

Determinación de los patrones de comportamiento dinámico de sistemas de tratamiento de aguas residuales, empleando radiotrazadores

✉ Eduardo A. Capote Ferrera¹, ✉ Isis Ma. Fernández Gómez¹, ✉ Milagros Derivet Zarzabal¹,
✉ Jorge A. Carrazana González¹, ✉ Miguel Ángel Bravo Leal¹, ✉ Yusleidy M. Cordovi Miranda¹,
✉ Ramón L. Rodríguez Cardona²

¹ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR) / Calle 20 No.4113 e/41 y 47, Playa

² Agencia Energía Nuclear y Tecnología de Avanzada (AENTA)

capote@cphr.edu.cu

Resumen

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad y repercute directamente en el beneficio de la calidad de las aguas, al evitar su deterioro ambiental y paisajístico. El país ha venido instalando diferentes sistemas de tratamiento de residuales líquidos, tanto urbanos como industriales, para hacer frente a la degradación de los sistemas ambientales marino, costero, fluvial y urbano, causada por el vertido directo de las aguas residuales al ambiente. En la actualidad son varias las tecnologías que se aplican, dependiendo principalmente de los volúmenes de aguas residuales a tratar. Entre las tecnologías instaladas, se encuentran los biodiscos, que son instalaciones de discos con superficie cubierta de biomasa en condiciones aerobias que, en régimen continuo, consumen la materia orgánica presente en el agua residual afluente y los sedimentadores lamelares, que tienen la función de separar los elementos semipesados y pesados en suspensión, que contienen las aguas residuales. En el presente trabajo se determinan los patrones de comportamiento dinámico de estas dos tecnologías instaladas en una estación depuradora de aguas residuales, mediante el empleo de radiotrazadores.

Palabras clave: técnicas de trazadores; aguas residuales; procesamiento de residuos; yodo 131; tratamiento del agua.

Determination of the dynamic behavior patterns of wastewater treatment systems, using radiotracer

Abstract

The treatment of wastewater is a necessary and legally required reality, which has a direct impact on the benefit of water quality, by avoiding its environmental and landscape deterioration. The country has been installing different urban and industrial liquid waste treatment systems to deal with the degradation of marine, coastal, river and urban environmental systems, caused by the direct discharge of wastewater into the environment. Currently there are several technologies that are applied, depending mainly on the volumes of wastewater to be treated. Among the installed technologies, there are the biodiscs, which are installations of discs with a surface covered with biomass under aerobic conditions that, continuously, consume the organic matter present in the influent wastewater and the lamellar settlers, which have the function of separating the semi-heavy and heavy elements in suspension, which contain wastewater. In the present work, the dynamic behavior patterns of these two technologies installed in a wastewater treatment plant with the use of radiotracers are determined.

Key words: tracer techniques; waste water; waste processing; iodine 131; water treatment.

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad y repercute directamente en el beneficio de la calidad de las aguas, al evitar su deterioro ambiental y paisajís-

tico. El país ha venido instalando diferentes sistemas de tratamiento de residuales líquidos, tanto urbanos como industriales, para hacer frente a la degradación de los sistemas ambientales marino, costero, fluvial y urbano, causada por el vertido directo de las aguas residuales

al ambiente. En la actualidad son varias las tecnologías que se aplican, dependiendo principalmente de los volúmenes de aguas residuales a tratar [1].

Entre las tecnologías para el tratamiento de residuales líquidos instaladas en el país en la actualidad en base a sistemas biológicos, se encuentran el biodisco y el sedimentador lamelar. Los biodiscos son instalaciones de discos con superficie cubierta de biomasa en condiciones aerobias que, en régimen continuo, consumen la materia orgánica presente en el agua residual afluyente. Esta es una parte de las tecnologías de tratamiento biológico secundario del tipo de crecimiento de biomasa adherida a un soporte, o reactor de película fija. El biodisco desde el punto de vista estructural consiste en placas sintéticas que rotan montadas sobre un eje horizontal a velocidad variable, sumergidas parcialmente en un tanque donde está contenida el agua residual [2].

