

Análisis de una columna desbutanizadora mediante técnica de perfilaje gamma

Óscar Chaverri ¹

Bruno Chiné ²

Mario Conejo ³

En este trabajo se reportan los resultados de un estudio, realizado mediante la técnica no destructiva de perfilaje por rayos gamma, de una columna desbutanizadora en una refinería de petróleo.

Palabras clave

Ensayos no destructivos, aplicaciones de la energía nuclear, técnica de perfilaje gamma, columna desbutanizadora.

Resumen

En este trabajo se reportan los resultados de un estudio, realizado mediante la técnica no destructiva de perfilaje por rayos gamma, de una columna desbutanizadora en una refinería de petróleo. Dicho estudio tuvo entre sus objetivos el de resaltar los beneficios que se derivan de la aplicación pacífica de la energía nuclear, en la determinación de problemas que afectan la eficiencia y seguridad de procesos industriales. En este caso particular, se inspeccionó parte de una torre para la destilación de petróleo, y se determinó la presencia de algunas pequeñas anomalías, aunque el funcionamiento de la columna era correcto y seguro. Cabe recalcar que, por tratarse de una técnica no destructiva y con la posibilidad de medir a través

de la pared de la columna, el ensayo fue realizado sin necesidad de abrir la torre misma o de introducir personal técnico en su interior.

Introducción

En el marco de un proyecto de investigación realizado por la Escuela e Ingeniería de los Materiales en lo referente a los usos y beneficios que derivan de la aplicación de la energía nuclear, se realizó una inspección de un equipo industrial mediante la técnica de diagnóstico nuclear *perfilaje gamma*. Los objetivos de este trabajo eran los siguientes: *a)* propiciar el desarrollo de actividades conjuntas entre la industria, el ITCR y organismos internacionales que cuentan con experiencia en el área de las técnicas nucleares para el control de procesos industriales; *b)* promover la aplicación de la técnica de perfilaje gamma y técnicas nucleares similares, en el estudio de importantes dispositivos industriales, como son torres de destilación,

1. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Apartado 159-7050, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: bchine@itcr.ac.cr.
2. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Apartado 159-7050, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: mconejo@itcr.ac.cr.
3. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Apartado 159-7050, Cartago, Costa Rica. Correo electrónico: ochaverri@itcr.ac.cr.

tuberías, intercambiadores de calor, etc. y demostrar así los beneficios que pueden ser obtenidos del uso pacífico de la energía nuclear.

La técnica seleccionada del perfilaje gamma, que utiliza la emisión de rayos por una fuente de radiación sellada de actividad media baja y la detección posterior por parte de un detector (*sistema fuente-detector*), encuentra muchas aplicaciones en la industria del petróleo y similares. En efecto, cuando se interpone un material entre una fuente gamma y un detector, la intensidad del haz de radiación original registrado por el detector resulta disminuido a causa de las diversas interacciones que ocurren entre la radiación y la materia. Esta técnica de diagnóstico nuclear se basa en este principio y consiste en desplazar una fuente y un detector a lo largo de una estructura cerrada que contiene objetos o materiales en su interior. De esta manera se puede registrar una respuesta que representa el conteo de los rayos gamma que logran atravesar la estructura cerrada y que reflejan su contenido en la forma de un perfil de densidades. Por ejemplo, es muy común la aplicación de este procedimiento para analizar columnas de destilación, niveles de líquidos en estanques, interfaces, presencia de materiales sólidos en fluidos, etc., (1) desde el exterior de la estructura sin interferir con su funcionamiento.

