

TÉCNICA DE GAMMA SCANNING PARA EL DIAGNÓSTICO EN OPERACIÓN, DE EQUIPOS DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL

Carlos SEBASTIÁN CALVO

Universidad Ricardo Palma

csebastian@urp.edu.pe

RESUMEN

Las técnicas de radioisótopos son herramientas muy útiles para investigar la variedad de problemas en la industria de refinación de petróleo, gas natural y petroquímica. Principales técnicas y aplicaciones están al servicio rutinario a la industria en muchos países.

La inspección con rayos gamma, referida a menudo como “perfilaje de columna”, es una técnica conveniente, rentable, rápida, eficaz y no invasiva, para examinar detalles interiores de una columna de proceso o de un recipiente de reacción química, mientras está en funcionamiento. El perfilaje de una columna permite un ingeniero en refinerías de petróleo, instalaciones de procesamiento de gas y plantas químicas, el estudio de la hidráulica en bandejas o platos o empaques dentro de una columna de destilación en cualquier condición fijada en línea. Proporciona datos esenciales para optimizar el rendimiento de las columnas, prolongar su tiempo de funcionamiento, manejar los efectos de deterioro de desempeño, de deposición de sólidos y suciedad e identificar las necesidades de mantenimiento antes o luego de las paradas programadas. Esta información en línea puede reducir significativamente tiempos de reparación.

PALABRAS CLAVE

Columnas industriales, escaneo, radioisótopo, fuente, detector, empaque, neutrón, retrodispersión.

GAMMA SCANNING TECHNIQUE FOR DIAGNOSIS IN OPERATION, OF PETROLEUM AND NATURAL GAS REFINING EQUIPMENT

ABSTRACT

Radioisotope techniques are highly useful tools to investigate variety of problems in oil & gas refining and petrochemical industry. Major techniques and applications are in routine service to industry of many countries.

Gamma-ray scanning, often referred to as “column scanning”, is a convenient, cost effective, fast, efficient and non-intrusive technique to examine inner details of a process column or a reaction vessel, while it is in operation. Column scanning allows an engineer

in petroleum refineries, gas processing installations and chemical plants, to study tray or packing hydraulics inside a distillation column at any set of on-line condition. It provides essential data to optimize the performance of columns, extend column run times, track the performance-deteriorating effects of fouling and solids deposition, and identify maintenance requirements well in advance of scheduled turnarounds. This on-line information can reduce repair downtimes significantly.

KEYWORDS

Industrial columns, scanning, radioisotope, source, detector, pack, neutrón, backscattering.

Recibido: 08/03/2019
Aprobado: 06/05/2019

1. INTRODUCCIÓN

Los radioisótopos fueron aplicados inicialmente, para resolver problemas en la industria desde mediados del siglo pasado. Desde entonces, su uso se ha incrementado alrededor del mundo, debido a los problemas de fuga que se presentan, y también en la optimización de los procesos en las plantas industriales.

Los beneficios económicos que se derivan de la tecnología de los radioisótopos son considerables, sin embargo, no ha sido reconocida por los gobiernos de países en desarrollo. Cuantificando el desarrollo de los Estados miembros de la Agencia Internacional de Energía Atómica, IAEA por sus siglas en inglés, cerca de cincuenta de ellos tienen grupos en el área de aplicaciones radio isotópicas.

El presente reporte tiene como objetivo presentar lo más reciente en técnicas de *gamma scanning* y retrodispersión neutrónica en la inspección de problemas en columnas, tanques, y en muchos procesos del sector industrial. De manera de no sólo proporcionar una descripción de lo que puede ser llevado a cabo mediante la aplicación de fuentes selladas de radioisótopos, sino también divulgar mediante esta guía basada en la experiencia, todos los aspectos de diseño, llevando a cabo e interpretando los resultados de las aplicaciones industriales.

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.

Las mejores técnicas de fuentes radioisotópicas selladas y sus aplicaciones aquí presentadas son *gamma scanning* de columnas, y niveles y detección de interfases usando técnica de retrodispersión de neutrones. Estas técnicas ampliamente usadas ayudan a obtener una clara "visión interior" de los equipos de tratamiento en los procesos de detección de falla, sin el costo excesivo de una parada. Son más útiles en las técnicas en línea y no invasivas para detectar fallas y optimizar el desempeño de la unidad.

