DETECTION SYSTEM OF CRITICAL FAULTS IN HORIZONTAL PIPES

SISTEMA PARA DETECCIÓN DE FALLOS CRÍTICOS EN TUBERÍAS HORIZONTALES

***MSc. July Andrea Gómez Camperos, *MSc. Fernando Jesús Regino Ubarnes, **PhD(c). Pedro Julián García Guarín**

***Universidad Francisco de Paula Santander - Sede Ocaña.**
Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación INGAP.
Tel.: (+57-7) 569 0088 Ext. 146 Fax: Ext, 104.
E-mail: jagomezc@ufpso.edu.co, fjreginou@ufpso.edu.co

**** Servicio Nacional de Aprendizaje SENA**
TecnoParque Colombia Nodo Ocaña
Transversal 30, # 7-110 la primavera. Ocaña, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: (+57)(7)5611035
E-mail: pjgarciag@unal.edu.co

Abstract: The present investigation constitutes the design of a detection system and diagnosis of faults method in horizontal pipes. The method used to detect the leak was made through mass balance technic, using a waste generator.
The complete system was validated using a series of tests carried out on a hydraulic prototype for pipe monitoring tests. The system has a virtual instrument which communicates with the prototype through a data acquisition system in order to achieve the leak detection.

Keywords: Hydraulic pipes, fault detection, pipeline monitoring, diagnostic systems.

Resumen: La presente investigación consiste en el diseño de un sistema de detección y diagnóstico de fallas en tuberías horizontales. El método utilizado para la detección de la fuga se realizó mediante el balance de masa, utilizando un generador de residuos.
El sistema completo se validó a través de una serie de experimentaciones realizadas en un prototipo hidráulico para pruebas de monitoreo de tuberías. El sistema cuenta con un instrumento virtual que se comunica con el prototipo mediante un sistema de adquisición de datos y a través de estos se pudo detectar la fuga.

Palabras clave: tuberías hidráulicas, detección de fallas, monitoreo de ductos, sistemas de diagnóstico.

1. INTRODUCION

EL hombre ha creado a lo largo del tiempo maquinas, herramientas y equipos que le facilitan su vida, y ha tenido cuidado de su buen funcionamiento diagnosticando la vida útil de cada uno de ellos, es aquí donde nace la idea de detectar fallas de manera oportuna. Todo sistema mecánico esta sujetó a desgaste (corrosión, fricción, temperatura, sobre esfuerzo, deformación y degradación) lo cual conduce a que su funcionalidad disminuya y se pueda producir una falla.

Anteriormente quien detectaba la falla era el operador, basado en su experiencia lo que resulta poco eficiente. Con el fin de mejorar los tiempos de respuesta se crearon técnicas para la detección y diagnóstico de fallas.

Los sistemas de detección y diagnóstico de fallas tienen dos tareas fundamentales, la primera es la "detección de la falla" en donde el objetivo es reconocer que existe una falla, y la segunda es el "diagnóstico de la falla" cuya tarea consiste en aislar la falla y darnos a conocer la posible causa, ubicación y cantidad de fallas. (Guevara, 2015)

Para la detección de la falla existen diferentes métodos basados en el modelo del proceso, mientras que para el diagnóstico, los métodos son generalmente de relaciones causales de tipo falla-síntoma; estos se basan en datos estadísticos, inteligencia artificial y sistemas expertos. De lo anterior se generan dos áreas de estudio: Detección y Aislamiento de Fallas (FDI por sus siglas en inglés) y Detección y Diagnóstico de Fallas (FDD).

Ésta investigación se enfoca en las técnicas de detección de fugas con su posible aplicación en oleoductos. Este tema es de gran importancia puesto que las fallas en oleoductos tienen graves consecuencias, como pérdidas humanas y daños irreparables al medio ambiente.

Este documento está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 presenta los métodos de detección de fallas en tuberías; En la sección 3 se presenta la metodología para la verificación del algoritmo propuesto para la detección de fugas; La sección 4 muestra la validación del algoritmo mediante un instrumento virtual aplicado a un banco de pruebas; y la sección cinco se presentan las conclusiones.

2. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS

Los métodos de detección de fugas en tuberías abarcan desde la inspección manual por parte de un experto en líneas hasta la obtención de imágenes satelitales avanzadas. Existen dos líneas para detección de fallas en tuberías, una basada en hardware y la otra basada en software.

Los métodos basados en hardware se pueden clasificar según el tipo de sensores y equipos utilizados para detectar la falla. Entre los elementos más comunes para dicha tareas se encuentran: el monitoreo acústico, la fibra óptica, sensor de cable, análisis de vibración entre otros.