Para aplicar la técnica de perfilaje gamma a un proceso industrial, se decidió seleccionar una columna desbutanizadora relativa a un proceso de destilación para la remoción de gas butano y propano desde una corriente de hidrocarburos, con la finalidad de detectar eventuales problemas que pueden reducir la eficiencia de proceso de destilación. La columna desbutanizadora es una estructura cilíndrica cerrada en la que se realiza una separación física, generalmente entre gas butano y propano que se mueven en la columna hacia arriba y gasolina que, en cambio, viaja hacia el fondo de la torre misma. Esta

separación se logra sometiendo la corriente de hidrocarburos a condiciones de presión y temperatura apropiadas a lo largo de la columna, de modo que la fracción líquida, que es más pesada, baja por gravedad, mientras que la fracción gaseosa, que es más liviana, sube y se condensa en las partes superiores. El concepto es de transferir la parte gaseosa a la corriente que sube y la componente líquida a la corriente que baja, maximizando la superficie de contacto entre las dos fases mediante platos o bandejas (2). Aquí es donde se realiza el contacto mismo entre el gas y el líquido y además donde se presentan la mayoría de los problemas de eficiencia de las columnas de destilación, como son la caída de platos, la presencia de obstrucciones, el mal armado de platos, etc. Estos problemas se prestan para ser estudiados mediante la técnica de perfilaje gamma, pues, a partir de un análisis del perfil experimental de la columna, es posible detectar la presencia de estas anomalías.

Trabajo experimental

La técnica de diagnóstico nuclear fue aplicada a una sección superior de una torre de destilación de una refinería de petróleo de diámetro interior mayor igual a 1,6 m y altura global de 35,885 m, y la altura de la sola base era igual a 5,5 m. La sección superior que contiene 14 platos (del 1 al 14) de un solo bajante, con una distancia entre ellos de 0,61 m, presenta una altura total de 7,93 m, un diámetro interior de 1,2 m y una pared en acero al carbono de espesor igual a 18 mm, recubierta con pintura.

Previamente a la realización del trabajo de campo y con el propósito de determinar algunas variables necesarias para una realización eficiente y segura del trabajo mismo, se realizaron dos pruebas de laboratorio.

La primera prueba consistió en considerar dos parámetros geométricos de la torre

La técnica de diagnóstico nuclear fue aplicada a una sección superior de una torre de destilación de una refinería de petróleo de diámetro interior mayor igual a 1,6 m y altura global de 35,885 m, y la altura de la sola base era igual a 5,5 m.

de destilación, el espesor y el diámetro, con el propósito de estimar si la actividad y la energía de la fuente de radiaciones gamma, así como el sistema global de medición, eran aptos para la realización de este perfilaje industrial. Para evaluar la sensibilidad del equipo de medición, se empleó una fuente radiactiva de Co-60 con una actividad de 15 mCi y, como sistema de registro, un detector específico. Sucesivamente, después de colocar diferentes cuerpos sólidos entre la fuente y el detector (véase fig. 1) y simular así las paredes de la columna o la presencia de un eventual material de densidad conocida, se determinó que el sistema de medición era eficiente y la detección de la radiación gamma, aceptable.

Finalmente se procedió a realizar el perfilaje de la columna de destilación.

Previamente fue señalizada el área de trabajo y fueron montados algunos equipos tales como poleas, cables, indicadores de posición, etc.

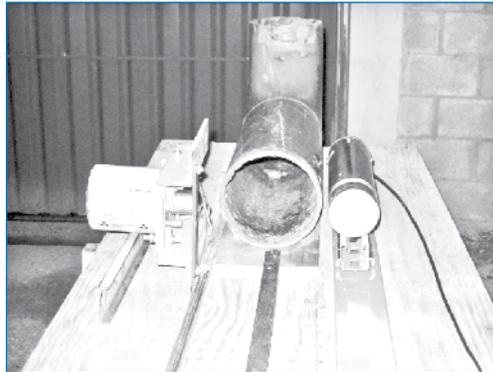


Fig. 1. Sistema fuente-detector usado en el ensayo.

La segunda prueba se llevó a cabo con el fin de calcular los valores de exposición a la radiación emitida por el radioisótopo escogido y asegurar que el personal que realizaría el trabajo de campo fuera expuesto solamente a valores por debajo de los permisibles. Esta prueba fue precedida por un cálculo teórico.

Cálculo teórico de la tasa de radiación

Se consideró un factor de emisión para el Co-60 de 1,3 rem/(Ci h) a un metro de distancia. Luego empleando una fuente de 0,015 Ci, el valor calculado para el proceso

de montaje de la fuente usada fue de 11,05 $\mu\text{Sv/h}$. Este valor resultó ser inferior a los 25 $\mu\text{Sv/h}$, que representa la tasa de radiación a la que puede estar expuesto el personal que manipula fuentes radiactivas, según la normativa internacional.

