

Detección de fugas en canalizaciones enterradas mediante isótopos radiactivos

Carlos Sebastián Calvo
Universidad Ricardo Palma
carlos.sebastian@urp.edu.pe
Lima-Perú



Resumen

La utilización de trazadores en la forma de radioisótopos y la observación de su cambio de concentración con el tiempo, permite darnos una idea del comportamiento de los procesos industriales y la evaluación de problemas de mal funcionamiento como es el caso de la detección y cuantificación de fugas o filtraciones en tuberías enterradas.

Las técnicas mostradas representan un conjunto de métodos sencillos, económicos y rápidos, de gran utilidad en la evaluación de fugas o filtraciones en ductos enterrados, mediante el uso de trazadores artificiales.

Palabras clave: trazadores, radioisótopos, fugas, detectores.

Abstract

The use of tracers in the form of radioisotopes and the observation of its concentration changes as a function of time, allow us to draw some conclusions about the performance of industrial processes and the evaluation of malfunctioning troubles, which is the case of the detection and quantification of leakages in underground pipes.

The shown techniques represent a set of simple, fast, and economic methods of great utility in the evaluation of leaks in underground pipelines using artificial tracers.

Keywords: Tracers, radioisotopes, leakages, probes.

1. Introducción

Los isótopos y las radiaciones son hoy en día parte de las actividades humanas en muchos campos, pudiendo ser aplicados en numerosas actividades industriales.

Los trazadores radiactivos o radiotrazadores son sustancias radiactivas que incorporadas al sistema en estudio, proporcionan información sobre su comportamiento, mediante la detección y el análisis de la radiación emitida. Así, los radiotrazadores se usan eficientemente para monitorear el curso de muchos procesos industriales y se pueden optimizar procesos complejos de la industria; pudiéndose además utilizar sin interrumpir las operaciones normales de las instalaciones.

Dentro de las ventajas que ofrecen los radiotrazadores, podemos destacar hecho de su utilización en pequeñas cantidades de manera que no perturben los procesos, además que no se ven afectados por la presión, la temperatura, etc. Por otro lado, pueden obtenerse en diferentes formas, según el material o proceso que se esté estudiando; es decir, como líquidos, sólidos o gases. Esto permite conocer en forma simultánea el comportamiento de más de una fase, utilizando trazadores de diferente energía para cada una de ellas.

Con la utilización de los radiotrazadores se pueden determinar parámetros de transporte de material como por ejemplo flujos volumétricos y másicos, distribución

de tiempos de residencia, coeficientes de dispersión, etc; ubicar o cuantificar fugas y filtraciones y realizar balances de masa, entre otras aplicaciones.

En el presente artículo se establece la importancia de la localización rápida de fugas en canalizaciones enterradas, desde el punto de vista económico y también de seguridad.

El principio más frecuente para determinar fugas en canalizaciones enterradas utilizando radioisótopos, consiste en:

- Introducir en la canalización un trazador radiactivo mezclado con el fluido o disuelto en él.
- Dejar escapar este fluido a través de la fuga de manera de contaminar el suelo en la proximidad a la fuga.
- Detectar la presencia del trazador en el lugar de la fuga, eventualmente después de un lavado de la canalización.

2. Modalidades de llenado de canalizaciones o ductos para detectar la ubicación de eventuales fugas

2.1 Marcación homogénea

Consiste en llenar el conducto de una solución homogénea de trazador. Esto tiene la ventaja de poder buscar la fuga con la canalización a presión constante; por el contrario, es necesario controlar la homogeneidad del producto introducido y de evacuar un gran volumen de fluido marcado.

2.2 Marcación heterogénea

En este caso se introduce una cierta cantidad de trazador radiactivo, entre dos zonas del fluido no marcado.

Esta marcación se hace entonces en pleno flujo del fluido, produciéndose por lo tanto un volumen débil de fluido contaminado, dejando solo una pequeña cantidad de trazador en la fuga.

