

# Evaluación del sistema de canalización de efluentes líquidos de la planta de tratamiento de desechos radiactivos

Isis M. Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Eduardo Capote Ferrera, Jorge Carrazana González, Gloria Rodríguez Castro, Niurka González Rodríguez, Mercedes Salgado Mojena, Rafael Castillo Gómez, Juan M. Hernández García

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones  
Calle 20 No.4113 e/41 y 47, Playa  
cphrisis@cenai.inf.cu

## Resumen

Un requisito de la licencia de operación de las instalaciones de gestión de desechos radiactivos del país, es la realización de trabajos de mantenimiento, inspección y ensayo, apropiados para preservar los sistemas tecnológicos importantes para la seguridad radiológica. Una de las pruebas a ejecutar es la comprobación del adecuado funcionamiento del sistema de canalización de los residuos líquidos que se generan en la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos, de forma tal que se asegure que todos estos residuales pasen al tanque de retención destinado a este fin, para su posterior evaluación y decisión de las vías adecuadas de gestión de estos residuos líquidos. Con esta finalidad, se seleccionó el empleo de radiotrazadores, en específico el isótopo  $^{99m}\text{Tc}$ , obtenido a partir de una elusión de un generador  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , para evaluar si las descargas de efluentes líquidos desde los diferentes puntos de la Planta confluyen en el tanque de retención. Igualmente, se pudo ajustar el tiempo de homogenización del líquido contenido dentro del tanque de retención, condición indispensable para que la toma y análisis de muestras de estos desechos sea confiable a la hora de evaluar los niveles de actividad presentes en estos.

*Palabras clave:* residuos líquidos; técnicas de trazadores; gestión de residuos; licencias; tecnecio 99.

## Evaluation of the liquid effluent channeling system of the radioactive waste treatment plant

### Abstract

A requirement of the operating license of the National Radioactive Waste Management Facilities is to carry out maintenance, inspection and testing work, appropriate to preserve the technological systems important for radiological safety. One of the tests to be carried out is to check the proper functioning of the pipeline system for the liquid waste generated in the Radioactive Waste Treatment Plant, in order to ensure that all these residuals drain to the collection tank for further evaluation and decision of the appropriate ways of managing of these liquid wastes. For this purpose, the use of radiotracers, specifically the  $^{99m}\text{Tc}$  isotope, obtained from an elution of a  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  generator, was selected to evaluate whether the liquid effluent discharges from the different points of the plant drain to the collection tank. It was also possible to adjust the homogenization time of the liquid contained within the collection tank, this is an essential condition for taking and analysis of samples of these wastes to ensure the evaluation of their activity levels is reliable.

*Key words:* liquid wastes; tracer techniques; management wastes; licenses; technetium 99.

## Introducción

La Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (PTDR) de baja y media actividad del país posee un sistema de canalización para el control de los efluentes líquidos procedentes de todas sus áreas controladas, donde pueden generarse desechos líquidos contaminados con elementos radioactivos producto del trabajo

propio de la instalación [1]. La PTDR lleva más de 20 años de explotación y después de todo este tiempo de funcionamiento era necesario, por los requerimientos de seguridad de esta instalación, realizar una evaluación del estado de este sistema de canalización de efluentes líquidos potencialmente contaminados, con la finalidad de determinar que este mantuviera su integralidad y no presentara fugas [2].

Para el estudio del sistema se decidió emplear un radiotrazador, en específico el isótopo  $^{99m}\text{Tc}$ , obtenido a partir de una elusión de un generador  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , para evaluar si las descargas de efluentes líquidos desde los diferentes puntos de la planta confluían en el tanque de retención (TR). Igualmente el estudio realizado, permitió ajustar el tiempo de homogenización del líquido contenido dentro del TR, condición indispensable para que la toma y análisis de muestras de estos desechos sea confiable a la hora de evaluar la vía de gestión de estos residuales.

## Materiales y métodos

El sistema de canalización de la PTDR está formado por una red de tuberías soterradas, que llevan los líquidos potencialmente contaminados desde los puestos de trabajo donde se generan hasta un tanque de retención (TR), donde son recogidos estos efluentes. Este tanque cuenta con las facilidades necesarias para el muestreo y análisis de los efluentes para decidir su gestión posterior: vertido al medio ambiente o su recogida para gestión como desechos radiactivos. Entre estas facilidades se encuentra un sistema que permite la homogenización de los efluentes en el tanque, el muestreo y la recogida de estos en caso de que no puedan ser vertidos al medio ambiente.

