

# Aplicaciones de radioisótopos en procesos industriales de refinación de petróleo y gas natural



**Carlos Sebastián Calvo**  
Universidad Ricardo Palma  
carlos.sebastian@urp.edu.pe

## Resumen

El objetivo de esta publicación es presentar una visión de las posibles aplicaciones de los trazadores radiactivos y de las fuentes selladas de radiación en el procesamiento de hidrocarburos, tanto provenientes del petróleo como del gas natural. Numerosos experimentos han sido llevados a cabo, tanto a nivel nacional como internacional, utilizando dichas técnicas.

Dependiendo del proceso estudiado, los resultados experimentales se pueden interpretar con diferentes niveles de complejidad, desde simples problemas de operación de equipos u operaciones unitarias de procesamiento industrial, hasta el modelamiento matemático del comportamiento de los flujos de diferentes fases, sean estas en estado líquido, sólido o gaseoso, que eventualmente estén involucradas en los procesos mencionados.

**Palabras clave:** Trazadores radiactivos, hidrocarburos, petróleo, gas natural, procesamiento industrial.

## Abstract

*The objective of this publication is to present a vision of the possible applications of radioactive tracers and sealed sources of radiation in the processing of hydrocarbons, both from petroleum and natural gas. Numerous experiments have been carried out, both nationally and internationally, using these techniques.*

*Depending on the process studied, the experimental results can be interpreted with different levels of complexity, from simple*

*problems of operation of equipment or unit operations of industrial processing, to mathematical modeling of the behavior of the flows of different phases, whether they are in a liquid state, solid or gaseous, which are eventually involved in the processes mentioned.*

**Keywords:** *Radioactive tracers, hydrocarbons, petroleum, natural gas, industrial processing.*

## 1. Introducción

Los radioisótopos fueron aplicados para resolver problemas en la industria desde mediados del siglo pasado. Desde entonces, su uso se ha incrementado alrededor del mundo en la optimización de los procesos industriales.

Se resumen las principales aplicaciones de radioisótopos desarrolladas por el IPEN en beneficio de la industria de procesamiento de hidrocarburos, destacándose la técnicas de *gamma scanning*, la retrodispersión neutrónica y la detección de fugas en diversas unidades como columnas de fraccionamiento en general, tuberías, tanques y reactores de craqueo catalítico y fugas en sistemas de intercambio de calor; de manera de no sólo proporcionar una descripción de lo que

puede ser llevado a cabo mediante la aplicación de los radioisótopos en este importante sector industrial.

Las industrias de procesos químicos y petroquímicos son los principales usuarios y beneficiarios de la tecnología de radioisótopos. Las técnicas de radioisótopos son muy competitivas y ampliamente aplicadas en la detección de fallas y en los procesos de análisis técnicamente complejos en plantas industriales que operan continuamente. El éxito de estas aplicaciones es atribuido a su capacidad única de proporcionar información que de otra manera no podría ser obtenida por técnicas alternativas. En general, los beneficios de la aplicación de las técnicas radioisotópicas en la industria de procesamiento de hidrocarburos, se pueden agrupar en:

- **Detección de fallas.** La tecnología de radioisótopos se utiliza para diagnosticar causas específicas de ineficiencia en plantas o procesos. En muchos casos, los beneficios que se derivan se deben a los ahorros asociados con la disminución de la parada de planta y a la prevención de pérdidas de producción.
- **Optimización de procesos.** Las medidas radioisotópicas dan información que facilita el mejoramiento global en rendimiento del proceso o la calidad de los productos.

Las técnicas presentadas de fuentes y trazadores radioisotópicos son ampliamente reconocidas y ayudan a obtener una clara “visión interior” de los equipos en operación, sin el costo excesivo de una parada. Son más útiles en las técnicas en línea y no invasivas para optimizar el desempeño industrial.

En los ejemplos descritos, que los valores potenciales de las aplicaciones de los radioisótopos muestran, una relación beneficio-costos promedio de 20:1 a 50:1 es razonablemente representativo. Hay pocas inversiones a corto plazo las cuales darán un retorno de esta magnitud, de acuerdo a los reportes del OIEA.