Los ejemplos descritos en este folleto claramente demuestran el valor potencial de las aplicaciones de los radioisótopos en la industria. Probablemente, una relación costo-beneficio promedio de 20:1 – 50:1 es razonablemente representativo. Hay pocas inversiones a corto plazo las cuales darán un retorno de esta magnitud. El costo efectivo de las aplicaciones de los radioisótopos debería ser ampliamente divulgada para motivar a los industriales a que tomen total ventaja de esta tecnología. Siendo el caso, es algo sorprendente que la industria no utilice esta tecnología más extensamente de lo que se ha hecho hasta el presente.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando se interpone un material entre una fuente emisora de radiación gamma y un detector, la intensidad de radiación original resulta reducida en razón de las diversas interacciones que tienen lugar entre los fotones gamma y los átomos del material. A igualdad de otros factores, el grado de atenuación sufrida por la radiación incidente resulta ser función de la densidad del material interpuesto.

Los perfilajes gamma a realizar consistirán en desplazar, en forma simultánea, una fuente radiactiva y un detector a lo largo de la columna bajo estudio. Ambos suelen estar ubicados (aunque no es la única posibilidad) en forma diametralmente opuesta, quedando la columna interpuesta entre ambos. Líquido, gas, espuma, platos, empaques y cualquier otro componente que se encuentre en el interior de la columna atenuarán el haz de radiaciones en diferente grado. En consecuencia, se graficará la respuesta del detector en función de la altura para obtener un perfil vertical de densidad.

La existencia de problemas que afecten el correcto funcionamiento de una torre se traducirá diversas alteraciones en el perfil de densidad. Las causas de mal funcionamiento de una torre que pueden ser identificadas a través del análisis de un perfil gamma.

Se podrán determinar eventualmente las siguientes anomalías: caída de un plato (uno de los platos se desprende total o parcialmente), inundación (una obstrucción impide o dificulta el normal desplazamiento de líquido hacia los platos inferiores), arrastre (la diferencia de presión entre un plato y el inmediato superior es muy elevada, de modo que el líquido que entra es arrastrado hacia arriba mezclando nuevamente gases con líquidos), lluvia (es el desplazamiento del líquido por los ductos de gas, probablemente dañados, de la parte activa de un plato hacia el inferior), formación de espuma (la aparición de burbujas de gas sobre la superficie del líquido dificulta el desplazamiento del gas hacia arriba, reduciendo la calidad de separación del plato).

El dispositivo básico para perfilaje gamma consiste en un sistema de movimiento semi automático que permitirá desplazar en forma simultánea y longitudinal a lo largo de la columna, la fuente radiactiva y el detector de radiaciones, emplazados en forma diametralmente opuesto. El conjunto se completa con un sencillo sistema de adquisición de datos acoplado a una computadora tipo "lap-top" o similar. Las tareas de campo se inician con la instalación del sistema de movimiento consistente en una estructura metálica con dos carretes accionados por sendas manivelas que permiten enrollar o desenrollar un par de cables de acero a los que se sujetarán el portafuentes y la sonda detectora respectivamente. En la parte superior de la torre se fijan dos aparejos a través de los cuales se pasan los cables de acero quedando la fuente y el detector en la parte inferior de la torre en tanto que la estructura con los carretes se ubica a una distancia adecuada como para reducir la dosis de radiación a valores despreciables.

El paso siguiente consistirá en fijar el portafuentes en el extremo de uno de los cables de acero teniendo en cuenta que en el otro ya se encontrará fijada la sonda detectora. Inmediatamente después se efectuará una medición de referencia en una zona adecuada próxima a la base de la columna. Finalmente, se procederá a la obtención del perfil desplazando manualmente sonda y fuente mediante el accionamiento de las respectivas manivelas. Se debe efectuar un movimiento por pasos en intervalos fijos (generalmente de 5 cm o 10 cm, según el tipo y dimensiones de cada columna).

Finalizado el barrido se desmontará el sistema. Las lecturas permanecen almacenadas en la memoria de la computadora para su posterior análisis. La Figura 1 presenta un perfil típico, con las posibles anomalías que se pueden encontrar en él.

