

## Determinación de tiempos de residencia en las unidades de procesamiento de una planta de tratamiento de agua potable

Gerardo Maghella\*, Enoc Mamani, José Maguiña, Jorge Condori

Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

El presente informe muestra los tiempos de residencia obtenidos en diversas unidades de procesamiento (desarenadores, estanque de regulación, floculadores, sedimentadores, decantadores y filtros) de una planta de tratamiento de agua potable, mediante la técnica de radiotrazadores, utilizando I-131 (emisor gamma) como radiotrazador, el cual fue inyectado a la entrada de cada una de las unidades y cuyo paso a la salida de éstas fue detectado mediante el empleo de detectores de radiación gamma de NaI. Entre los principales resultados obtenidos figuran los siguientes tiempos de residencia promedio: desarenadores: 24,3 min; sedimentadores: 484,8 min; floculadores: 36,5 min; decantadores: 72,8 min; estanque de regulación: 462,1 min y filtros: 12,52 min, con un tiempo de residencia total promedio de la Planta de 618,4 min.

### Abstract

This report shows residence times obtained in several processing units (desanders, regulation pond, flocculators, settlers, decanters, and filters) of a drinkable water treatment plant, by using radiotracers technique. For this purpose, I-131 (gamma emitter) was employed as radiotracer, being injected in the inlet of every unit of the Plant to be evaluated and after mixing with the fluid, it was detected at the outlet of these units by using NaI gamma radiation detectors. Among the results obtained, mean residence times are showed as follows: desanders: 24,3 min; settlers: 484,8 min; flocculators; 36,5 min; decanters: 72,8 min; regulation pond: 462,1 min; filters: 12,52 min, with a Plant's total mean residence time of 618,4 min.

## 1. Introducción

Los trazadores radiactivos constituyen una herramienta de gran efectividad para determinar funciones de distribución de tiempos de residencia en procesos industriales. En efecto, la inyección instantánea de un trazador a la entrada de un sistema generará una curva de respuesta de concentración en función del tiempo a la salida que es precisamente, la función de transferencia buscada [1].

En los casos más sencillos, solo se requiere conocer el tiempo medio de residencia y su varianza para su comparación con los valores de diseño. En cambio, en sistemas complejos es necesario analizar la función de transferencia mediante el estudio de todos sus parámetros estadísticos y la aplicación de modelos matemáticos de simulación. Esto permite lograr una representación del proceso por medio de un conjunto de bloques conectados en serie o paralelo con la eventual inclusión de realimentaciones. El ajuste del modelo obtenido conduce a la optimización

del proceso lográndose así un mejor rendimiento en la producción [2].

El presente estudio tiene como finalidad determinar los tiempos de residencia en las unidades de procesamiento de una Planta de Tratamiento de agua potable emplazada en una ciudad de la costa peruana, presentándose los resultados promedio obtenidos en cada una de las unidades.

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1 Materiales y equipos

- Sistema de adquisición de datos, DAMRI.
- Detectores de NaI, marca DAMRI, de 1.5" de diámetro.
- Radiotrazador (I-131)
- Actividad total de I - 131: 500 mCi,
- Baldes.
- Alambres y soguillas.

\* Correspondencia autor: gmaghella@ipen.gob.pe

## 2.2 Metodología

La metodología empleada aborda el estudio de la distribución del tiempo de residencia de un fluido en las unidades de procesamiento de una planta de tratamiento de agua potable, la cual se determina mediante la inyección de un radiotrazador (I-131) en el flujo de entrada a la unidad, el cual luego de haberse mezclado con el fluido es detectado a la salida a través de un detector de radiación gamma, obteniéndose así una curva de respuesta que caracteriza el comportamiento dinámico del fluido dentro de la unidad. Para ello, se empleó en todos los casos de las unidades evaluadas, el método de estímulo-respuesta (inyección o pulso Dirac).