## 2. Gamma scanning de torres de fraccionamiento

Los siguientes procedimientos son recomendados para montar el *gamma scanning*:

- Obtención detallada de los esquemas mecánicos de la columna.
- Solicitud de asistencia en el proceso o del ingeniero químico para los detalles del proceso.

- Decidir sobre la línea de orientación del *scan* y el número de *scanning*.
- Chequear la alineación del *scanning*.
- Verificar alguna disminución inusual en la intensidad de la radiación debido a obstrucción externa en la columna.

Para conducir un *scanning* en un sistema bandeja-columna, es aconsejable realizar un *scan* previo a través de las bandejas y evitar el *scanning* a través de los bajantes de las bandejas. Una típica y línea recomendada de orientación del *scan* para columnas con bandejas son mostradas en la figura 1.

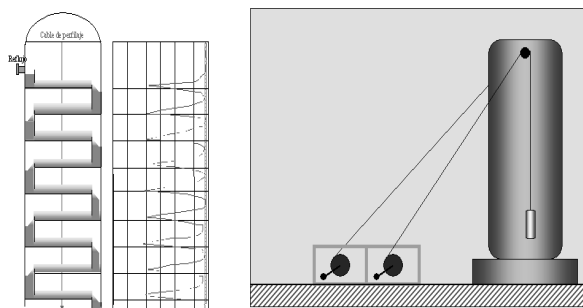


Figura 1: Gamma scanning de columnas de bandejas.

## 3. Scanning por coordenadas de columnas empacadas

El *scanning* por coordenadas es recomendado para columnas de lecho fijo. Una orientación típica de líneas coordenadas del *scan* es mostrada en la figura 2. Al menos cuatro *scanning* son recomendados para analizar una columna de lecho fijo.

El *Scanning* por coordenadas puede ser utilizado para investigar condiciones relacionadas con los procesos tales como:

- Obstrucciones o desbordamientos.
- Entrada o transporte de líquido.
- Distribución desigual de fluido a través de los lechos fijos.

El *scanning* por coordenadas también puede ser usado para investigar problemas mecánicos de construcción, tales como:

- Colapso de lechos fijos; o
- Distribución no uniforme de material de empaque

Un factor importante a tomar en cuenta dentro del conteo es que hasta donde sean posibles las condiciones de operación (como son velocidad de alimentación,



temperatura y otros parámetros del proceso) estas deben permanecer constantes especialmente durante la investigación con el scan. Es muy importante registrar algún cambio del proceso durante el tiempo del *scan*. Esto facilitará la interpretación del perfil del *scanning* si se observan anomalías. El *scanning* por coordenadas es recomendado en columnas empacadas con diámetros de hasta 3 m. aproximadamente. Columnas de diámetros grandes pueden ser aproximadas de manera diferente, desde demasiado grandes en área (especialmente en el centro) no cubierta.

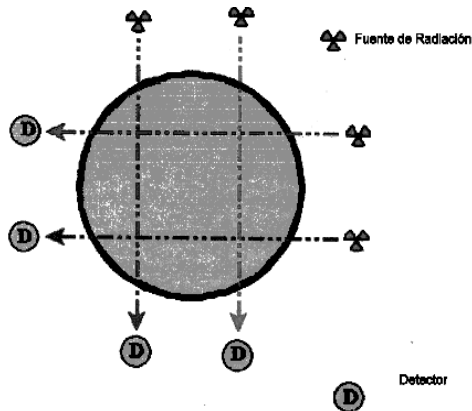


Figura 2: Orientaciones de la cuadrícula de las líneas de barrido.

El *scanning* por coordenadas es también útil para investigar la instalación correcta de distribuidores, así como también la correcta distribución del líquido de alimentación que ingresa.

Un distribuidor irregular puede minar el desempeño de todo el lecho empacado y la columna. Los distribuidores de líquido, deben extender el fluido uniformemente sobre el lecho, resistir obstrucciones y suciedad, y también proporcionar espacio libre para el flujo de gas. Un incorrecto nivel de agua en el distribuidor instalado, el cual es inclinado, puede ocasionar que el flujo del líquido se dé preferentemente en un solo lado de la columna.