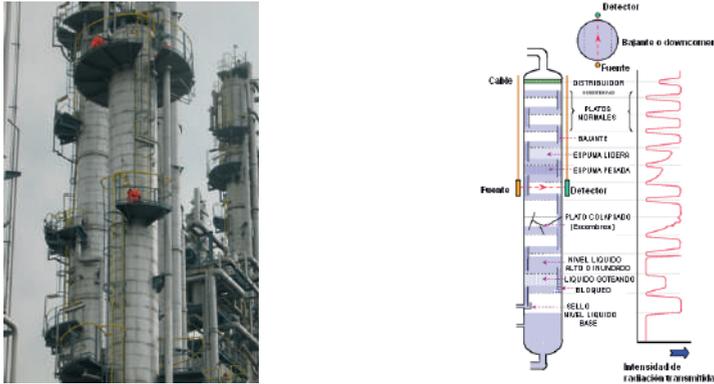


Fig.1. Aplicación de la técnica de gamma scanning y perfil de densidades mostrando las posibles señales de anomalías que se pueden encontrar en una columna de fraccionamiento.

2.1 Gamma scanning de columnas

El *gamma scanning* es la mejor técnica para realizar una inspección interna de algunos equipos en los procesos, sin interrupción de la producción. Un haz colimado de rayos gamma penetrantes se deja pasar través de las paredes de un recipiente, modificado en su interior y saliendo por otro lado. Midiendo la intensidad de la radiación transmitida, información valiosa se puede obtenida acerca de las densidades de los materiales presentes dentro del recipiente. A mayor densidad del material menor es la radiación que pasa a través del mismo, así que los rayos gamma más significativos (intensos) son transmitidos a través del vapor comparado con la fase líquida.

El *scanning* de densidad de columnas de destilación, es la aplicación más frecuentemente usada de esta técnica. Sin afectar la unidad de procesamiento esta técnica confiable y precisa puede ser empleada para determinar:

- El nivel de líquido en platos.
- La presencia o ausencia de estructuras internas, tales como platos, absorbentes (filtros), empaques y distribuidores.
- La extensión y posición de inyección y acumulación de líquido por desbordamiento.
- La posición y la densidad característica de espumas.
- Presencia y formación de coque.
- Localización y extensión de inundaciones.
- Bloqueos causados por: obstrucción de los bajantes, suciedad en los platos, lodo o carga alta de líquido en los platos.

- Nivel de líquido en los platos.

La fuente de rayos gamma y los detectores de radiación son movidos hacia abajo simultáneamente en los lados opuestos de la columna. La intensidad es almacenada a intervalos apropiados y el perfil del estado de operación instantáneo es obtenido graficando la respuesta del detector versus la altura de la columna. La estructura del plato y del líquido en el plato producen alta absorción, mientras que la presencia de la espuma y el arrastre moderan ligeramente el perfil del vapor esperado. Estudios sobre el grado de formación de espuma, pueden ser realizado generando perfiles de densidad a diferentes concentraciones de antiespumante agregado.

Los siguientes procedimientos se realizarán 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 para la fuente y el detector que la alineación sea cada 50 cm del *scanning*.
- Verificar alguna disminución inusual en la intensidad de la radiación debido a obstrucción externa en la columna.

Una típica línea recomendada de orientación del *scan* para las columnas con platos como las que son mostradas en la figura 2.

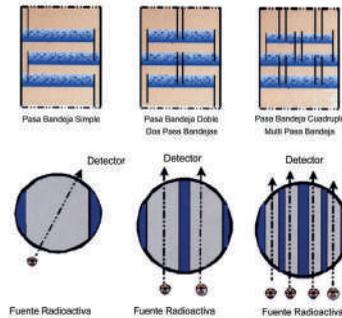


Fig.2. Orientaciones típicas fuente-detector a usar y vista de las líneas de radiación transmitida.

2.1.1 Aspectos metodológicos del *scanning* de rayos gamma

El diseño experimental de un *gamma scanning* se puede observar en la siguiente figura 1:

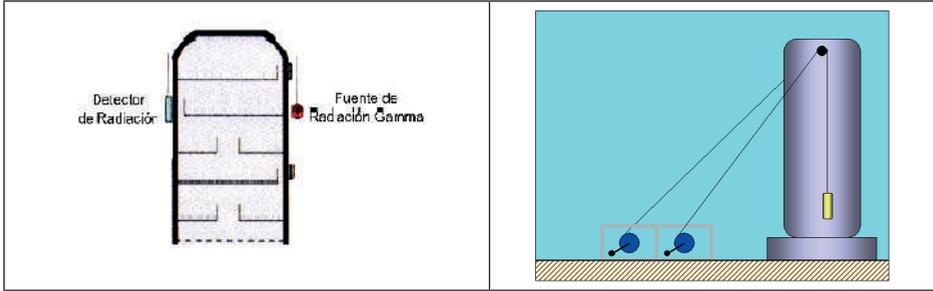


Fig.3. Configuración del sistema fuente-detector en un scanning gamma de una columna.