Medición experimental de la tasa de radiación

Abierto el contenedor de plomo que alberga la fuente, usando los procedimientos sugeridos por el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), es decir uso de pinzas, evitar contacto directo con la fuente, uso de dosímetros personales, etc., se colocó a una cierta distancia desde el detector seleccionado y se registraron los valores de las tasas de radiación; se demostró que tanto los datos de radiación teóricos como los experimentales eran inferiores a los permitidos por la normativa internacional. Cabe señalar que, adicionalmente, en el trabajo de campo se emplearán los detectores de radiación a fin de controlar que los niveles de emisión estén por debajo de los valores permisibles.

Finalmente se procedió a realizar el perfilaje de la columna de destilación. Previamente fue señalizada el área de trabajo y fueron montados algunos equipos tales como poleas, cables, indicadores de posición, etc. Además se instaló el sistema fuente-detector de tal manera que, durante la fase de medición, los dos equipos estuvieran siempre alineados. Sucesivamente se procedió a la toma de datos desde el nivel inferior, situado a una altura de 20,742 m (desde el techo de la base), hasta una altura de 29,042 m, distancia que permitía cubrir toda la sección superior de longitud igual a 7,93 m. Se usó un intervalo de medición de 5 cm y un tiempo de conteo de 2 segundos, igual para todas las estaciones.

Resultados obtenidos

Con base en las mediciones realizadas en la parte superior de la torre, se muestran

en cuadro 1 los datos experimentales obtenidos. Los valores de cuentas por segundo (C/s) se brindan en escala logarítmica decimal (Log [C/s]), para poder atenuar las variaciones de los valores medidos cuando se atraviesan diferentes materiales. La posición en m se brinda mediante los valores de la altura absoluta con respecto al techo de la base inferior de la columna y la distancia relativa a la primera estación de medición. Con los datos de el cuadro 1 se traza en el grafico de fig. 2 el perfil global de la radiación

gamma en Log(C/s) en función de la posición absoluta en m, para la sección superior de la torre en estudio. Como es común en estos casos, se trazan además la *línea del gas*, es decir, los valores de la radiación gamma máximos que se registrarían en una región de solo gas, y la *línea del líquido*, es decir, los valores de respuesta mínima en correspondencia de una región con presencia de solamente fase líquida. Siempre en fig. 2 se indica mediante una línea no continua la posición de los 14 platos de la columna.

Cuadro 1

Valores de la radiación gamma registrados por el sistema fuente-detector a lo largo de la columna de destilación

| Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) | Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) | Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| 20,742 | 0 | 3,71 | 23,542 | 2,8 | 4,01 | 26,342 | 5,6 | 3,75 |
| 20,792 | 0,05 | 3,79 | 23,592 | 2,85 | 4 | 26,392 | 5,65 | 3,18 |
| 20,842 | 0,1 | 3,47 | 23,642 | 2,9 | 3,93 | 26,442 | 5,7 | 3,82 |
| 20,892 | 0,15 | 2,77 | 23,692 | 2,95 | 3,98 | 26,492 | 5,75 | 3,98 |
| 20,942 | 0,2 | 3,34 | 23,742 | 3 | 3,98 | 26,542 | 5,8 | 3,95 |
| 20,992 | 0,25 | 3,84 | 23,792 | 3,05 | 3,99 | 26,592 | 5,85 | 3,88 |
| 21,042 | 0,3 | 3,79 | 23,842 | 3,1 | 4 | 26,642 | 5,9 | 3,96 |
| 21,092 | 0,35 | 3,88 | 23,892 | 3,15 | 3,82 | 26,692 | 5,95 | 3,91 |
| 21,142 | 0,4 | 3,88 | 23,942 | 3,2 | 3,16 | 26,742 | 6 | 3,95 |
| 21,192 | 0,45 | 3,86 | 23,992 | 3,25 | 3,82 | 26,792 | 6,05 | 3,98 |
| 21,242 | 0,5 | 3,91 | 24,042 | 3,3 | 4,02 | 26,842 | 6,1 | 4 |
| 21,292 | 0,55 | 3,92 | 24,092 | 3,35 | 4,04 | 26,892 | 6,15 | 3,98 |
| 21,342 | 0,6 | 3,88 | 24,142 | 3,4 | 4,01 | 26,942 | 6,2 | 3,79 |
| 21,392 | 0,65 | 3,86 | 24,192 | 3,45 | 4,02 | 26,992 | 6,25 | 2,84 |
| 21,442 | 0,7 | 3,72 | 24,242 | 3,5 | 4,03 | 27,042 | 6,3 | 3,15 |
| 21,492 | 0,75 | 3,13 | 24,292 | 3,55 | 3,91 | 27,092 | 6,35 | 3,64 |
| 21,542 | 0,8 | 3,63 | 24,342 | 3,6 | 3,23 | 27,142 | 6,4 | 3,97 |
| 21,592 | 0,85 | 3,92 | 24,392 | 3,65 | 3,85 | 27,192 | 6,45 | 3,99 |
| 21,642 | 0,9 | 3,94 | 24,442 | 3,7 | 4,02 | 27,242 | 6,5 | 3,99 |
| 21,692 | 0,95 | 3,94 | 24,492 | 3,75 | 3,86 | 27,292 | 6,55 | 3,98 |
| 21,742 | 1 | 3,95 | 24,542 | 3,8 | 2,83 | 27,342 | 6,6 | 3,89 |