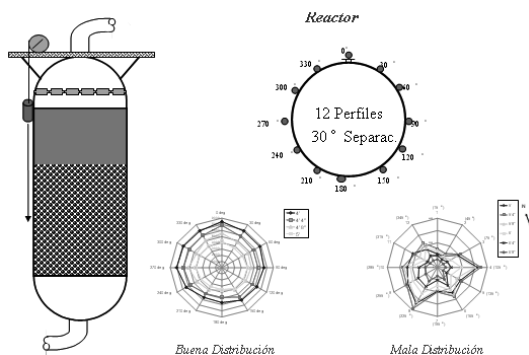


Figura 3: Barrido y distribuciones en una columna empacada típica.

#### 4. Columna de destilación de visco-reducción, depósito de coque

La calidad del producto y problemas de temperatura se pueden evaluar en columna de destilación de visco-reducción. Un *scan* de rayos gamma es por consiguiente llevado a cabo para investigar daño interno en bandeja, bandejas colapsadas y otras anomalías, las cuales pueden afectar el desempeño de la columna. Si el acceso es limitado, el *scan* se puede llevar a cabo a través de los bajantes.

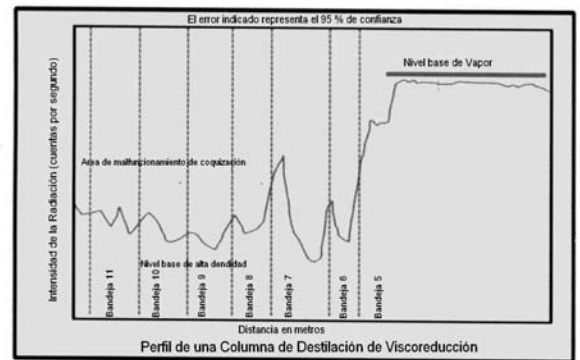
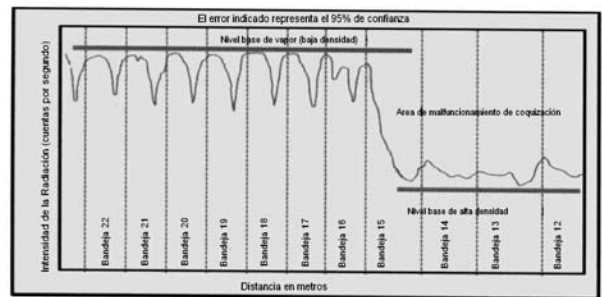


Figura 4: Perfilaje de barrido gamma de una columna de destilación de viscoreducción.

#### 5. Formación de coque

Una columna de destilación donde el coque se forma durante la operación, se estudia también con el método de absorción gamma. Las primeras medidas se realizan después de una minuciosa limpieza de la columna y las mediciones sucesivas se realizan para obtener un cuadro del aumento temporal de coque.

Una fuente de Co de unos 15 mCi se puede utilizar para el *scanning*. La radiación gamma transmitida fue detectada utilizando un detector de centelleo de NaI(Tl). Un analizador discrimina la energía y el conteo se registra en una computadora portátil. El detector y la fuente se desplazan a lados opuestos de la columna utilizando alambres y *winch*es. La tendencia para la acumulación de coque suele ser más o menos lineal.

Desde que la discriminación de la energía fue aplicada, la fórmula básica de absorción fue usada para medir el espesor del coque con buena aproximación:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu\rho x)$$

## 6. Scanning de tuberías

La técnica de *scanning* de tuberías se puede utilizar para detectar:

- Acumulación de sólidos.
- Calidad refractaria y mermas.
- Efectos debido a la viscosidad (*slugging effects*).
- Presencia de vapor y líquido en la línea.

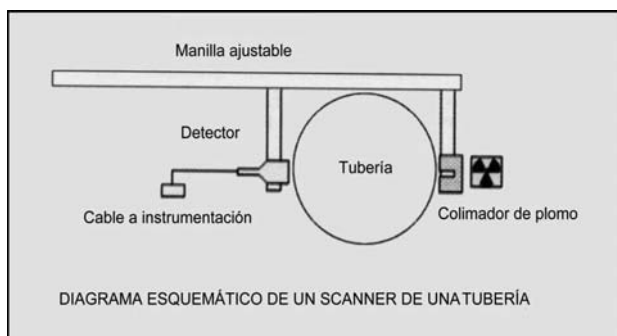


Figura 5: Scanner *gamma* de tubería.