Para la comprobación del adecuado funcionamiento del sistema de canalización de los efluentes líquidos contaminados que se generan en la PTDR, se seleccionó un método basado en el empleo de radiotrazadores, en específico se utilizó el  $^{99m}\text{Tc}$ . Para la ejecución del estudio, se partió de una elusión de 10mL de un generador de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , con una actividad absoluta de 20,29GBq (550mCi).

La actividad de  $^{99m}\text{Tc}$  a inyectar se estimó a partir de la ecuación No.1:

$$A = 5 \frac{2,8\sqrt{N_f}}{\varepsilon t_m V_m e^{-\lambda t}} V \quad (1)$$

donde:

$\varepsilon$ : eficiencia de medición;

$N_f$ : número de conteos del fondo;

$t_m$ : tiempo de medición;

$V_m$ : volumen medido;

$\lambda$ : constante de semidesintegración radiactiva;

$t$ : tiempo estimado del experimento;

$V$ : volumen total a marcar.

Se consideraron además las dimensiones del TR y se estimó un flujo aproximado de entrada al tanque, teniendo en cuenta el diámetro de las tuberías. De estos cálculos resultó que se necesitaba inyectar en cada punto una actividad de aproximadamente 20 MBq (550 $\mu$ Ci).

Para el estudio se llevaron a cabo mediciones in situ, para los cual se usaron tres detectores waterproof de NaI (TI) acoplados al sistema de adquisición de datos CAESAR 12; la eficiencia del sistema de medición se estimó por medio de una simulación Montecarlo, usando el código DETEFF [3]. Los detectores se colocaron en tres posiciones de interés dentro del sistema estu-

diado: detector No1, sumergido en el líquido contenido dentro del TR, para evaluar la homogeneidad de este y el tiempo requerido para alcanzar un nivel de homogeneidad suficiente para la toma de muestras representativas de los efluentes líquidos; detector No.2, ubicado a la entrada del TR, indicando el paso del trazador al mismo; detector No.3, ubicado en un registro central junto a la puerta de entrada de los desechos a la PTDR, por donde se suponía debían pasar todos los residuales líquidos antes de llegar al TR. Las mediciones con este detector No.3 tenían como finalidad comprobar que efectivamente todas las descargas confluían en este registro. La adquisición de datos comenzó cinco minutos antes de cada inyección para coleccionar una data suficiente de valores para caracterizar el fondo radiológico.

De igual modo se seleccionaron cuatro puntos de inyección, correspondientes a los diferentes lugares por donde pueden verterse residuales líquidos contaminados: El punto de inyección 1 se ubicó en el área de descontaminación de vehículos y de objetos de grandes dimensiones. Al punto 2 confluyen por lo general líquidos generados de la limpieza de las áreas aledañas. El punto 3 se ubicó en el fregadero del laboratorio, donde se realiza la descontaminación de objetos pequeños, lavado de guantes, etc. El punto de inyección 4 se localiza en la ducha de la esclusa sanitaria, destinada a la descontaminación del personal (ver figura 1). La inyección del radiotrazador al sistema se realizó en todos los casos de forma instantánea con el empleo de una jeringa.

Antes y durante cada inyección, se hizo circular agua continuamente desde cada uno de los puntos de inyección, hasta la comprobación del paso del trazador al TR (señal del detector No.2). Tomando en consideración la distancia entre el 4to punto de inyección y el TR, se decidió en este caso inyectar el doble de la actividad estimada para prevenir la adsorción del material radiactivo en las tuberías y asegurar una medición confiable.

El análisis de las mediciones se realizó siguiendo lo descrito en la referencia [4]. Para la estimación del tiempo óptimo de homogenización del líquido en el TR, se tomó en consideración el momento en que las cuentas por minutos obtenidas de las señal del detector No.1, no sobrepasaron en tres veces la desviación típica del promedio de las mediciones, es decir un 99% de certeza.

En paralelo a las mediciones in situ, se tomaron muestras de los efluentes líquidos contenidos en el TR luego de cada inyección, para su medición en condiciones de laboratorio. Estas mediciones tenían como finalidad, comprobar que el aporte de radiactividad en los efluentes provenía solamente del radiotrazador inyectado, desechando una posible contaminación proveniente de operaciones anteriores. Previo al muestreo de los efluentes del TR se homogenizó su contenido, empleando el sistema instalado con esta finalidad.