Continúa

Continuación

| Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) | Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) | Posición absoluta (m) | Posición relativa (m) | Conteo Log (C/s) |
|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|
| 21,792 | 1,05 | 3,94 | 24,592 | 3,85 | 3,1 | 27,392 | 6,65 | 3,64 |
| 21,842 | 1,1 | 3,98 | 24,642 | 3,9 | 3,62 | 27,442 | 6,7 | 3,99 |
| 21,892 | 1,15 | 3,92 | 24,692 | 3,95 | 3,91 | 27,492 | 6,75 | 3,97 |
| 21,942 | 1,2 | 3,86 | 24,742 | 4 | 3,99 | 27,542 | 6,8 | 3,86 |
| 21,992 | 1,25 | 3,92 | 24,792 | 4,05 | 3,98 | 27,592 | 6,85 | 3,37 |
| 22,042 | 1,3 | 3,81 | 24,842 | 4,1 | 3,99 | 27,642 | 6,9 | 3,28 |
| 22,092 | 1,35 | 2,86 | 24,892 | 4,15 | 3,94 | 27,692 | 6,95 | 3,92 |
| 22,142 | 1,4 | 3,21 | 24,942 | 4,2 | 4 | 27,742 | 7 | 3,93 |
| 22,192 | 1,45 | 3,57 | 24,992 | 4,25 | 3,97 | 27,792 | 7,05 | 3,97 |
| 22,242 | 1,5 | 3,9 | 25,042 | 4,3 | 3,99 | 27,842 | 7,1 | 3,93 |
| 22,292 | 1,55 | 3,93 | 25,092 | 4,35 | 3,88 | 27,892 | 7,15 | 3,93 |
| 22,342 | 1,6 | 3,95 | 25,142 | 4,4 | 3,41 | 27,942 | 7,2 | 3,94 |
| 22,392 | 1,65 | 3,91 | 25,192 | 4,45 | 3,26 | 27,992 | 7,25 | 3,8 |
| 22,442 | 1,7 | 3,88 | 25,242 | 4,5 | 3,95 | 28,042 | 7,3 | 3,79 |
| 22,492 | 1,75 | 3,91 | 25,292 | 4,55 | 4,03 | 28,092 | 7,35 | 3,79 |
| 22,542 | 1,8 | 3,94 | 25,342 | 4,6 | 4,03 | 28,142 | 7,4 | 3,69 |
| 22,592 | 1,85 | 3,93 | 25,392 | 4,65 | 3,97 | 28,192 | 7,45 | 3,05 |
| 22,642 | 1,9 | 3,86 | 25,442 | 4,7 | 4 | 28,242 | 7,5 | 2,82 |
| 22,692 | 1,95 | 3,41 | 25,492 | 4,75 | 4 | 28,292 | 7,55 | 3,49 |
| 22,742 | 2 | 3,22 | 25,542 | 4,8 | 4,02 | 28,342 | 7,6 | 3,9 |
| 22,792 | 2,05 | 3,84 | 25,592 | 4,85 | 4,01 | 28,392 | 7,65 | 3,99 |
| 22,842 | 2,1 | 3,99 | 25,642 | 4,9 | 4,01 | 28,442 | 7,7 | 4 |
| 22,892 | 2,15 | 3,99 | 25,692 | 4,95 | 3,91 | 28,492 | 7,75 | 3,99 |
| 22,942 | 2,2 | 3,96 | 25,742 | 5 | 3,62 | 28,542 | 7,8 | 3,86 |
| 22,992 | 2,25 | 3,99 | 25,792 | 5,05 | 2,9 | 28,592 | 7,85 | 3,9 |
| 23,042 | 2,3 | 4,02 | 25,842 | 5,1 | 3,53 | 28,642 | 7,9 | 3,98 |
| 23,092 | 2,35 | 4,03 | 25,892 | 5,15 | 3,91 | 28,692 | 7,95 | 3,99 |
| 23,142 | 2,4 | 4,01 | 25,942 | 5,2 | 3,96 | 28,742 | 8 | 3,91 |
| 23,192 | 2,45 | 4,04 | 25,992 | 5,25 | 3,95 | 28,792 | 8,05 | 3,32 |
| 23,242 | 2,5 | 3,96 | 26,042 | 5,3 | 3,97 | 28,842 | 8,1 | 2,79 |
| 23,292 | 2,55 | 3,66 | 26,092 | 5,35 | 3,93 | 28,892 | 8,15 | 3,65 |
| 23,342 | 2,6 | 2,98 | 26,142 | 5,4 | 3,99 | 28,942 | 8,2 | 3,88 |
| 23,392 | 2,65 | 3,58 | 26,192 | 5,45 | 3,99 | 28,992 | 8,25 | 3,88 |
| 23,442 | 2,7 | 3,97 | 26,242 | 5,5 | 4 | 29,042 | 8,3 | 3,85 |
| 23,492 | 2,75 | 4 | 26,292 | 5,55 | 3,91 | | | |