## 7. Investigación por *scan* de rayos gamma en una línea de transferencia de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC)

La principal función de un reactor de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) es convertir mediante vacío gasóleo en gasolina y gas. El catalizador en polvo fino de cerámica facilita los procesos de reacciones de craqueo cuando entra en contacto con hidrocarburos.

La acumulación de depósitos de catalizador de carbón en el interior de las paredes de la línea de transferencia es un problema común en el reactor de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC). El *gamma scanning* de la tubería de la línea de transferencia es requerido para ser ejecutado periódicamente. Se puede utilizar una fuente radioactiva de Cs de 10 mCi para inspeccionar una línea de casi 1 m de diámetro. Esta fuente es apropiada para detectar pequeños cambios en la densidad, la cual puede estar correlacionada con depósitos en la tubería.

La densidad ( $\rho$ ) y el coeficiente de absorción de masa ( $\mu$ ) del depósito de carbón/catalizador para Cs se determinan

experimentalmente en el laboratorio por simulación de depósito de material dentro de la tubería. La radiación transmitida a través de la tubería es una función de la intensidad de la radiación inicial sin absorber (tubería vacía),  $I_0$ . Cualquiera de las variables  $x$  o  $\rho$  pueden ser medidas si una de ellas se mantiene constante.

A partir del análisis de la respuesta de todos los detectores pueden determinarse velocidades, tiempos medios de residencia y características de la distribución del flujo de vapor y catalizador. Esta información puede ayudar al momento de efectuar modificaciones en el diseño para mejorar la productividad del proceso.

Entre la información suministrada por la aplicación de radiotrazadores en plantas de FCC se incluye: velocidades del vapor y catalizador en el reactor, perfiles de distribución de velocidades en el reactor, tiempos medios de residencia del vapor y del catalizador en los ciclones primario y secundario, eficiencia de los ciclones, información sobre la pérdida de catalizador, distribuciones de flujo, tiempo medio de residencia en el regenerador del catalizador y el tiempo de regeneración.

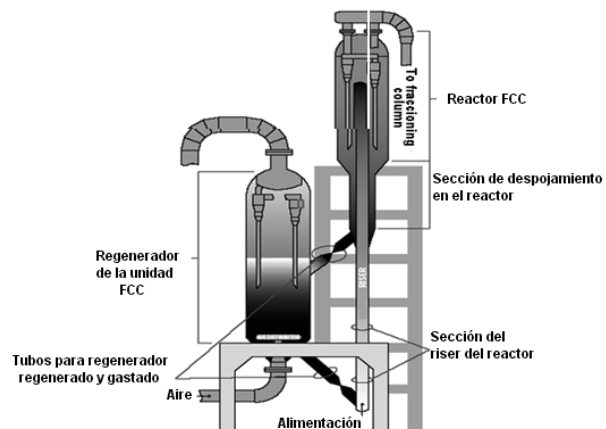


Figura 6: Evaluación de unidades FCC.

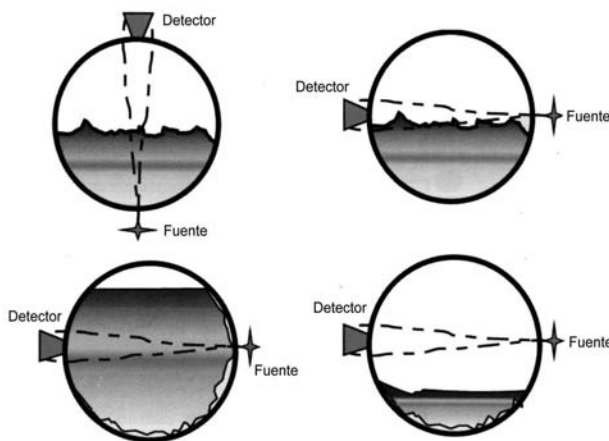
## 8. Comportamiento del transporte gas/crudo a través de tuberías

El petróleo llega desde los pozos productores de un campo petrolero a un tanque colector, llamada Estación Primaria de Recolección. En dicho tanque, el petróleo crudo es primeramente separado por gravedad en lodo, agua, petróleo y gas. De la Estación Primaria de Recolección el crudo es alimentado hacia una Planta de Separación, donde el crudo es también separado en gas y líquido. La tubería de transporte de crudo/gas se inspecciona utilizando un *scanner gamma* para tubería. El diámetro interno de la tubería suele ser del orden de los 60 cm.