2.3 Detección

La detección, es decir, la localización lo más precisa posible del punto de la fuga, puede efectuarse de tres formas diferentes:

2.3.1 A nivel del suelo (figura N° 1)

Es el método más simple, el equipo de detección se desplaza a lo largo del conducto provisto de detectores portátiles de radiación.

Este método exige una actividad importante de radioisótopos emisores de rayos gamma. En efecto, la radiación, para llegar al detector, debe atravesar espesores de tierra importantes, a menudo del orden de un metro, a las cuales se superpone frecuentemente una capa no despreciable de pavimento, cemento u otro revestimiento.

Por lo mismo, este método exige el empleo de detectores de alta sensibilidad, como cristales centelladores de NaI (TI).

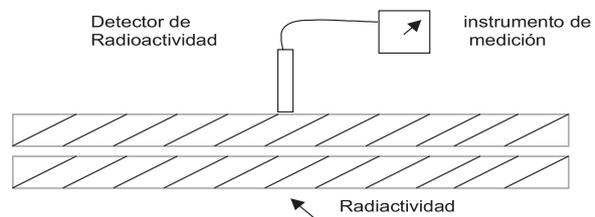


Figura N° 1. Detección de fugas a nivel del suelo

2.3.2 Desde el interior del conducto (figura N° 2)

Es sin lugar a dudas el método más completo. Consiste en hacer pasar el interior de la canalización un pistón que contiene la electrónica de detección y una memoria. Este sistema de detección impulsado en la canalización por bombeo (principio idéntico a los polly-pigs), registra el aumento de actividad, pasando delante el terreno contaminado a lo largo de la fuga. Es suficiente entonces, examinar la memoria para reencontrar el punto de fuga. El gran interés del método es que no exige más que una débil actividad de trazador fijado al punto de la fuga, la radiación emitida por el trazador solo tiene que atravesar el espesor del conducto para llegar al detector. Con los radioisótopos más comúnmente utilizados, y para una canalización enterrada bajo un metro de tierra las actividades a utilizar son alrededor 1000 veces inferiores a las necesitadas para una detección a nivel del suelo.

En la práctica, la detección desde el interior del conducto impone imperativos estrictos que limitan su empleo, estos imperativos son:



- a) El conducto debe tener un diámetro mínimo, suficientemente grande para permitir la pasada de la electrónica de detección.
- b) La canalización debe presentar radios de curvatura tales, para que un pistón detector que generalmente tiene un largo del orden de 1,5 veces del diámetro de la canalización, pueda pasar.
- c) Después del paso del fluido marcado, el conducto debe ser lavado a fin de no presentar trazas de actividad.
- d) La suspensión de la electrónica de detección y de su memoria debe ser capaz de amortiguar los choques a menudo brutales a los cuales esté sometido.
- e) Finalmente, es indispensable marcar el recorrido de pequeñas fuentes radiactivas, como referencias de posición, permitiendo una localización más precisa de la fuga.

El pistón detector registrará la radioactividad al pasar por la fuga

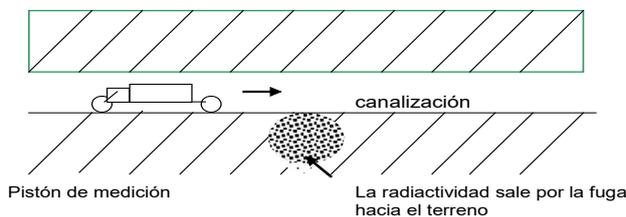


Figura N° 2. Detección desde el interior del conducto

2.3.3 Por sondeo y toma de muestras (figura N° 3)

Cuando la detección desde el interior del conducto es imposible, se puede perforar hoyos a lo largo del conducto, por los cuales descenderá una sonda de detección a fin de disminuir el espesor de tierra entre la fuga y el detector.

Para un examen sistemático, los hoyos deben aproximarse entre sí, a una distancia del orden de un metro, y tal exploración solo podría hacerse sobre canalizaciones muy cortas.