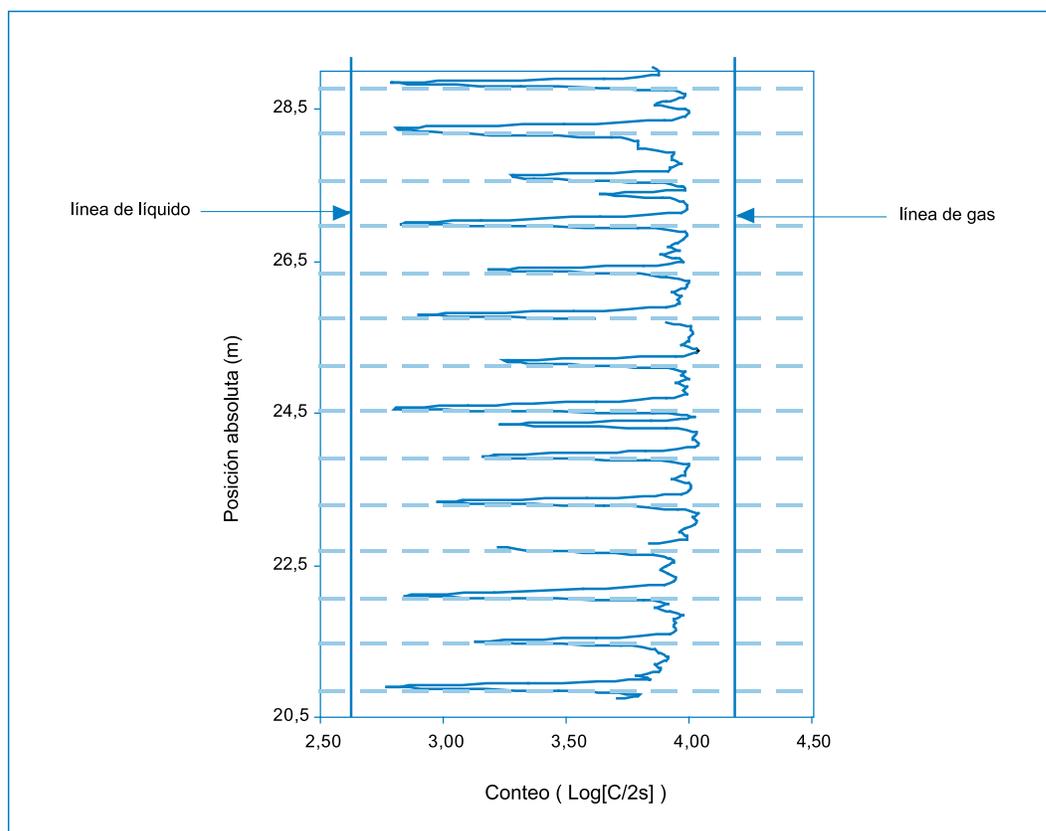


Fig. 2. Perfilaje gamma de la sección superior de la columna de destilación.

Análisis de los resultados

El perfilaje gamma de fig. 2, obtenido en la sección superior de la columna de destilación, muestra fundamentalmente un funcionamiento normal del proceso industrial de separación entre la fase gaseosa, constituida por propano y butano, y la fase líquida, representada por la gasolina. Como es de esperar, los valores de la radiación gamma detectada son menores justo en la superficie superior de los platos donde se encuentra la gasolina líquida y más altos en las otras regiones ocupadas por la fase gaseosa de butano y propano. El perfil demuestra que hay ausencia de problemas serios ocasionados, por ejemplo, por mal montaje o caída de

platos. Con el propósito de determinar la eventual presencia de anomalías menores y analizar con más detalle el estado de funcionamiento de los diversos platos de la columna de destilación, se brindan en fig. 3 los perfiles de la radiación gamma para las posiciones que interesan respectivamente, los platos del 1 al 5, del 5 al 8, del 8 al 11 y del 11 al 14.

Se observa que solamente entre los platos 2 y 3 [véase fig. 3 (a)] existe una distorsión con respecto a un patrón estándar, que podría ser atribuido a algunas modificaciones en la construcción de la columna de destilación, como, por ejemplo, la presencia de nuevas soldaduras, tornillos, etc., no reportada en los planos.