Por otra parte, la sedimentación es el proceso unitario más utilizado para realizar la separación sólido-líquido. En el caso de los sedimentadores lamelares [3], estos tienen la particularidad de que aumenta la superficie específica de contacto, provocando el aumento de la velocidad de separación de las partículas en suspensión y por lo tanto, acelerando el proceso de sedimentación.

El objetivo del presente trabajo estuvo encaminado a determinar los patrones de comportamiento dinámico de estas dos tecnologías instaladas en estaciones depuradoras de aguas residuales, mediante el empleo de radiotrazadores.

Materiales y métodos

Se estudió un sistema conformado por un biodisco de 28 m³ y un sedimentador lamelar de 16.8 m³, empleando como radiotrazador el ¹³¹I en forma de yoduro de sodio disuelto en un medio acuoso.

Se realizó una inyección instantánea del radiotrazador a la entrada del sistema biodisco-sedimentador lamelar, para estudiar el patrón de flujo dinámico de ambos sistemas a tiempo real, tomando en consideración el volumen total de los dos sistemas a estudiar.

Para detección del radiotrazador se emplearon tres detectores a prueba de agua de NaI (TI) 4x4, acoplados a un sistema de adquisición de datos CAESAR12 y calibrados usando simulación MonteCarlo con el código de cálculo Deteff [4]. Los detectores se ubicaron en las siguientes posiciones:

- Detector No.1 a la entrada del biodisco, para marcar el tiempo cero de la inyección.
- Detector No.2 a la salida del biodisco (entrada al sedimentador lamelar), para evaluar el tiempo de residencia del residual en el biodisco.
- Detector No.3 a la salida del sedimentador lamelar; para evaluar el tiempo de residencia del residual en este sistema.

El análisis de las mediciones se realizó siguiendo lo descrito en la literatura especializada [5]. Los datos colectados se exportaron a una plantilla de cálculo Excel

para su procesamiento y análisis. Los datos obtenidos en los puntos de medición se corrigieron por el decaimiento radiactivo del trazador empleado y por el fondo ambiental del lugar estudiado.

El tiempo de tránsito o residencia (τ) se evaluó a partir de la diferencia entre los tiempos en que pasa el radiotrazador por los puntos de medición que se tomaron en consideración.

$$\tau = \bar{t}_j - \bar{t}_i$$

dónde:

t_j y t_i : tiempos en que la mitad de la actividad inyectada ha pasado frente al punto de medición j e i respectivamente y se estima a partir del primer momento de la función $n(t)$:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} n(t) t dt}{N} \approx \frac{\sum_i n_i t_i \Delta t}{\sum_i n_i \Delta t}$$

siendo:

$n(t)$: función de los conteos

N : el área bajo la función $n(t)$.

$$\delta \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 n(t) dt}{N} \approx \frac{\sum_i n_i (t_i - \bar{t})^2 \Delta t}{\sum_i n_i \Delta t}$$

Se estimó además el volumen muerto (V_m) de cada uno de los sistemas a partir de la expresión:

$$V_m = V_d - \tau Q$$

dónde:

V_d : volumen de diseño

T : tiempo de residencia

Q : caudal o flujo de trabajo

Resultados y discusión

En la figura 1 se muestran las curvas construidas a partir de los datos colectados de la inyección realizada en el sistema biodisco-sedimentador lamelar. El detector No.1 nos indica el momento de la inyección en la entrada del biodisco. El detector No.2 sigue el comportamiento del trazador en la salida del biodisco, mientras que el detector No.3 sigue el comportamiento del trazador a la salida del sedimentador lamelar. De esta forma se estableció el comportamiento dinámico de ambos sistemas al momento del experimento.

De la figura 1 es posible apreciar la gran variación en la tasa de conteos de la curva a la salida del biodisco (detector No.2). Este comportamiento se produce como consecuencia de la forma de cilindro dentado de este sistema. Los dientes actúan como paletas haciendo que el flujo a la salida del sistema no sea constante.