Las fases del estudio fueron:

- Cálculo de la actividad requerida del radiotrazador.
- Delimitación del área de trabajo de cada unidad, donde se inyectará el radiotrazador.
- Recopilación de información de planta: volumen, caudal, etc.
- Inyección de trazador al ingreso de cada unidad a ser evaluada.
- Registro de datos a la salida de cada unidad.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

## 2.3 Cálculos

El tiempo de residencia teórico es calculado mediante la fórmula:

$$\tau = \frac{V}{Q}$$

Donde:

V = Volumen del recipiente

Q = Caudal de ingreso a la unidad

$\tau$  = Tiempo medio de residencia

El tiempo de residencia experimental se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot c(t) dt}{\int_0^{\infty} c(t) dt}$$

Donde:

T = Tiempo de residencia

t = tiempo

c (t) = actividad del radiotrazador

## 3. Resultados y Discusión

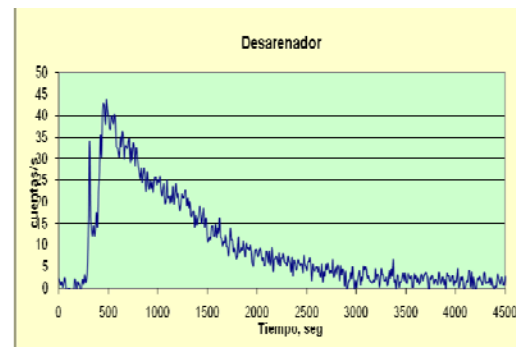
### 3.1 Tablas de datos y resultados

El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 1, en ella se aprecia que se obtienen tiempos de residencia promedio de 24,3 min para el desarenador; en los sedimentadores: 484,8 min, en los floculadores: 36,5 min, en los decantadores: 72,8 min, estanque de regulación: 462,1 min y en los filtros: 12,52 min, con un tiempo de residencia total promedio desde el ingreso al proceso en la planta (desarenador) hasta la salida del proceso (filtros) de 618,4 min (10.3 horas).

Estos valores se obtienen a partir del análisis de las curvas de respuesta de las concentraciones del radiotrazador, medidas en cuentas por segundo (cps), a su paso por el detector a la salida de las diferentes unidades de la Planta.

**Tabla 1.** Tiempos de residencia promedio.

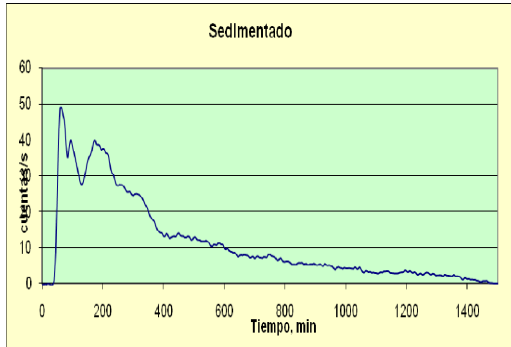
Unidad	Trazador	Volumen (m <sup>3</sup> )	Actividad (mCi)	t (min)
Desarenadores	I-131	1600	5	24.3
Sedimentadores	I-131	7800	30	484.8
Floculadores	I-131	1650	5	36.5
Decantadores	I-131	6280	30	72.8
Estanque de Regulación	I-131	500000	300	462.0
Filtros	I-131	144	0.5	12.52



**Figura 1.** Variación de la concentración del radiotrazador en el Desarenador.

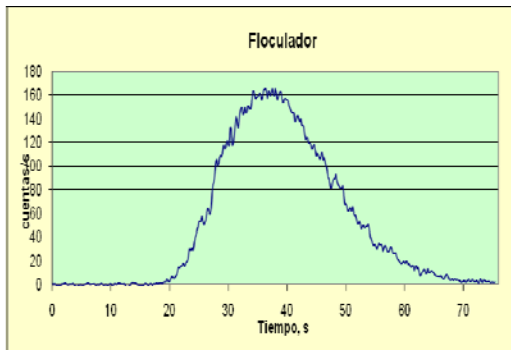
En la Figura 1 se observa que en el desarenador hay un cortocircuito o canalización al ingreso del radiotrazador, debido probablemente a las condiciones hidráulicas existentes en la unidad que facilitan el transporte sin mezcla del radiotrazador y que representa un tiempo de tránsito de 22,2 minutos. Estas canalizaciones

o flujos preferenciales se observan en la mayoría de los desarenadores.