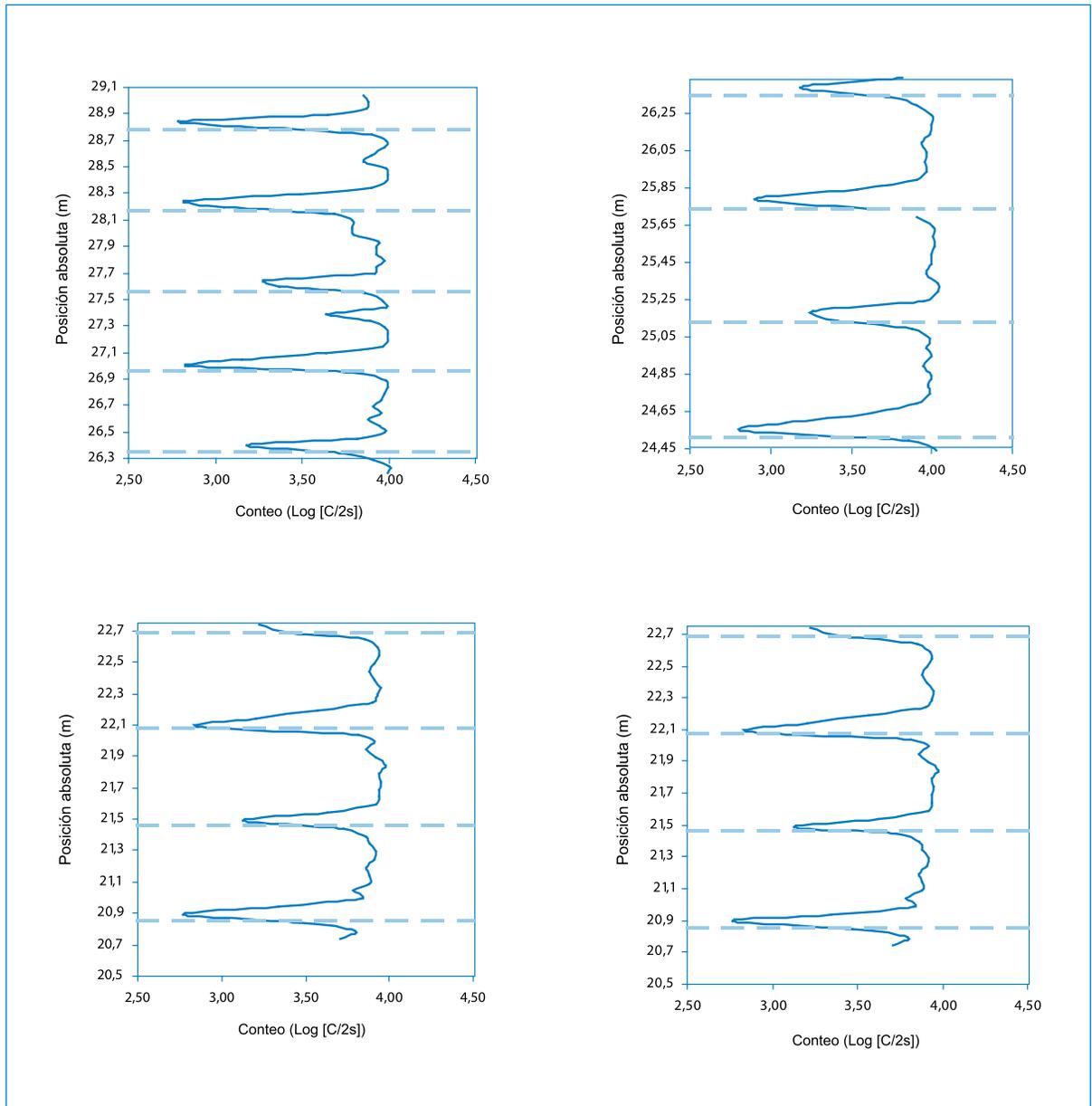


Fig. 3. Detalles del perfilaje gamma para los platos de la columna de destilación: (a) platos del 1 al 5; (b) platos del 5 al 8; (c) platos del 8 al 11; (d) platos del 11 al 14.

Conclusiones

Con el análisis de la columna desbutanizadora mediante la técnica de diagnóstico nuclear *perfilaje gamma*, se ha podido verificar que ella presenta enormes ventajas comparativas con respecto a otros

procedimientos de inspección. En efecto, se trata de un método rápido, que no requiere interrumpir el funcionamiento de una planta y permite realizar las mediciones de interés directamente, a través de las paredes del equipo en examen. Durante la efectucción del ensayo, se ha

Mediante este trabajo, hemos obtenido el perfilaje gamma de una sección completa de una columna desbutanizadora y hemos podido verificar que se encontraba operando normalmente.

comprobado que los valores de exposición a la radiación del personal que lo realiza son mínimos, casi nulos, mucho menor es que los valores de radiación natural que recibimos normalmente desde el suelo, las viviendas, el espacio y los alimentos, entre otros. Mediante este trabajo, hemos obtenido el perfilaje gamma de una sección completa de una columna desbutanizadora y hemos podido verificar que se encontraba operando normalmente. Sin embargo, ha sido detectada una pequeña anomalía entre el plato 2 y 3, de tal manera que se sugiere efectuar una inspección visual local y reportar en el plano de la columna esta modificación.

Agradecimientos

Los autores desean dar las gracias al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) a través del proyecto COS/8/009. También se agradece la colaboración de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Bibliografía

- ARCAL, Proyecto RLA/8/024 (Arcal XLIII), "Aplicaciones Industriales de la Tecnología de Trazadores y Sistema de Control Nucleónico", 2000, pp. 163-180.
- R. Perry and Don Green, "Perry's Chemical Engineering Handbook", McGraw Hill, 1993, pp 13.75-13.80.