Los tiempos de residencia hidráulica calculados experimentalmente para los sistemas a partir del comportamiento del radiotrazador, así como los tiempos de residencia teóricos estimados a partir de los datos

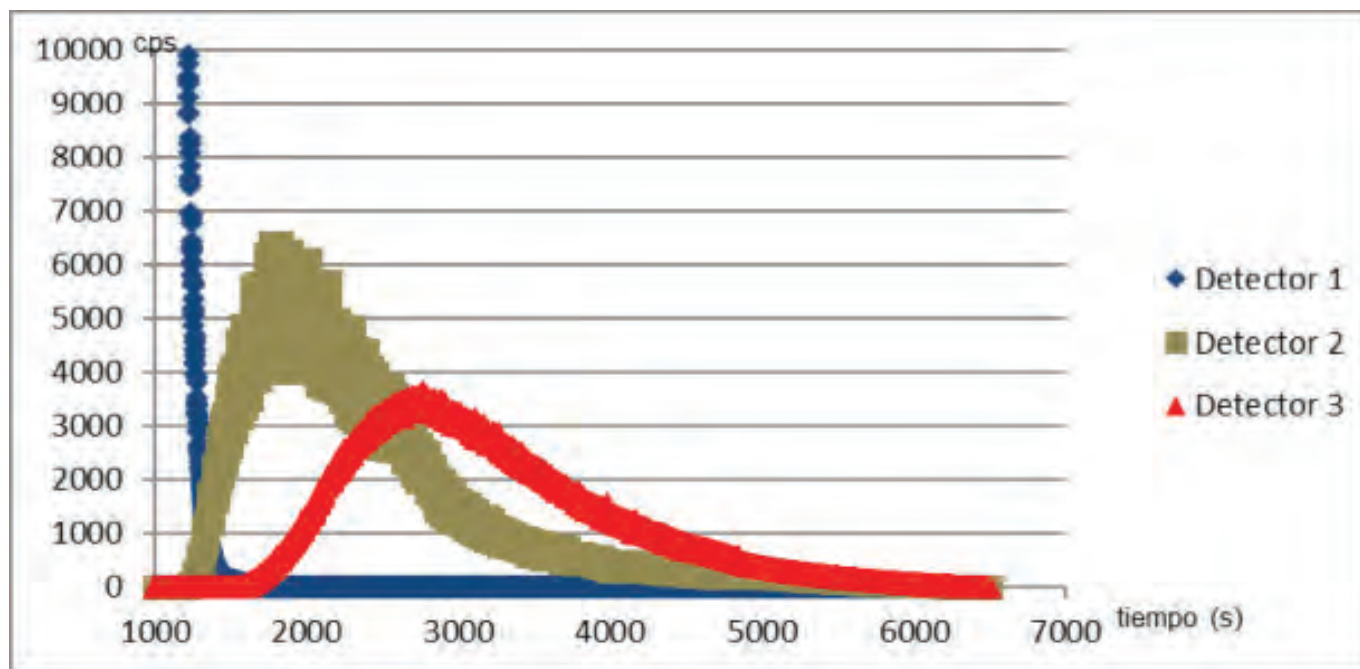


Figura 1. Curva de conteos versus tiempo del paso del trazador por el sistema biodisco-sedimentador lamelar.

de diseño de las instalaciones y el flujo de trabajo en el momento del estudio se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de residencia de los sistemas

Sistemas	Tiempos de Residencia experimentales (min)	Tiempos de Residencia teóricos (min)
Biodisco	21 ± 7	31.1
Sedimentador lamelar	14 ± 6	18.7

Como puede apreciarse, en todos los casos el tiempo de residencia teórico es mayor que el experimental. Puede entonces concluirse que el volumen efectivo que interviene en el proceso es menor que el de diseño, debido a la existencia de zonas muertas dentro de la instalación.