De esta manera se puede entonces sondear los puntos juzgados como sospechosos. Es posible también en ciertos casos proceder a tomar muestras de agua o barro si el terreno es muy húmedo, y analizar la actividad de

estas muestras eligiendo una geometría de medición ventajosa y un detector de alta sensibilidad.

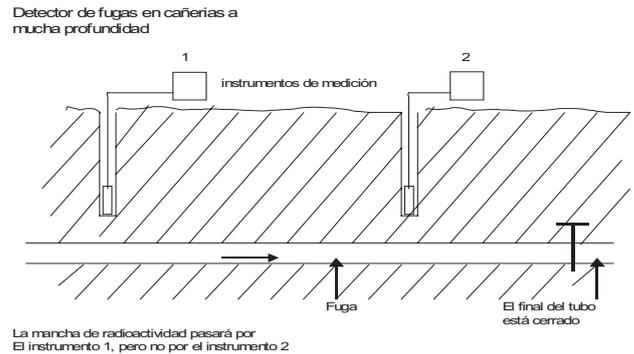


Figura N° 3. Detección por sondeo

3. Factores que influyen en la detección de fugas utilizando trazadores

3.1 Elección del trazador

El trazador debe normalmente satisfacer a cierto número de condiciones, siendo las principales las siguientes:

- a) Debe emitir rayos gama suficientemente penetrantes
- b) Debe poder ser preparado bajo actividades suficientes y a bajo precio.
- c) Su período debe ser corto y del mismo orden que el tiempo de duración de la experiencia, para permitir una eliminación rápida de los productos contaminados.
- d) Debe tener una concentración máxima admisible (c.m.a.) en el aire y agua tan elevada como sea posible.
- e) Debe ser fácilmente fijado por el terreno a fin de permitir la contaminación de éste en la vecindad de la fuga, pero sin ser fijado por las paredes de la canalización.
- f) Estas características se encuentran notablemente en:
 - Na-24, utilizando como trazador del agua en la forma de HCO_3Na o de Na-24 Cl , emisor gama de 1,4 y 2,8 MeV, de período de 15 hrs.
 - Br-82 utilizado como trazador de gas, en la forma de $\text{CH}_3\text{Br-82}$, emisor gama de 1,35 y 0,8 MeV, de período de 36 hrs.

- I-131 como NaI para el agua, emisor gama de 0,74 y 0,66 y 0,53 Mev de período de 8 días.

4. Otros métodos de detección de fugas utilizando trazadores

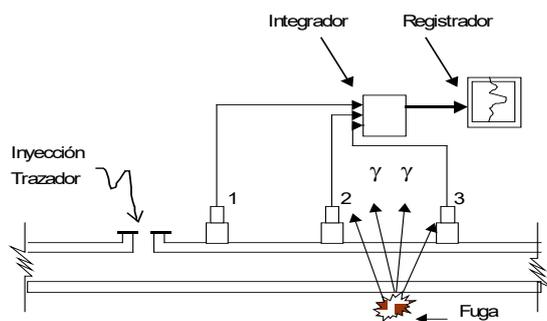
4.1 Método de la dirección

Este método puede ser utilizado para la detección de pequeñas fugas en un conducto largo. Las válvulas de entrada y salida deben ser cerradas y la presión mantenida en el conducto agregando agua por una toma de muestras en el medio de la sección sospechosa. Cuando se equilibra la presión interna del conducto se inyecta un pequeño volumen de solución radioactiva. Esta solución activa se desplaza principalmente hacia la fuga más importante. De esta manera los detectores puestos a cada lado del punto de inyección indicarán la dirección de la fuga. La aplicación repetida de esta técnica, puede localizar la fuga en una corta sección del conducto.

4.2 Método de la velocidad (figura N° 4)

Existen muchas variantes de este método que pueden ser utilizadas en la búsqueda de fugas importantes.