Los métodos basados en software dependen de varios programas como lo describe (Jin et al. Al. 2014).

2.1 Metodología de balance de masa y volumen

Ésta metodología consiste en detectar la fuga mediante la medición del volumen de entrada y de salida por medio de un balance de masa o balance de volumen mediante la ecuación de continuidad en estado permanente ecuación 1 (Calderón, J. 2012).

$$|Q_{in} - Q_{out}| \leq dQm + \frac{dV_s}{\Delta t} \qquad (1)$$

Dónde:
Q_{in} = Flujo de entrada;
Q_{out} = Flujo de salida;
dQm = Límite de incertidumbre de la medida de flujo;
dV_s = Límite de incertidumbre de cambio del volumen empacado en la línea en un intervalo de tiempo.

En caso de presentarse una fuga su Flujo Ql se puede detectar por la relación que se muestra en la ecuación 2

$$Ql = |Q_{in} - Q_{out}| > dQm + \frac{dV_s}{\Delta t} \qquad (2)$$

En este método se encuentran diferencias en la forma de medir el caudal y las compensaciones sobre este, algunos lo realizan con medidores másicos, con compensaciones por temperatura y presión; otros con diferentes medidores de caudal pero aplican las correcciones por densidad de líquido, presión y temperatura (Turkowski and Mateusz, 2008). Este método solo puede detectar la fuga pero no la ubica.

2.2 Localización de la fuga por medio de gradientes de presión en tuberías horizontales

El gradiente de presión es contante a lo largo de una tubería, siempre que este no presente una perturbación como lo es una fuga, una apertura de válvula, o un cambio de diámetro en la tubería. El gradiente se puede representar por medio de una línea con pendiente constante, en el momento que aparece una fuga en el sistema se genera un gradiente de presión con una pendiente constante antes de la posición de la fuga y también se genera un gradiente de presión con una pendiente constante después de la posición de la fuga, pero son diferentes los gradientes debido a la perdida de energía y masa (yang X., et al 2014) ver figura 1.

Después de detectar la falla se procede a graficar el gradiente de presión al inicio de las tuberías con las lecturas de los primeros sensores y la distancia que existe entre ellos y del mismo modo se grafica el gradiente de presión en el tramo final de la tubería, en el punto donde se intersectan ambos gradientes de presión, se ubicara la posición de la fuga, como se observa en la figura 1.

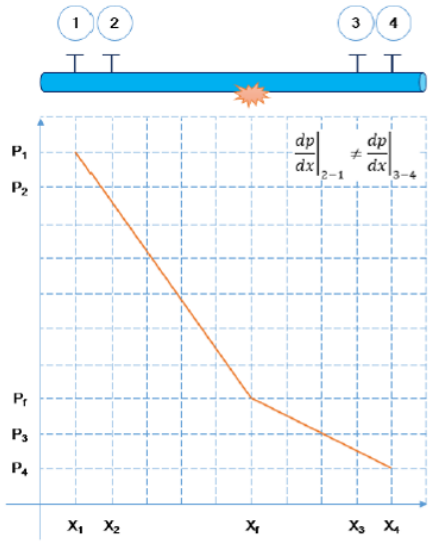


Fig. 1. Gradiente de presión antes y después de la posición de la fuga localizada a lo largo de una tubería.
Fuente: (Quintero, 2017)

La distancia donde se encuentra la fuga se obtiene al seguir los siguientes pasos:

- De las lecturas del sensor 1 y 2 teniendo en cuenta las distancias donde se encuentran ubicados tomando como referencia el inicio de la tubería con la ecuación 3 para obtener el gradiente de presión del inicio de la tubería. la cual se calcula utilizando la ley de Darcy para flujo laminar y su validez se extiende para medios porosos y continuos (Duran et al. 2018).
-

$$\frac{P_f - P_1}{X_f - X_1} = \frac{P_2 - P_1}{X_2 - X_1} \quad (3)$$

- De las lecturas del sensor 3 y 4 teniendo en cuenta las distancias donde se encuentran ubicados tomando como referencia el inicio de la tubería con la ecuación 4 para obtener el gradiente de presión del final de la tubería.

