

# DETECCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA INDUSTRIA PETROLERA

Luis Alejandro Benavides Vázquez  
Yasmín Agueda Ríos Solís

## Resumen

Las redes de proceso de las refinerías son complejas ya que involucran una serie de procesos químicos para hacer cerca de 20 diferentes productos finales. Actualmente se tienen medidores volumétricos o másicos a lo largo del proceso de refinación para detectar fugas. Es de notarse que los medidores por naturaleza tienen cierto grado de incertidumbre y error que se pudiera propagar a lo largo de la red generando falsas alarmas.

Se presenta el algoritmo propuesto para la generación y detección de fugas en una red que simula una refinería, obteniéndose buenos resultados. Dicho algoritmo incluye propiedades del petróleo, capacidades de los arcos y datos necesarios para el uso de medidores de placa y orificio. El algoritmo propuesto obtiene 1.322 nodos donde se detecta una ganancia de y , en la misma red, 1.185 de fuga y un 0.985 arcos detectándose una ganancia y , en la misma red, 6.135 arcos de fuga, basándose en una red de 13 nodos (procesos) y 17 arcos (tuberías de unión entre procesos).

Palabras clave: pérdidas, fuga, detección, refinería.

## **Introducción**

Las redes de proceso de las refinerías son complejas ya que involucran una serie de procesos químicos para hacer cerca de 20 diferentes productos finales. Actualmente se tienen medidores volumétricos o másicos a lo largo del proceso de refinación para detectar fugas. Es de notarse que los medidores por naturaleza tienen cierto grado de incertidumbre y error que se pudiera propagar a lo largo de la red generando falsas alarmas.

Además uno de los problemas típicos que se han tenido en las industrias del petróleo así como en industrias de procesos similares, consiste en detectar las pérdidas de productos refinados en la red de transporte de una refinería con el fin de prevenir que se pierda material, lo cual puede afectar al medio ambiente.

Esto puede ser resuelto mediante un balance másico de los productos petrolíferos en la refinería con el fin de conocer las pérdidas que se puedan ocasionar en torno al proceso. Industrias petrolíferas, expertas del proceso, proponen que las pérdidas se deban a la diferencia de entradas con salidas, a los inventarios y restando a esto el autoconsumo, y como se mencionó anteriormente, tomando en cuenta la incertidumbre y los datos en tiempo real de los medidores.

## **Justificación**

El problema de detección de fugas tiene como objetivo conocer el lugar en que se encuentra una fuga en la red de tuberías descrita en un proceso. Teniendo en mente esto, se buscó información al respecto. Entre algunos estudios recientes que abordan la detección de fugas, se puede citar el trabajo de Zhang y Xu (1999), en donde se aplica un software llamado ATMOS Pipe para encontrar fugas en una tubería con etileno. En el caso de detección de fugas por medio de algoritmos en sistemas que involucran petróleo se encuentra un estudio realizado por Hamid y Ahmad (2003) que utiliza una red neuronal para detectar fugas en un proceso de fraccionamiento de petróleo. Existen estudios en donde se enfocan las fugas en otro tipo de sistemas, se puede citar a Fuentes y otros (2007) quienes exponen un método para detectar fugas en base a la estimación del factor de fricción en una tubería cerrada. También relacionado al uso de modelos matemáticos, Cárdenas y Carlosama (2008) definen un sistema automatizado de detección de fugas en tuberías inaccesibles utilizando ecuaciones planteadas por la API.

Con todo, los artículos donde se estudie la detección de fugas en la red de una refinería y además la localización de los medidores para obtener una mejor detección son prácticamente inexistentes. Así, éste es un problema que ocurre durante el traslado de productos en refinerías y en otros tipos de industrias que afectan la economía del sector y además al medio ambiente, por lo que su solución se vuelve perentoria. Lo que se propone hacer ayudaría a conocer de manera rápida y eficaz el lugar en que se encuentra la fuga para actuar inmediatamente. En casos anteriores no se ha intentado resolver este tipo de problemas en toda una red, sino que sólo se implementado específicamente para tramos de tuberías o en tanques. Con la ayuda del algoritmo que se propone, se conocería en qué lugar hay una pérdida, lo que haría más eficaz la reducción y eliminación de pérdidas que lleguen a contaminar el medio ambiente. Además este problema lo tiene una planta de refinería en México.

### Metodología

Para resolver este problema se propone un algoritmo basado en modelos matemáticos que determine si existe alguna pérdida a lo largo de la refinería, con base en lo mencionado anteriormente.

