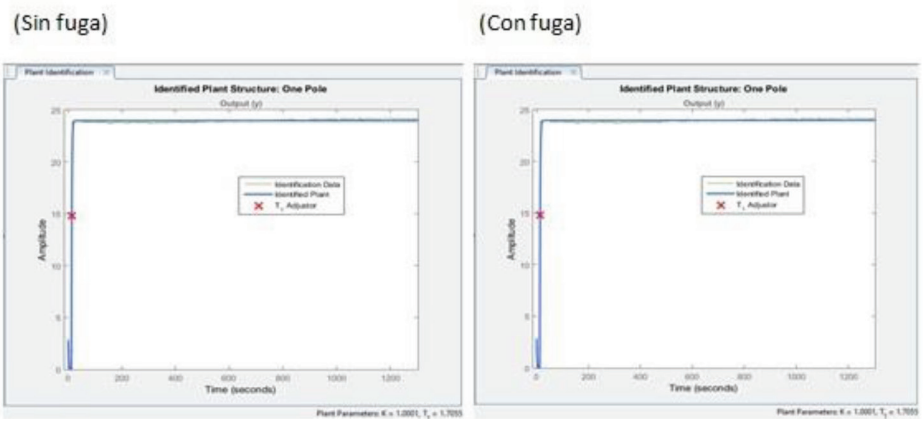


Figura 6 – Modelo dinámico del sistema visto desde el sensor de flujo en la salida.
Fuente: (Camperos, J., Ubarnes, F., & Blanco, 2018)

3.2. Validación del sistema difuso para detección y ubicación del tramo donde ocurre la fuga.

Luego de procesar los datos con las funciones de membresía, y de definir las reglas para la detección y ubicación de la fuga, y de ser ingresadas en el toolkit de labview y matlab, se procedió a validar el sistema, para eso se desarrolló un bloque en simulink con lógica difusa en matlab, luego se alimentó con el flujo de entrada y la presión de entrada. Y nos da la respuesta del sistema con la ubicación de la sección de la fuga.

Los datos introducidos al sistema son:

Presión de entrada= 12.9 PSI

Flujo de entrada= 27 L/min.

Si Analizamos la figura 7podemos observar que el display muestra la salida en 7 si recordamos el rango de salida de 6 a 8 es para la fuga 3. Por lo cual con los datos ingresados podemos ver que el sistema difuso detecta la ubicación de la fuga, en este caso estaría 4,335 metros del sensor de presión de entrada.

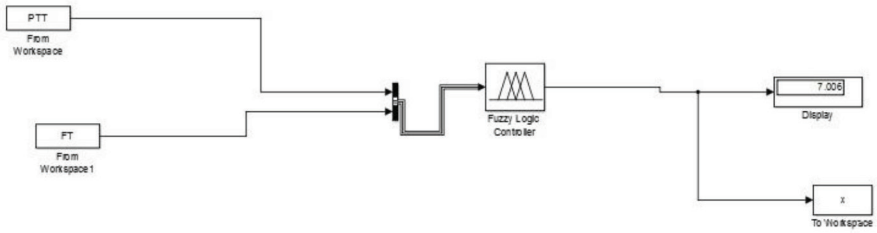


Figura 7 – Fuga en la sección 3. Fuente: Autores.

Posteriormente se utilizó el el toolkit de labview donde se ingresaron todos los datos del sistema difuso diseñado en matlab. Como demostración del procesamiento que realiza Labview en su toolkit se muestra en la figura 8 una simulación de una regla y el cumplimiento de la defuzzificación por el método del centroide. Para lo cual se realizó la validación de la regla ingresada con el test para verificar el cumplimiento.

Interpretando las condiciones de la regla observamos que cuando se la variable flujo de entrada esta en 26,7 L/min y la variable presión de entrada esta en 14 PSI entonces el sistema tendrá la fuga en la sesión cuatro, quiere decir que la fuga se encuentra a 5,36 metros del sensor de presión de entrada y a 4,98 metros del sensor de flujo de entrada.

3.3. Interfaz del sistema difuso para detección y ubicación del tramo donde ocurre la fuga en un banco de tuberías horizontal

Para validar el sistema difuso y la interfaz utilizamos un banco de pruebas de tuberías experimental descrito en (Garcia-Guarin, Gómez, & Contrearas, 2019)y(Camperos, J., Ubarnes, F., & Blanco, 2018)

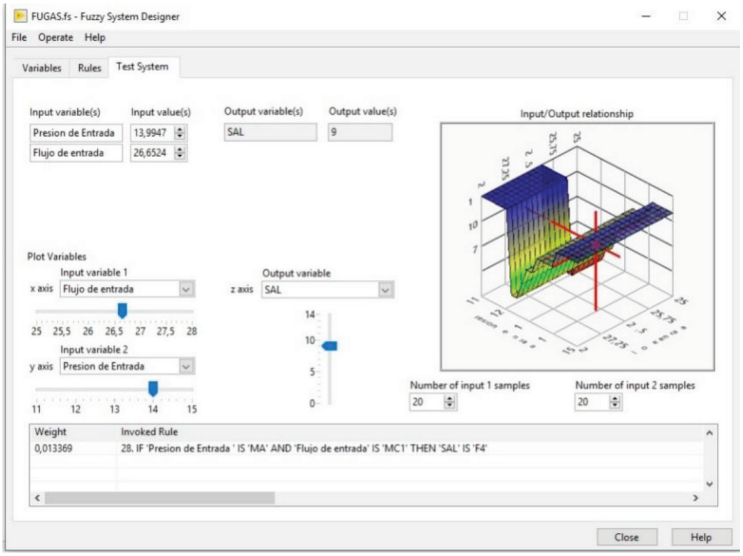


Figura 8 – Test del sistema.Fuente: Autores.