$$\frac{P_4 - P_f}{X_4 - X_f} = \frac{P_4 - P_3}{X_4 - X_3} \quad (4)$$

- Se despeja el termino P_f de las dos ecuaciones y se igualan de esta manera se genera la ecuación que determina la distancia donde se encuentra la fuga como se muestra en la ecuación 5

$$X_f = \frac{(P_4 - P_1) + X_1\left(\frac{P_2 - P_1}{X_2 - X_1}\right) - (X_4)\left(\frac{P_4 - P_3}{X_4 - X_3}\right)}{\frac{P_2 - P_1}{X_2 - X_1} - \frac{P_4 - P_3}{X_4 - X_3}} \quad (5)$$

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA VERIFICAR EL DESEMPEÑO DEL ALGORITMO PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS

El propósito de esta metodología es generar de forma experimental una base de datos que permita llevar a cabo las siguientes funciones:

- Identificar el instante donde ocurre la fuga
- Localizar la fuga que ha ocurrido previamente en el sistema.
- Identificar el tiempo donde se vuelve estable la señal de flujo en el sistema hidráulico
- Verificar si cuando una caída de flujo es muy pequeña puede ocurrir un fallo en la detección debido a la oscilación de la señal de flujo.

Para desarrollar el sistema de detección de fugas se empleó un banco de tuberías experimental.

Las características para establecer la fuga se describen a continuación:

- La intensidad de la fuga debe ser suficiente para detectar cambios en flujo y presión.
- Puede permanecer constante durante largos periodos de tiempo o puede durar periodos de tiempo tan corto como periodos de hora.

3.1 Detección de la fuga

Para el desarrollo del algoritmo que llevara a cabo la detección de la fuga se observó en la recopilación bibliográfica las siguientes situaciones:

- Obtener un índice bajo de falsas alarmas.
- Incorporar una alerta de fuga que determine el momento en el cual existió una caída en la señal flujo, que se registra en forma continua mediante 2 sensores de flujo colocados en la tubería.
- Debe contar con algún elemento que le permita al sistema auto ajustarse de forma automática a la señal de presión y flujo del sistema ya sea antes o después de la fuga.

Se detectó la fuga por medio de balance de masa mediante un generador de residuos.
El principio de conservación de masa dice que el caudal de entrada a una tubería es igual al caudal de salida. Es decir que su diferencia es 0 como se muestra en la ecuación 6.

$$Q_{in} - Q_{out} = 0 \quad (6)$$

Para encontrar el flujo de una posible fuga mediante el balance de masa, debemos encontrar el desequilibrio que ocasiona la fuga es decir un flujo no compensado, para encontrarlo se requiere un generador de residuos como se muestra en la figura 2.

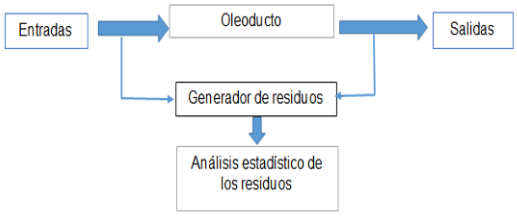


Fig. 2. Generador de residuos
Fuente: Autores.

De la ecuación 7 se puede concluir ΔQ_n en estado estable sin fugas, sería igual al promedio de flujo de envió antes de la fuga menos el promedio de observaciones del flujo de salida.

$$Q_1 - Q_2 > \Delta Q_n \quad (7)$$

3.2 Criterios para establecer la fuga

Para establecer los límites que la señal de flujo puede oscilar sin considerarse como una característica de la presencia de una fuga se deben establecer varios parámetros.

- Se registra la señal de caudal por medio de un sensor de flujo y un sistema de adquisición de datos durante un periodo de tiempo con el fin de obtener el valor de flujo medio utilizando la ecuación 8.

$$\bar{Q} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (8)$$

- Se establece la desviación estándar la cual indicara la dispersión permisible en la señal de flujo, para la cual una variación en el valor promedio de la señal de flujo no se declararía como una fuga como se muestra en la ecuación 9.

$$\sigma_{q^2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2 \quad (9)$$

- Luego se determina el valor límite inferior de la señal de flujo como se muestra en la ecuación 10. Lo cual es punto de partida para determinar la existencia de una fuga. Si el valor de caudal está por debajo del límite inferior establecido por la desviación estándar será declarado como posible fuga.

$$\bar{Q} - \sigma_q = \left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2\right\}^2 - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (10)$$

Para dar por hecho la existencia de la fuga se establece que si la caída de flujo se prolonga por un determinado periodo de tiempo, es decir no se establece la señal, se puede asegurar la existencia de la fuga.

La figura 3 muestra el algoritmo utilizado para la detección de la fuga.