La fuente radioactiva es colocada dentro de un colimador panorámico (360°) figura 4.

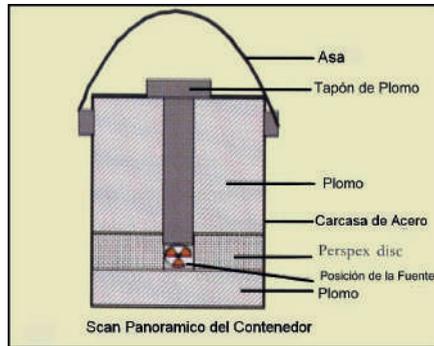
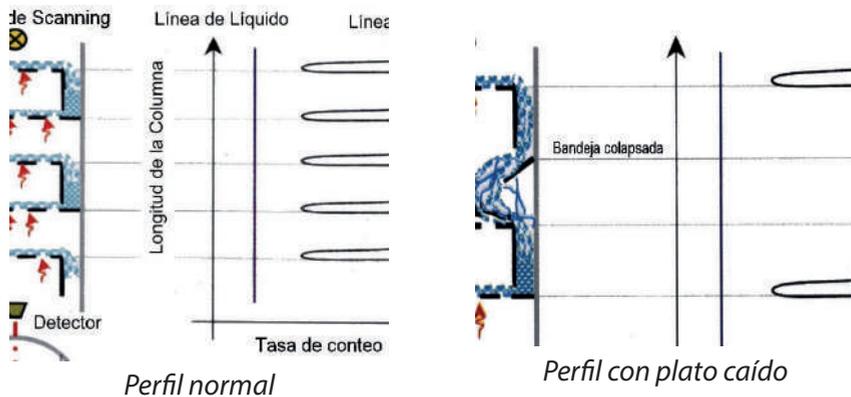


Fig.4. Colimador panorámico de fuente.

Los resultados del *scanning* pueden ser discutidos inmediatamente con los ingenieros de procesos de manera que se pueda realizar la acción correctiva.



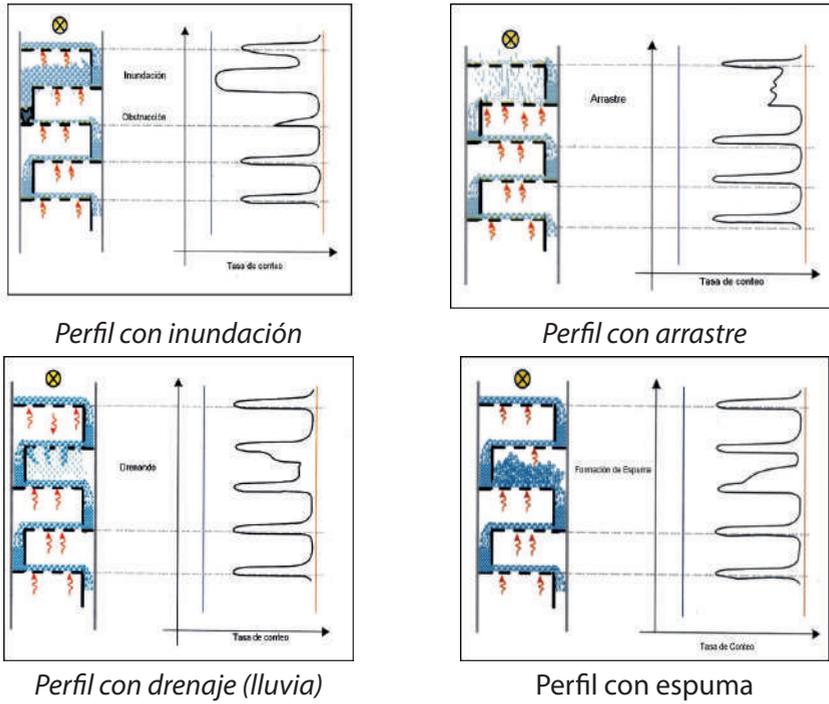


Fig.5. Perfiles típicos en el gamma scanning.

La siguiente información previa es útil:

- perfiles del *gamma scanning* de una columna "vacía" (con toda su estructura interna, pero sin estar operando).
- perfil del *scanning* antes de una parada de mantenimiento.
- perfil del *scanning* después de una parada de mantenimiento cuando la columna está en condición de operaciones normales.

Hay clara diferencia entre un *scan* limpio (seco) y uno normal (húmedo), como se ve en la figura 6.