**Figura 2.** Variación de la concentración del radiotrazador en el Sedimentador.

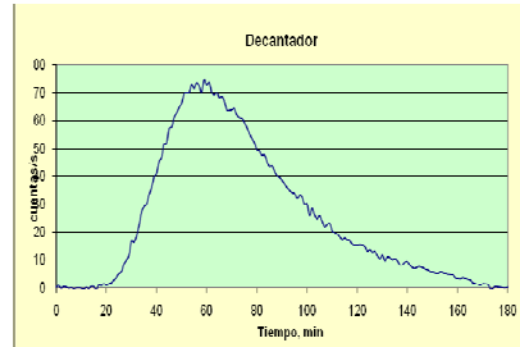
En los sedimentadores evaluados se observa que los tiempos de residencia varían en un rango alto, con tiempos mayores del orden de 11,0 a 11,4 horas, hasta aquellos con tiempos de residencia menores en los sedimentadores del orden de 6,4 horas (Figura 2).



**Figura 3.** Variación de la concentración del radiotrazador en el Floculador.

En los floculadores hidráulicos evaluados se observa que los tiempos de residencia varían en un rango pequeño, siendo el menor de 31,2 minutos y el mayor de 39,7 minutos, presentándose porcentajes de mezcla perfecta del orden de 55,03 % y 70,02 %, respectivamente. No se observan canalizaciones en estas unidades (Figura 3).

En los decantadores evaluados se observa que los tiempos de residencia, también varían en un rango pequeño, siendo el menor de 67,7 minutos (Figura 4) y el mayor de 80,5 minutos, presentándose también porcentajes de mezcla perfecta altos del orden de 73,44 % y 88,40% respectivamente, sin presentar canalizaciones.

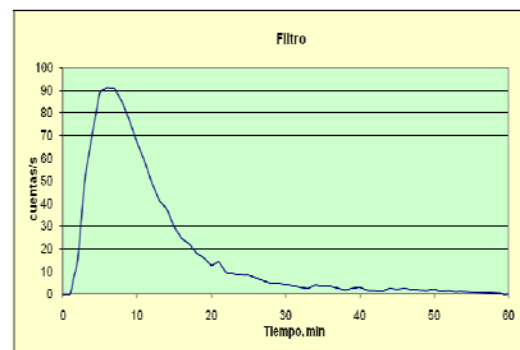


**Figura 4.** Variación de la concentración del radiotrazador en el Decantador.

En los filtros evaluados se observan tiempos de residencia cortos y próximos entre sí, que van desde 5,9 minutos hasta 16,1 minutos; encontrándose que los de mayor tiempo de residencia son 46,5 minutos y 24,8 minutos, respectivamente, lo cual origina valores de volúmenes muertos altos (Figura 5). En los demás filtros, los tiempos de residencia experimentales obtenidos están muy próximos a los teóricos en las condiciones de operación dadas.

El tiempo de residencia del estanque de regulación de la Planta es de 462 min (7,7 horas), con un volumen muerto de 31,86 %.

Las mediciones se realizaron en estado estacionario, con un caudal de ingreso de 7,2 m<sup>3</sup>/s, en condiciones normales de suministro, i. e. sin unidades colmatadas por efectos de desprendimientos de roca en el curso del río que abastece a la Planta.



**Figura 5.** Variación de la concentración del radiotrazador en el Filtro.

#### 4. Conclusiones

- Para obtener la máxima eficiencia en una instalación es necesario realizar, entre otros aspectos, un mantenimiento que permita facilitar la dinámica del fluido a fin de que éste permanezca en la unidad de acuerdo al tiempo teórico de residencia que se prevé por diseño, minimizando la posibilidad de que se produzcan canalizaciones y/o volúmenes muertos.
- No se presentan canalizaciones en los floculadores, decantadores y filtros.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los desarenadores fue de 24,3 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los sedimentadores fue de 484,8 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los floculadores fue de 36,5 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los decantadores fue de 72,8 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en el Estanque de Regulación fue de 462 min.
- El tiempo de residencia promedio obtenido en los filtros fue de 24,3 min.

- El tiempo de residencia total de la Planta, para un caudal de ingreso de  $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , fue de 10,3 h.
- El tiempo de residencia teórico de la Planta para un caudal de ingreso de  $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , es aprox. de 26,4 h.

#### 5. Referencias

- [1] Sebastián C, Rojas R, Mamani E, Maguiña J. Evaluación de unidades de tratamiento de agua mediante estudios de tiempos de residencia, utilizando técnicas de radiotrazadores. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2006. Lima: IPEN. 2007. p. 174-176.
- [2] Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Radiotracer technology as applied to industry, IAEA-TECDOC-1262.