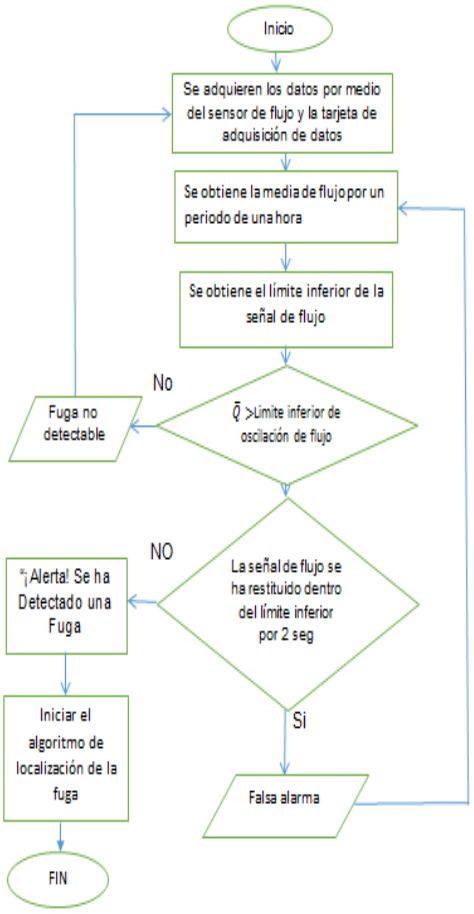


Fig. 3. Algoritmo para detección de la fuga
Fuente: Autores.

4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS DE PRODUCTO, A TRAVÉS DE UN INSTRUMENTO VIRTUAL, IMPLEMENTADO EN UN BANCO DE TUBERÍAS.

En este apartado se describen los pasos a seguir para construir el diseño de experimento donde se llevó a cabo la validación del sistema de detección de fugas de producto.

4.1 Construcción del prototipo

La geometría del diseño se enfocó en hacer dos ramas paralelas de 20 (cm) por medio de tuberías (PVC), en las cuales están ubicados los dos sensores de Flujo (YF-S201); encargados de medir el caudal que circula por ellos. Se optó por una bomba de agua que proporciona un caudal menor o igual a 30 (L/min), ya que es el caudal máximo que lee los sensores de flujo; la potencia de la bomba no hace hincapié en nuestro prototipo solo se necesita para que sea capaz de retroalimentar nuestro circuito de agua. Con la ayuda de accesorios de (PVC) se acopló todo el circuito y fueron de gran ayuda al momento de darle la forma deseada. Se utilizó una lámina de acero inoxidable con dimensiones (70*40) cm, en la cual descansa toda la estructura del prototipo que fue ensamblada, Cabe resaltar que a cada rama se le hizo un pequeño orificio para simular la fuga. En la Figura 4.

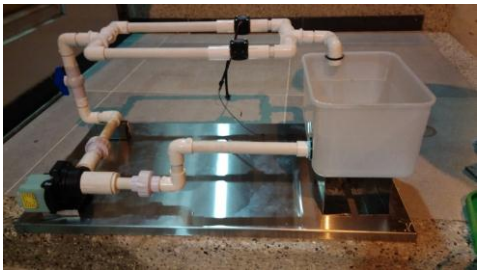


Figura 4. Estructura del prototipo diseñado.
Fuente: (León, E., Pérez Keven 2018)

4.2 Diseño del Instrumento Virtual

Un dispositivo virtual es un objeto que posee la capacidad de producir un efecto, sin estar presente físicamente. Un instrumento virtual básicamente utiliza un dispositivo usado para medir o controlar una variable física como la presión, la temperatura, la velocidad o la fuerza a través de un hardware y un software usados en un computador personal (PC), el cual puede ser modificado ilimitadamente por el usuario. Los instrumentos virtuales son una mejora de los instrumentos tradicionales que se caracterizan por realizar una o varias funciones específicas que no pueden ser modificados.(Gómez, Carreazo, & Camperosc, 2015)

La interfaz de usuario fue necesaria para la creación de este instrumento virtual. Esta proporcionó al operador los datos, gráficas y controles para la correcta visualización y manipulación del mismo.
En la figura 5 se muestra el panel frontal y el diagrama de bloques que se diseñó para visualizar el caudal y el volumen perdido del sistema de detección de fugas de producto, al igual da la opción de guardar las gráficas y los datos obtenidos.