Para las mediciones de las muestras tomadas, se instaló en el laboratorio de la PTDR un sistema gamma espectrométrico con detector NaI de la marca scintiSPECT, acoplado a una PC portátil y el análisis cuantitativo se realizó con el software comercial SODIGAM

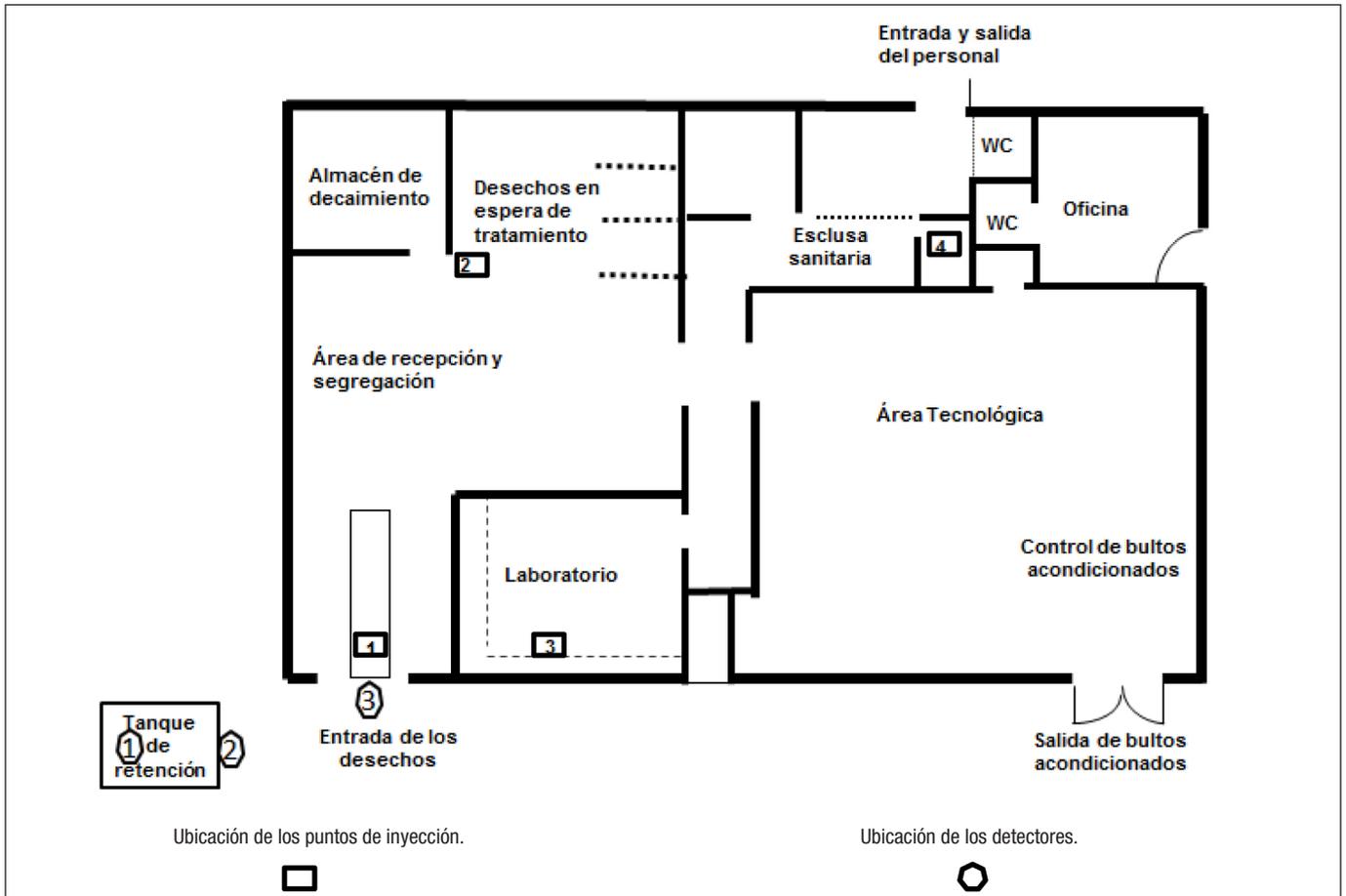


Figura 1. Esquema de la PTDR, ubicación de los puntos de inyección y detectores.