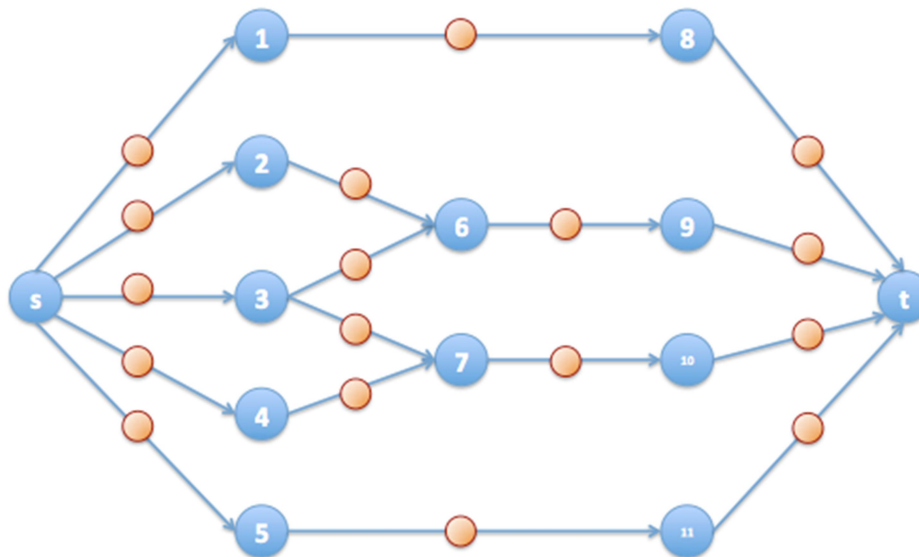


Figura 1. Diagrama de estudio de la refinería.

Para la elaboración del algoritmo se realizaron supuestos y se utilizó la teoría de grafos para su representación (Figura 1) y fácil manejo de información:

- Cada conexión existente en la refinería (tubería) entre dos procesos, serán un arco.
- Cada proceso de la refinería, será un nodo.
- En cada arco de la red se tiene un medidor de placa y orificio, representado por un círculo rojo en el diagrama, el cual medirá la diferencia de presión y posteriormente calculará el flujo circundante por éste arco.
- Cada arco cuenta con una capacidad mínima de flujo y una capacidad máxima.
- La densidad del petróleo es constantes durante toda la red.
- El coeficiente (involucrado en la ecuación del medidor) será el mismo.

Una vez hechos los supuestos, se procede a realizar los siguientes pasos del algoritmo utilizado, ilustrado con el diagrama de flujo (Figura 2):

- Los datos de cada arco son leídos de un archivo, el cual se encuentra con fugas en alguno de sus arcos, entre los datos se encuentran (conexiones, capacidades, diferencia de presión, densidad, coeficiente del medidor, etc.).
- Se calcula para cada medidor su error, el cual se propagará a lo largo de la red.
- Se obtienen los diferentes caminos que se tienen desde el inicio del proceso hasta el final, con el fin de conocer la línea que lleva cada producto desde su etapa inicial, hasta convertirse en el producto final.
- Se comprueba que el flujo leído de los medidores se encuentre dentro del rango de aceptación, si éste no se encontrara en el rango, existe una fuga.
- Se realizará un balance en cada nodo que será compararlo con el paso anterior, para decidir si en realidad hay una fuga o sólo es una mala medición.