El instrumento virtual utilizado como interfaz tiene una pantalla de inicio como se muestra en la figura 7.

Con el fin de cumplir con el objetivo principal de la investigación, implementamos una pantalla para realizar la detección y ubicación de la fuga en tiempo real. La figura 9 muestra la pantalla cuando el sistema difuso detecta la fuga en la sesión 3 y muestra la implementación en el banco de tuberías horizontal.



Figura 9 – Implementación del sistema difuso de detección y ubicación de la fuga.
Fuente: Autores.

4. Conclusiones

Se obtuvo un sistema de detección y ubicación de fugas en base a la lógica difusa, así como la realización de una HMI para su implementación. Las conclusiones principales de esta investigación son:

- A lo largo de la investigación se pudo observar el comportamiento de la simulación de un oleoducto a través de un banco de tuberías en funcionamiento normal y durante la presencia de fuga.
- El modelado difuso permitió desarrollar un método de detección y ubicación de fugas robusto y de una implementación sencilla.
- La interfaz hombre-máquina permite un manejo agradable al usuario y un acceso cómodo a los datos del sistema.
- el sistema desarrollado no detecta la ubicación exacta de la fuga, sin embargo detecta y ubica la sección donde ocurre.

La diferencia del presente método con respecto a otros es su fácil implementación y su adaptabilidad. Si bien las funciones membrecía se realizaron en base al sistema propuesto, estas son fáciles de modificar para cualquier otro sistema a la vez de que el

propio sistema puede adaptar sus funciones de membresía dependiendo de la caída de presión del sistema.

A su vez el método no está restringido para tuberías de un solo material o de un diámetro en específico. Puede servir también como auxiliar a algún otro método de detección existente, delimitando la sección de la que se ubica la fuga.

Referencias

Bermúdez, J. R., Santos-Ruiz, I., López-Estrada, F. R., Besançon, G., Torres, L., Valencia-Palomo, G., & CONACyT, C. 2018. *Modelado y simulación de una red hidr aulica para diagnostico de fugas*. 10–12.

Camperos, J., Ubarnes, F., & Blanco, E. 2018. *Experimental Study for Detection of Leaks in Horizontal Pipelines*. *11*(101), 5017–5025.

Carrera, R., Verde, C., & Cayetano, R. (2014). *on de un SCADA para Localizar Fugas en Ductos*.

Da Silva, H. V., Morooka, C. K., Guilherme, I. R., da Fonseca, T. C., & Mendes, J. R. (2005). Leak detection in petroleum pipelines using a fuzzy system. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *49*(3–4), 223–238. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2005.05.004

Datta, S., & Sarkar, S. (2018). *Una revisión sobre diferentes métodos de detección de fallas en tuberías*. 1–32.

Garcia-Guarin, J., Gómez, J., & Contrearas, D. (2019). Experimental study of pumps in a pipe bench. *Journal of Physics: Conference Series*, *1257*, 012003. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1257/1/012003

Gómez, G. G., Carreazo, D. E. M., & Camperos, J. A. G. (2015). DESARROLLO DE INSTRUMENTO VIRTUAL ENFOCADO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS PARA GENERAR PERFILES DE TEMPERATURA EN HORNOS. *Revista Ingenio UFPSO*, *8*(1), 47–58. Retrieved from http://revistas.ufpso.edu.co/index.php/ringenio/article/view/223/138

Hurtado Cortes, L. L., Villarreal-López, E., & Villarreal-López, L. (2016). Detección y diagnóstico de fallas mediante técnicas de inteligencia artificial, un estado del arte. *Dyna*, *83*(199), 19. https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.55612

Kumar, K., Sen, N., Azid, S., & Mehta, U. (2017). A Fuzzy Decision in Smart Fire and Home Security System. *Procedia Computer Science*, *105*(December 2016), 93–98. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.207

Ley Mendoza, M., Chacón Mondragón, O., & Vázquez Martínez, E. (2000). Control de voltaje de sistemas de potencia utilizando lógica difusa. *Ingenierías*, *3*(6), 36–45.

Mendonça, L. F., Sousa, J. M. C., & Sá da Costa, J. M. G. (2009). An architecture for fault detection and isolation based on fuzzy methods. *Expert Systems with Applications*, *36*(2 PART 1), 1092–1104. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.11.009

Priyanka, E. B., Maheswari, C., & Thangavel, S. (2018). Online Monitoring and Control of Flow rate in Oil Pipelines Transportation System by using PLC based Fuzzy-PID Controller. *Flow Measurement and Instrumentation*, *62*(October 2017), 144–151. https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2018.02.010

Quintero, D. A., Claro, H., Regino, F., & Gómez, J. A. (2019). Development of a data acquisition system using LabVIEW and Arduino microcontroller for a centrifugal pump test bench connected in series and parallel. *Journal of Physics: Conference Series*, *1257*, 012002. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1257/1/012002

Verde, C., Molina, L., y Carrera, R. (2011). Practical issues of leaks diagnosis in pipelines. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, *44*(1 PART 1), 12337–12342. https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.01688

© 2020. This work is published under https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/(the “License”). Notwithstanding the ProQuest Terms and Conditions, you may use this content in accordance with the terms of the License.