[5]. Se tomó en consideración para el cálculo de la concentración de actividad el fotopico del  $^{99m}\text{Tc}$  de energía 140,5KeV y salida gamma de 0,885. Se obtuvo una curva de calibración para la eficiencia aplicando simulación por Montecarlo [5]. Los frascos colectores de muestra se señalaron para asegurar un volumen fijo de 160mL. El valor de concentración de actividad medido se corrigió a la fecha de referencia de elusión del generador  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , para desechar el efecto del decaimiento radiactivo.

## Resultados

En la figura 2 se pueden apreciar la representación gráfica de los datos recolectados por el sistema de medición in situ para las cuatro inyecciones efectuadas y los tres detectores de NaI empleados. De las mediciones in situ que se llevaron a cabo, la señal del detector No.1, ubicado dentro del TR, permitió establecer el tiempo de homogenización del líquido luego de cada inyección. La

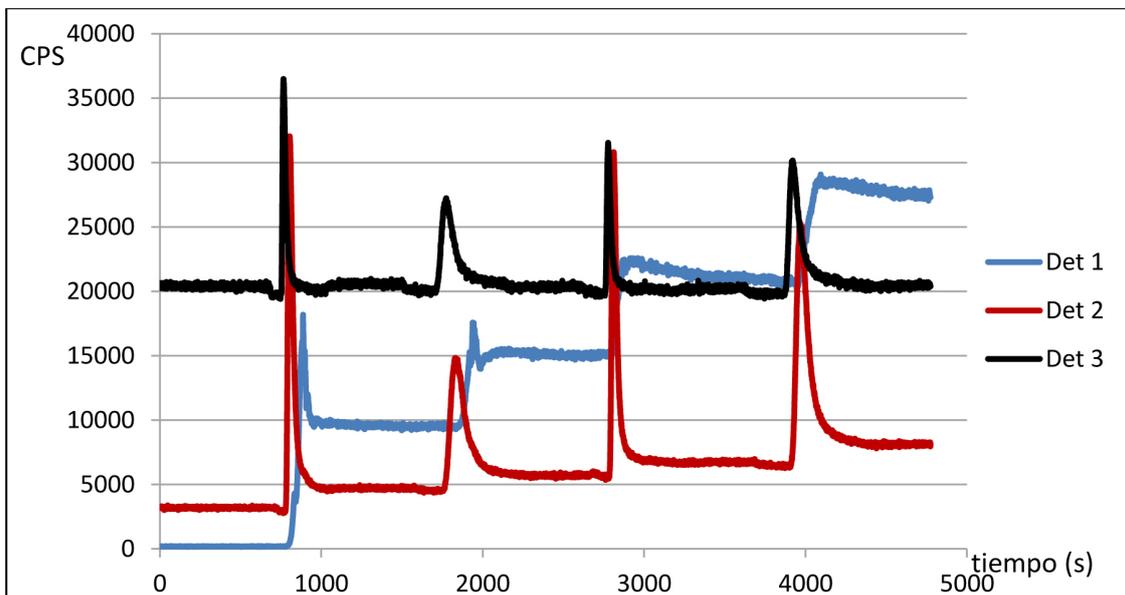


Figura 2. Espectros resultantes de las mediciones in situ realizadas.

señal obtenida del detector No.2, ubicado en la tubería de entrada al TR, se usó como indicación del paso del trazador hacia el tanque luego de cada inyección. Las mediciones del detector 3, ubicado en el registro que se encuentra junto a la puerta de entrada de los desechos a la PTDR, por su cercanía al punto de inyección No.1, se tomó como referencia para cuantificar la señal de las inyecciones realizadas.

Como puede apreciarse de la figura 2, el nivel de fondo medido por el detector No.3 es elevado, lo que conlleva a concluir que existe una contaminación de las tuberías producto de su explotación por más de 20 años. Por su parte, los resultados de las mediciones gamma espectrométricas de las muestras tomadas luego de cada inyección, constataron la presencia únicamente de <sup>99m</sup>Tc. De estos resultados se pudo inferir que la contaminación existente en las tuberías no es removible y por ende no afectó los resultados del estudio realizado.

Si tomamos en consideración el cálculo del área bajo los picos de los espectros obtenidos por el detector No.2 y el detector No.3, se puede hacer un balance de masa de la actividad inyectada y recuperada en cada punto estudiado (tabla 1).