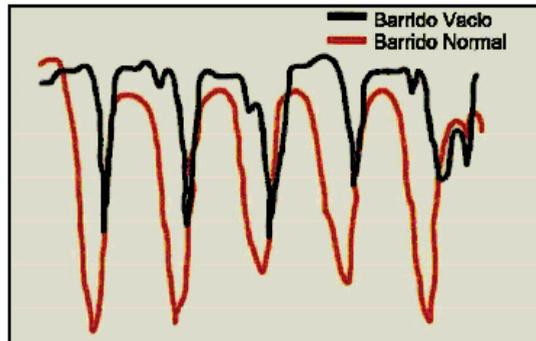


Fig.6. Ejemplo de perfilajes de barrido de vacío (seco) y normal (húmedo)

Esto es muy importante para la comparación que los *scanning* sean llevados a cabo a lo largo de las mismas líneas de *scanning* (líneas entre la fuente radioactiva y el detector). Las medidas pueden ser tomadas a intervalos pequeños (menor o igual a 50 mm).

2.2 Scanning por coordenadas

Algunas columnas a perfilar en esta oportunidad cuentan con lecho fijo o mixto. El *scanning* por coordenadas será el recomendable para las columnas de lecho fijo o relleno. Una orientación típica de líneas coordenadas del *scan* es mostrada en la figura 7. Al menos dos *scannings* serán necesarios para analizar las columnas de lecho fijo. Columnas de diámetros grandes se perfilarán de manera diferente, siendo necesarios al menos cuatro barridos.

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:

- colapsamiento de lechos fijos o
- distribución no uniforme de material de empaque.

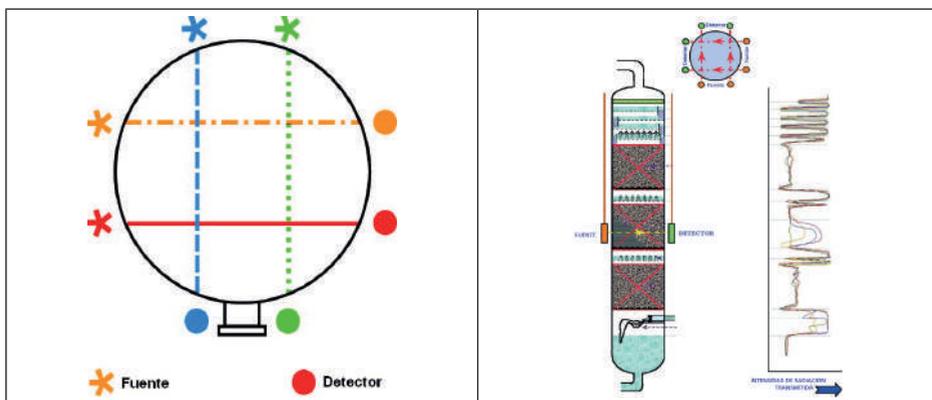


Fig.7. Orientaciones de la cuadrícula de las líneas de barrido, aplicable a columnas de lecho empacado en el scanning por coordenadas.

El *scanning* por coordenadas será útil también para investigar la instalación correcta de distribuidores, así como también la correcta distribución del líquido de

alimentación que entra. Un distribuidor irregular puede minar el desempeño de todo el lecho empacado y la columna. Los distribuidores de líquido, deben distribuir el fluido uniformemente sobre el lecho, resistir obstrucciones y sucio, 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 sea preferentemente en un solo lado de la columna.

2.3 Retrodispersión de neutrones.

Neutrones de alta energía o “rápidos” de una fuente radioactiva son dirigidos hacia un contenedor.

Neutrones rápidos se ponen lentos principalmente por colisiones con átomos de hidrógeno del material dentro del contenedor. Como la fuente y el detector se mueven hacia abajo a ambos lados del recipiente, las interfases pueden ser detectadas dado que ellas involucran un cambio en la concentración de átomos de hidrógeno en el contenido del recipiente. Una parte de los neutrones térmicos se regresan hacia la fuente. Colocando un detector térmico de neutrones cerca de la fuente, 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.

Las mediciones de la retrodispersión de neutrones claramente indica enlaces sólido/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. Con tal de que el contenedor tenga un espesor de pared menor de 100 mm, el uso de neutrones es una técnica rápida y versátil, y es ideal si el acceso a ambos lados del contenedor no es posible.