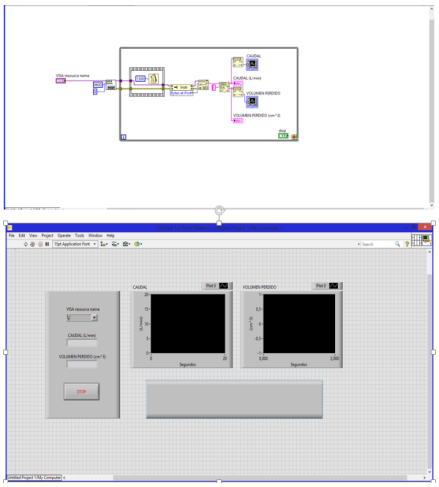


Figura 5. Panel Frontal y diagrama de bloques
Fuente: Autores

4.3 Prueba experimental comportamiento del sistema cuando ocurre una fuga

Una fuga cambia el sistema hidráulico de la tubería y por lo tanto cambia las lecturas de flujo después de algún tiempo en los diferentes puntos de medición. La figura 6. Muestra los datos generados de caudal y el volumen perdido

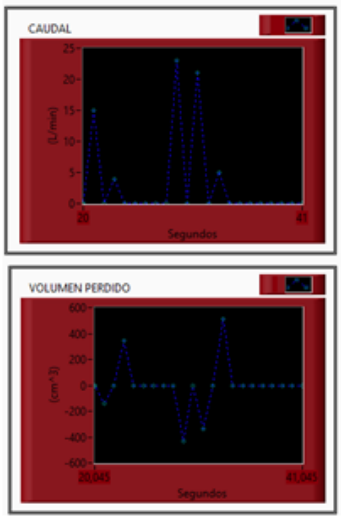


Figura 6. Caudal y Volumen Perdido
Fuente: Autores

Se puede analizar que el sistema de detección de fugas muestra el caudal que está circulando por la tubería y el volumen perdido al ocasionarse una fuga.

Se realizó una prueba experimental generando una fuga en el banco de tuberías de la figura 4 y se muestra en la figura 6 el panel frontal donde emite un mensaje de alerta para detectar la fuga.



Figura 6. Alerta en el Panel Frontal inmediatamente de haber detectado la fuga
Fuente: (León, E., Pérez Keven 2018)

Cabe destacar que la alerta de led rojo y el mensaje en pantalla se mostró inmediatamente apenas fue destapada la fuga del sistema, adicionalmente, las gráficas ayudaron a visualizar lo que estaba ocurriendo y se vio el movimiento brusco de caudal y volumen perdido al detectarse la fuga.

5. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta investigación se logró detectar la fuga en un sistema de tuberías y se puede dar a conocer lo siguiente:

- A lo largo de la investigación se pudo observar el comportamiento del oleoducto en funcionamiento normal y durante la presencia de fuga.

- Gracias a la construcción del prototipo se tuvo más claridad en el análisis de fugas en tuberías y en la utilización de dispositivos que convierten señales analógicas en señales digitales.

- Se puedo demostrar que es posible detectar fugas en tuberías solamente, con 2 sensores de flujo y un instrumento virtual para caudales de flujos constantes en tuberías horizontales.

- Este prototipo tiene una segunda intención; permitir la elaboración de un diseño más pragmático que se pueda llevar al campo de operación y ser utilizado en empresas de petróleo.

REFERENCIAS

Calderón, J. (2012). Método de detección y ubicación de fugas, en ductos de gran longitud, mediante velocidad de propagación de onda de presión negativa, en ductos con mediciones de presión multipunto (Tesis de Maestría). Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Duran-Pinzón, M., Páez-Arango, J., & García-Guarín, P. J. (2018). Modelado numérico y análisis experimental para flujos en un medio poroso homogéneo a través de suelos. ITECKNE, 15(1), 24-33. http://dx.doi.org/10.15332/iteckne.v15i1.1961

Gómez, G. G., Carreazo, D. E. M., & Camperosc, 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.

Guevara, W. (2015). Tecnura of industrial equipment designing, (c), 129–141. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a11.

Jin et al., (2014) Hao Jin, Laibin Zhang, Wei Liang, Qikun Ding Modelo integrado de detección y localización de fugas para gasoductos basado en el método de onda acústica.

León, E., Pérez Keven (2018) Prototipo de un banco de pruebas de un detector de fugas de agua en tuberías Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica.

Quintero pedro, (2017) Desarrollo de un sistema para Detección de fugas para tuberías horizontales en tiempo real por medio de gradientes de presión. (Tesis Doctoral) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Turkowski and Mateusz, (2008)" Methods and Systems of leak detection in long range pipelines,"pp. 32-52

Yang X., Jia L., Wang S., Wang J., (2014), Based on pressure gradient model to determine leakage point in heating pipe network, Journal of Computer Modelling and New Technologies, 18(5), pp: 253-256.