**Tabla 1.** Balance de masa de la actividad a partir de las mediciones in situ.

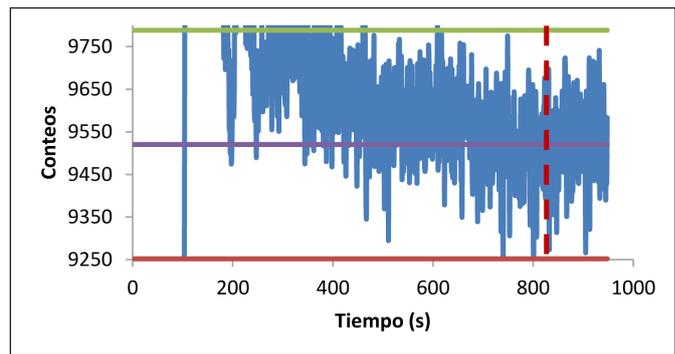
Punto de inyección	Área bajo pico (detector No.3)	Área bajo pico (detector No.2)
1	493685 ± 703	1232415 ± 1110
2	517840 ± 719	1207612 ± 1099
3	505449 ± 711	1234606 ± 1111
4	1021408 ± 1011	2436209 ± 1561

Se consideró la inyección en el punto 1, por su cercanía al TR, como el pico de referencia del 100% de la actividad inyectada, pudiendo entonces concluir de los resultados de la tabla 1, que la actividad inyectada en los diferentes puntos pasa íntegramente al TR. Estas conclusiones son corroboradas por las mediciones tanto del detector No.2 como del detector No.3. Ahora, como podemos observar en la figura 2, los resultados obtenidos por ambos detectores no se pueden comparar entre sí debido a la imposibilidad de posicionar los detectores en la misma geometría de medición, dada las características del sistema estudiado.

La señal del detector No.3, permitió demostrar a su vez, que en el registro donde se encontraba ubicado el detector, confluyen todos los efluentes líquidos de la PTDR antes de verter al TR.

A partir del espectro obtenido del detector No.1 fue posible obtener el tiempo mínimo para alcanzar la homogenización del líquido contenido en el TR (ver figura 3, donde con una línea discontinua vertical se ha señalado este tiempo). El tiempo de homogenización estimado fue aproximadamente de 14 min, resultado que confirma que el procedimiento para el muestreo que se realiza en la instalación es adecuado, ya que se homogeniza el contenido del TR por 30 minutos antes de tomar las muestras para su caracterización, toda vez que

se considera que el tanque puede estar a su capacidad máxima permitida.



**Figura 3.** Cola del espectro del detector No.1 durante la primera inyección.

### Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede llegar a las conclusiones siguientes:

- Toda la actividad inyectada en los diferentes puntos de vertido de efluentes líquidos de la PTDR pasa al TR, con lo que se puede afirmar que el sistema de canalización de estos efluentes mantiene su integridad y no presenta fugas.
- En el registro central, ubicado junto a la puerta de entrada de los desechos a la PTDR, confluyen todos los líquidos vertidos en los diferentes puntos de descarga, antes de pasar al TR.
- El tiempo de homogenización de los residuales líquidos dentro del TR se estimó en 14 minutos aproximadamente. Hay que considerar que este tiempo está relacionado con el volumen total contenido en el TR durante los estudios realizados.
- Las tuberías del sistema presentan una contaminación producto de su explotación por más de 20 años; esta contaminación no es removible con agua en las condiciones normales de trabajo.

### Referencias bibliográficas

- [1] Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR). Descripción de los trabajos de Caracterización Radiológica, Descontaminación y Reparación del Tanque de Retención de Efluentes Líquidos de la PTDR. Informe Interno del Servicio de GDR. CPHR. 2007
- [2] IAEA. Leak detection in heat exchangers and underground pipelines using radiotracers. IAEA, Vienna 2009. Training course series No. 38.
- [3] Cornejo Díaz N, Jurado Vargas M. DETEFF: an improved Monte Carlo computer program for evaluating the efficiency in coaxial gamma-ray detectors. Nuclear Instruments and Methods A. 2008; 586(2): 204-210.
- [4] IAEA. Radiotracer applications in industry - a guidebook. Technical reports series No. 423. Vienna: IAEA, 2004.
- [5] Quick Guide to GAMMA-W and SODIGAM for Windows [página web]. Disponible en: www.westmeier.com.

**Recibido:** 11 de mayo de 2021

**Aceptado:** 12 de julio de 2021