Durante el tránsito de la mezcla petróleo-gas a través de la tubería, son producidos *bloques* irregulares de líquido con gas dentro. Estos bloques llevan energía mecánica, la cual causa fuertes vibraciones en la tubería. Esto puede provocar un daño mecánico y peligrosos escapes de gas. Es importante para los operadores de planta identificar los bloques de líquido, su frecuencia, así como también su duración en tiempo y espacio.

La inspección de tuberías se lleva a cabo colocando un sistema fuente-detector aproximadamente a 10 metros antes de la entrada al separador. Una fuente de Co de 10 mCi en un colimador de plomo puede ser muy útil. El sistema fuente-detector se mantiene en posición vertical. La calibración para líquido-crudo y gas se realiza en posición horizontal. Experimentalmente se encuentra una velocidad de conteo que representa a la fase gaseosa y otra a la fase líquida.



**Figura 7:** Inspección con gamma scanning del transporte petróleo/gas a través de una tubería.

Las velocidades de conteo se suelen registrar durante un día (varias decenas de miles de datos) y se convierten en niveles de líquido dentro de la tubería, basadas sobre una ecuación de transmisión gamma. Se obtienen la altura y el intervalo de tiempo de cada bloque líquido, la distribución de los bloques en el tiempo y el comportamiento general del fluido durante 24 horas.

### 9. Detección de niveles e interfases por retrodispersión de neutrones

Neutrones de alta energía o “rápidos” de una fuente radioactiva son dirigidos hacia un tanque u otro contenedor. Neutrones rápidos se ponen lentos principalmente por colisiones con átomos de hidrógeno del material dentro del depósito. Una parte de los neutrones térmicos regresan hacia la fuente. Colocando un detector térmico de neutrones cerca de la

«Es importante para los operadores de planta identificar los bloques de líquido, su frecuencia, así como también su duración en tiempo y espacio.»»

fente, estos neutrones por retrodispersión pueden ser medidos. El número de neutrones por retrodispersión es directamente proporcional a la concentración de átomos de hidrógeno que están frente al detector de neutrones. Como la fuente y el detector se mueven hacia abajo al lado del contenedor, las interfases pueden ser detectadas con tal de que ellos involucren un cambio en la concentración de átomos de hidrógeno.

Mediciones de la retrodispersión de neutrones claramente indica enlaces sólidos/líquido y líquido/líquido y, con interpretación cuidadosa de los datos, los niveles de espuma. La inspección de la interfase entre el crudo y el agua, así como también la cantidad de las fracciones de hidrocarburo es la mejor aplicación de esta técnica.

Las aplicaciones de la técnica de retrodispersión de neutrones incluyen:

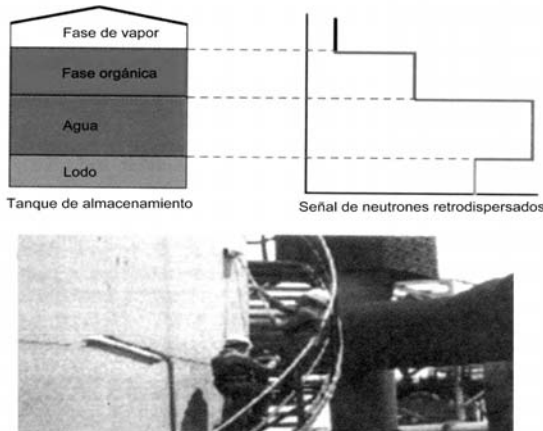
- Inventario de tanques de almacenamiento de crudos sin aforo.
- Calibración sin contacto o medidas convencionales de niveles.
- Determinación de capas de lodo y agua en los tanques.
- Medición de niveles de empacado en las torres de absorción.
- Detección de lechos colapsados en columnas empacadas.
- Medida de los niveles de catalizador en reactores de FCC.