Por otra parte, aunque el tiempo de residencia experimental estimado para el biodisco fue de alrededor de 21 min, es de destacar que siguiendo los datos graficados en la figura 1 es posible apreciar que ya el trazador empieza a detectarse a la salida del biodisco (detector No. 2) muy poco tiempo después de inyectado. En este sentido se estimó que el 2,5 % del residual se mantiene menos de 5 min dentro de este sistema y el 20 % del residual demora menos de 10 min. Este comportamiento no puede considerarse como un problema una vez que los resultados de las pruebas realizadas a las aguas tratadas cumplieron los requerimientos establecidos para su vertimiento al medio ambiente.

La incertidumbre en el caso del sedimentador lamelar supera el 30 %. Esto se debe a que se empleó una misma inyección para estudiar los dos sistemas. En futuros estudios es recomendable su evaluación de forma independiente.

En la tabla 2 se muestran los porcentajes de volúmenes muertos estimados para cada uno de los siste-

mas estudiados. El biodisco 32 % y el sedimentador lamelar 27 %. A partir de estos resultados obtenidos se recomendó acortar los periodos de mantenimiento de estos sistemas a los operadores. Lo que permitiría trabajar más cerca de los parámetros de diseño.

Tabla 2. Tiempos de residencia de los sistemas

Sistema	Volumen muerto (%)
Biodisco	32
Sedimentador lamelar	27

Recomendaciones

Se recomienda acortar los periodos de mantenimiento de estos sistemas a los operadores.

Conclusiones

- Los sistemas estudiados tuvieron un comportamiento acorde a lo esperado y diseñado por el fabricante.
- Los tiempos de residencia medidos experimentalmente fueron menores que los de diseño, evidenciándose la presencia de zonas muertas.
- En el momento de ejecución del ensayo se estimó que el Sedimentador lamelar y el Biodisco tienen alrededor de un 27 % y 32 % de volumen muerto respectivamente.

Referencias bibliográficas

- [1]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiotracer applications in wastewater treatment plants. Training Course Series no. 49. Vienna: IAEA, 2011.

- [2]. MENÉNDEZ GUTIÉRREZ C & DUEÑAS MORENO J. Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 2020; 41(2): 64-74.
- [3]. TEKWATER Sedimentadores lamelares. Tratamiento de aguas [página web]. Disponible en: www.tkwater.cl.
- [4]. 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: 586 204-210.
- [5]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Radiotracer applications in industry - a Guidebook. Technical Reports Series No. 423. Vienna: IAEA, 2004.

Recibido: 18 de octubre de 2022

Aceptado: 04 de noviembre de 2022

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

Credit/Conceptualización: Eduardo A. Capote Ferrera, Isis Ma Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Jorge A. Carrazana González.
Fuentes: Eduardo A. Capote Ferrera, Isis Ma Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Jorge A. Carrazana González. **Curación de datos:** Eduardo A. Capote Ferrera, Jorge A. Carrazana, Miguel Ángel Bravo Leal, Yusleidy Cordovi Miranda. **Análisis formal:** Eduardo A. Capote Ferrera. **Validación:** Isis Ma. Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Jorge A. Carrazana González, Yusleidy Cordovi Miranda, Ramón Rodríguez Cardona, Miguel Ángel Bravo Leal. **Investigación:** Eduardo A. Capote Ferrera, Isis Ma. Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Jorge A. Carrazana González, Miguel Ángel Bravo Leal, Yusleidy Cordovi Miranda, Ramón Rodríguez Cardona. **Metodología:** Eduardo A. Capote Ferrera, Isis Ma. Fernández Gómez. **Administración del proyecto:** Isis Ma. Fernández Gómez. **Redacción – borrador original:** Eduardo A. Capote Ferrera. **Redacción – revisión y edición:** Isis Ma. Fernández Gómez, Milagros Derivet Zarzabal, Jorge A. Carrazana González, Yusleidy Cordovi Miranda, Ramón Rodríguez Cardona.