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.
- Identificar obstrucciones o acumulaciones en tuberías y reactores.
- Medida de los niveles de catalizador en reactores.
- Localizar interfases de agua /compuestos orgánicos.
- Medir niveles de espuma.
- Determinar niveles absorción en torres empacadas.
- Calibrar indicadores de nivel rápida y fácilmente.

Detectores de neutrones de helio (He-3) o BF₃ pueden ser usados. El detector de He-3 tiene una alta eficiencia y es el más utilizado en la medición de neutrones actualmente.

La fuente de neutrones principalmente utilizada es $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ 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 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 / Ci / s
Cf – 252	2,65 a	2,12	$2,3 \times 10^6$ n / mg / s

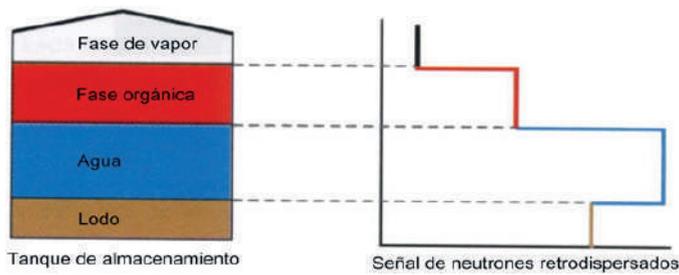


Fig.8. Respuesta del detector en la retrodispersión de neutrones.

La retrodispersión de neutrones también puede ser usada para medir el nivel y la interfase de líquidos transportados en tuberías.

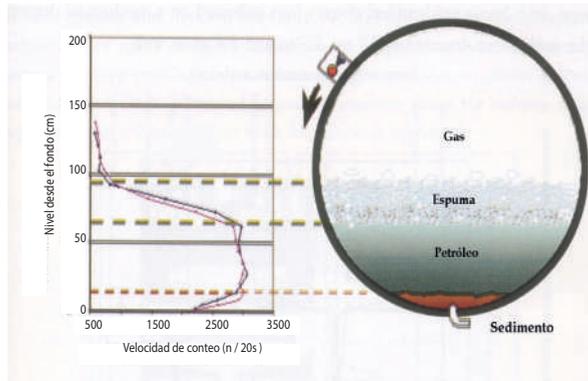


Fig.9. Perfil de la retrodispersión de neutrones dentro de una tubería de petróleo

3. CONCLUSIONES

- a. Los ejemplos descritos demuestran claramente el valor potencial de la aplicación de los radioisótopos a escala industrial.
- b. El *gamma scanning* es la única herramienta de diagnóstico disponible que puede ser aplicada con confianza en cualquier proceso de destilación para obtener el comportamiento hidráulico real del sistema.
- c. El desarrollo de las soluciones planteadas a los problemas de operación industrial mencionados, se puede hacer promocionando, la capacidad que tiene la tecnología de los radioisótopos de proporcionar beneficios económicos sustanciales comparativamente con la pequeña inversión que se hace.
- d. Los argumentos económicos son solo la forma cuantitativa por la cual los expertos en radioisótopos pueden persuadir a los industriales a invertir en la tecnología.
- e. El estudio de los beneficios económicos es importante y trabajadores en este campo podrían esforzarse para evaluarlos y publicar casos exitosos de estudio.

4. REFERENCIAS

- Abdullah, J.B. (2002). Gamma Scanning for Troubleshooting, Optimisation and Predictive Maintenance of Distillation Columns in Petroleum Refineries and Chemical Plants, Proceedings of the International Nuclear Conference 2002, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Charlton J.S. (1986). Radioisotope Techniques for Problem-Solving in Industrial Process Plants. Leonard Hill.
- Glasstone, S., Sesonske, A. (1968). "Ingeniería de Reactores Nucleares". Barcelona: Editorial Reverté.
- IAEA. (2002). Radioisotope Applications for Troubleshooting and Optimizing Industrial Processes, March.
- IAEA. (1973). Safety Series N°38. "Radiation Protection Procedures". Viena.
- Maggio, G.E., Guillen, R.J., Graiño, J.G. (1980). "Medidor de interfases para torre de agua pesada". CNEA (NT 17/80). Buenos Aires.
- Sebastián, C. ET ALL. (2001). "Informe de la Primera Reunión de Coordinadores del Proyecto ARCAL RLA/8/028 – ARCAL LXI" OIEA. Santiago, Chile.
- (2000). "Guía para Aplicaciones Industriales de Radiotrazadores y Fuentes Selladas de Radiación". OIEA-ARCAL XLIII.