Detectores de neutrones de helio ( $\text{He-3}$ ) o  $\text{BF}_3$  pueden ser usados. El detector de  $\text{He-3}$  tiene una alta eficiencia y es el más utilizado en la medición de neutrones actualmente.

La fuente de neutrones principalmente utilizada es  $\text{Am/Be}$  de 1Ci, la cual produce un flujo de  $2,2 \times 10^6$  n/s con energías desde 0,1 MeV a 11,2 MeV, y promedio de energía de aproximadamente 5 MeV. La fuente de neutrones  $\text{Cf-252}$  es también utilizada, pero es más costosa.

**Tabla 1.** Fuentes selladas de neutrones comúnmente usadas

Fuente de neutrones	$T_{1/2}$	Energía promedio del neutrón (MeV)	Flujo o rapidez de los neutrones
Am 241 – Be	433 a	4,46	$2,6 \times 10^6$ n / C i / s
Cf – 252	2,65 a	2,12	$2,3 \times 10^6$ n / mg / s

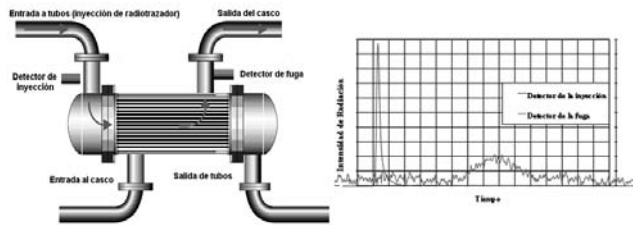
**Figura 8:** Detección de niveles e interfaces utilizando fuentes de neutrones.

### 10. Detección de fugas internas y tiempo de residencia en intercambiadores de calor y sistemas conexos de intercambio de calor (calderas, rehervidores, etc.)

Las evaluaciones con radiotrazadores tienen lugar en situaciones en que la eficiencia de intercambio de calor, dentro de las unidades, se ve afectada por distorsiones del fluido dentro de ellas, debido principalmente a deficiencias de diseño, defectología de las estructuras metálicas internas, tales como baffles, platos, etc., los cuales influyen en la transferencia de calor entre los fluidos que circulan por dichas unidades.

Los datos obtenidos con la introducción de un radiotrazador y el posicionamiento de detectores en puntos estratégicos de equipos comúnmente utilizados en la industria de procesamiento de hidrocarburos, permiten determinar muy rápidamente una eventual fuga que pueda estar ocurriendo, por ejemplo, en intercambiadores de calor, en rehervidores, condensadores y eyectores. Además de la detección de

fugas el método también permite estimar la magnitud de las mismas e incluso determinar pérdidas tan pequeñas como 0,05%.

**Figura 9:** Principio de la determinación de fugas en aparatos de intercambio de calor, utilizando radiotrazadores.

### 11. Próximas aplicaciones: tomografía industrial

La visualización de patrones de flujo es la nueva tendencia en la metodología de trazadores. Existen dos aspectos relacionados a la tomografía industrial aplicada a la industria de refinación de petróleo y petroquímica: estudios de modelamiento de los sistemas complejos de procesamiento de las unidades de procesamiento, con o sin reacción química, e imagenología de flujos bidimensionales obtenidos con trazadores. Grupos especializados peruanos estarán en condiciones de brindar estos servicios en un futuro próximo.

### Bibliografía

- Maggio, G.E., R.J. Guillén y J.G. Graiño (1980). *Medidor de interfaces para torre de agua pesada*. Buenos Aires: CNEA.
- (1999). *Practical Guidebook for Radioisotope-based Technology in Industry*. Viena: IAEA/RCA.
- (2001). *Informe de la Primera Reunión de Coordinadores del Proyecto ARCAL RLA/8/028*. Santiago de Chile: OIEA.
- (2000). *Guía para Aplicaciones Industriales de Radiotrazadores y Fuentes Selladas de Radiación*. Santiago de Chile: OIEA.
- (1973) "Radiation Protection Procedures" en *Safety Series*, N°38. Viena: IAEA.
- Glasstone, S. y A. Sesonske (1968). *Ingeniería de Reactores Nucleares*. Barcelona: Editorial Reverté.

**Recibido** el 1 de marzo del 2017

**Aceptado** el 6 de abril del 2017