Un pequeño volumen de una solución radiactiva, de actividad específica relativamente elevada se introduce en una extremidad del conducto y circula a lo largo de la canalización con el líquido de llenado. La pasada de esta onda es detectada en diferentes lugares por detectores ubicados en lugares de acceso cómodo; anotando los tiempos de pasada de la onda radioactiva sobre puntos sucesivos, se encuentra la velocidad del agua. Desde que la onda pasa por una fuga, un cambio brusco de la velocidad aparece y comparando la velocidad aparente en la sección conteniendo la fuga, con la velocidad en las secciones que la preceden y que siguen se puede localizar la fuga con cierta precisión.



1,2 y 3 Detectores

Figura N° 4. Detección por el método de la velocidad

Este método es aplicable solo si el caudal de la fuga q es suficientemente importante frente al caudal del conducto Q , para que la variación de la velocidad sea significativa. Por otra parte es necesario que el régimen sea turbulento.

4.3 Método cuantitativo de integración

Este método es utilizado cuando interesa cuantificar la importancia de una fuga, aun en el caso en que esta sea imposible de localizar. El método de integración consiste en inyectar una sola vez en el conducto donde se va a medir la velocidad una actividad de trazador A , la que se va a medir suficientemente lejos del punto de inyección para tener un buen mezclado. El número total de cuentas N es utilizado durante todo el tiempo de pasada de la nube radioactiva.

Se ve entonces que el caudal Q buscado, es de la forma:

$$Q = \frac{AF}{N}$$

donde F es un coeficiente igual al conteo obtenido con la misma geometría y el mismo detector para una concentración unitaria.

Este método se basa en la inyección en forma puntual, de un volumen pequeño de un trazador en un punto ubicado más allá de la "longitud de buena mezcla". La cantidad de trazador "Da" que pasa por la sección de muestreo en un tiempo dt es:

$$Da = Q \cdot c \cdot dt$$

La actividad total que pasa por este punto es:

$$\int_0^{\infty} Q \cdot c \cdot dt$$

la que tiene que ser igual a la actividad inyectada. Entonces, se establece que:

$$A = \int_0^{\infty} Q \cdot c \cdot dt$$

y el caudal es:

$$Q = \frac{A}{\int_0^{\infty} c \cdot dt}$$

en la que "A" es la actividad total de trazador inyectado y "c" es la concentración de trazador en un instante "t"

Para determinar el caudal es necesario conocer la actividad total del trazador inyectado y evaluar la



integral. Existen tres formas de evaluar esta integral, las que se detallan a continuación:

4.3.1 Método de muestreo continuo

Se extraen muestras más allá de la “longitud de buena mezcla” a iguales intervalos de tiempo durante un tiempo total t , y se mezclan en un contenedor adecuado. Se mide la concentración promedio y se evalúa la integral como “ $c \cdot t$ ”.

Las ventajas del método de muestreo continuo frente al método de inyección a caudal constante son:

- No se requieren equipos especiales para realizar la inyección del trazador a caudal constante.
- Es menos sensible a la posición del punto de muestreo.
- Para mediciones de concentración similares comparadas con la inyección continua, se debe inyectar una actividad total menor de trazador, ya que se mezclan las muestras extraídas durante el tiempo de pasada de trazador y se realiza solo una medida de concentración para determinar el caudal.

4.3.2 Método de conteo total

Se evalúa la integral registrando al número total de cuentas acumuladas “ N ” durante la pasada del trazador ante el punto de muestreo, más allá de la “longitud de buena mezcla”. En este caso:

$$N = F \cdot \int_0^{\infty} c \cdot dt$$

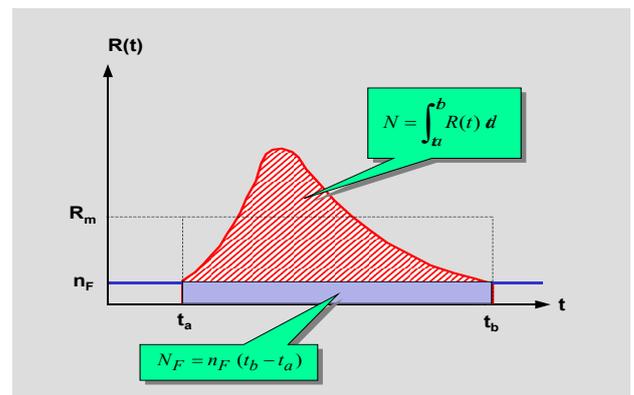
en que “ F ” es una constante que depende de la eficiencia del detector, llamada normalmente factor de calibración. Reemplazando en la ecuación inicial se tiene:

$$Q = \frac{(A \cdot F)}{N}$$

Conocida como ecuación de Hull para el método de conteo total. El valor de “ F ” se obtiene en la práctica calibrando el detector en iguales condiciones geométricas que durante la medición de caudal y para el mismo fluido que se desea medir. Para definir una geometría reproducible se utiliza una cámara constante, el fluido desde la tubería principal. Esta cámara se calibra con una alícuota de la solución inyectada.

La principal ventaja del método de conteo total es que se obtiene una lectura instantánea, y si se ha determinado previamente el factor de calibración F , puede acondicionarse el sistema para medir directamente el caudal.

La principal desventaja del método es la baja precisión estadística en “ N ”, que resulta del tiempo total de conteo el que se encuentra restringido al tiempo de tránsito del pulso de trazador. Este método no puede competir con el de muestreo continuo en el que se alcanza mayor precisión estadística debido a que se puede prolongar el tiempo de conteo.



5. Conclusiones y recomendaciones

- a. Los trazadores pueden utilizarse en circunstancias especiales para medir fugas en ductos enterrados, cuando los métodos convencionales no son aplicables.
- b. Las técnicas de trazadores en la detección de fugas en tuberías enterradas, son métodos precisos y confiables en un amplio rango de caudales, con un error de medición del orden del 1% para líquidos en conductos cerrados. Las medidas son igualmente precisas en agua clara, turbia, contaminada o salina.
- c. La alta sensibilidad de detección de los radioisótopos determina que pequeñas cantidades de estos puedan ser detectadas in-situ y medidas con precisión en el lugar mismo o en el laboratorio.
- d. El fenómeno de desintegración y decaimiento de los isótopos radiactivos con corto período de semidesintegración, permitirá la desaparición del mismo en un corto período de tiempo.
- e. Es necesario un largo de tubería que asegure un mezclado completo del trazador con el fluido a medir.



- f. Deben considerarse envases de protección (blindajes) destinados al transporte del trazador radiactivo.
- g. Los radiotrazadores permiten mediciones in-situ y en continuo sin variar las condiciones normales de operación del sistema a inspeccionar por fugas. Frecuentemente puede medirse desde el exterior de las tuberías.
- h. Los puntos de inyección y de detección se instalan fácilmente y a costos muy bajos en conductos existentes o nuevos.

Referencias

IAEA “Radiotracer Technology for Engineering Unit Operation Studies and Unit Processes Optimization”, Technical Report, Krakow-Poland, 1999

Leclerc J.-P., Grevillot G. “Traceurs et méthodes de traçages”, *Récents Progrès en Génie des procédés*, 61, Vol. 12, 1998.

Leclerc J.-P. “Traceurs and tracing methods”, *Récents Progrès en Génie des procédés*, 79, Vol. 15, 2001.

Plata, A. (1972). *Isótopos en Hidrología*. Editorial Alambra. Madrid.

Sebastián C., Maghella, G., Mamani, E. (1998) “Evaluación de las unidades de tratamiento de agua, utilizando técnicas de trazadores radiactivos”. Informe Técnico IPEN, Lima -Perú.

Thereska, J. “Radiotracer Methodology and Technology”. IAEA, NAPC, Industrial Applications and Chemistry Section, Vienna-Austria, February 1999.

Recibido: 6 de febrero del 2019.

Aceptado: 13 de febrero del 2019.