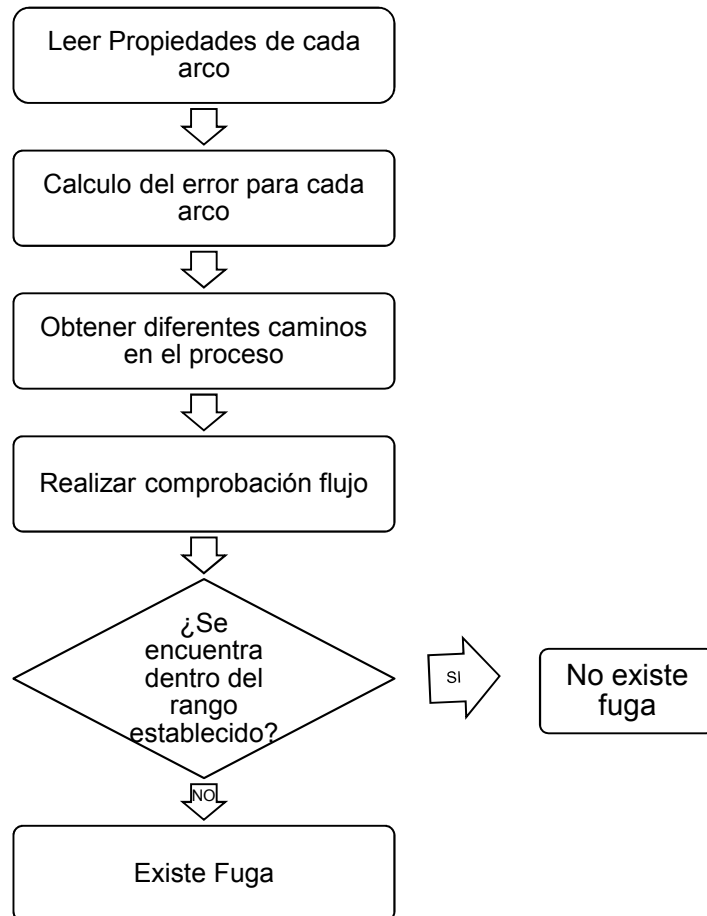


Figura 2. Diagrama de Flujo utilizado

### Resultados

Las pruebas fueron realizadas en una MacBook Pro 13", con procesador de 2.8 GHz Intel Core i7 y con RAM de 4 GB 133 MHz DDR3.

Las pruebas realizadas para medir el desempeño del algoritmo son en base 100 ejecuciones del algoritmo, simulando que éstas son mediciones tomadas en tiempo real en un espacio entre cada medición de 1 minuto.

Nodos con fuga	Nodos con Ganancia	Arcos con fuga	Arcos con Ganancia	Tiempo (s)
1.44	1.36	6.17	0.87	17.203
1.23	1.25	6.32	0.97	18.538
1.16	1.27	6.15	0.95	18.146
1.39	1.35	6.19	1.04	17.939
1.18	1.36	5.79	1.16	17.311
1.31	1.41	5.77	1	17.712
0.18	1.24	5.76	0.92	17.438
1.23	1.36	6.48	0.86	17.676
1.39	1.32	6.02	1	17.503
1.34	1.3	6.7	1.08	17.794
1.185	1.322	6.135	0.985	17.726

*Tabla 1. Nodos y arcos con fuga o ganancia en la red.*

Cada renglón de la Tabla 1 es un promedio de 100 repeticiones de la prueba en una red con 13 nodos y 17 arcos, a excepción del último renglón que es el promedio de las 10 mediciones anteriores.

En la Tabla 1 podemos observar cómo el algoritmo propuesto obtiene con aproximación en promedio 6 fugas en los arcos y para los nodos 1 fuga, esto nos indica que es necesario realizar una verificación de los resultados, tanto en los nodos y arcos, para comprobar si en realidad la fuga presentada en los arcos coincide con la fuga presentada en los nodos. Dado que en cada nodo se cuenta con que entran y salen una cantidad de arcos diferente, haciendo esto que los errores leídos en los arcos puedan ser engañosos y nos identifiquen una falsa alarma.

También se observa en la Tabla 1 que en promedio el experimento se lleva a cabo en 17.726 segundos (100 repeticiones), lo que nos indica que en un tiempo corto se pueden llevar a cabo las mediciones.

Como el algoritmo propuesto ha sido comprobado con un simulador de medidas en los arcos, los cuales contienen fuga, al escalarlo al uso real, conforme se agreguen mediciones en los arcos el algoritmo crecerá.

### **Conclusiones**

El esquema de una refinería es tratado con teoría de grafos para entendimiento y mejor manejo de los datos, en el cual se hace una similitud con los procesos como nodos y las conexiones entre cada proceso como los arcos de la red.

El algoritmo propuesto involucra las propiedades físicas y químicas del petróleo y las ecuaciones que utilizan los medidores de placa y orificio, con los valores característicos de estos medidores.

El algoritmo propuesto es capaz de generar fugas y detectar mediciones en las cuales se detectan fugas o por el contrario se detectan “ganancias” (mediciones por arriba del rango de confianza) en la red de prueba utilizada para simular el comportamiento de una refinería de pequeña escala.

El algoritmo genera una medición promedio de nodos donde se detecta una ganancia de 1.322 y, en la misma red, se detecta una fuga de 1.185 y de arcos donde se detecta una ganancia de 0.985 y una fuga de 6.135.

La instancia de prueba está basada en una red de 13 nodos (procesos) y 17 arcos (tuberías de unión entre procesos).

### **Bibliografía**

Cárdenas Miranda, N., Carlosama Cepeda, G., (2008) *Diseño de un sistema automatizado para la detección de fugas en tuberías inaccesibles*. Master's thesis, Escuela Politécnica Nacional.

Fuentes Mariles, G., Fuentes Mariles, O., (2007) Palma Nava, A. Calibración del factor de fricción y detección de fugas en una red cerrada de tuberías de agua potable. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*.

Hamid, Abd., M., Ahmad, A. (2003). *Pipeline leak detection system in a palm oil fractionation plant using artificial neural network*. International Conference on Chemical and Bioprocess Engineering.

Zhang, J., Xu, L. (1999) *Real time pipeline leak detection on shell's north western ethylene pipe*. REL Instrumentation Limited.