

# Una evaluación del RAP

Flor Rojas Hernández\* y Jairo A. Romero Rojas\*\*

Uno de los métodos propuestos para tratamiento anaerobio de aguas residuales de baja concentración es el del reactor anaerobio a pistón (RAP). En este trabajo se presentan algunas características y resultados disponibles de la operación de dos de estas plantas de tratamiento<sup>1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

El RAP es un reactor anaerobio de flujo en pistón, abierto al aire, con un medio de soporte de crecimiento biológico, dotado de pantallas que obligan al afluente a subir y bajar dentro de un tanque, desarrollado para satisfacer los siguientes principios de operación:

- Flujo a pistón.
- Medio plástico inmerso en el agua residual, de alta porosidad, para mejorar la separación de gases y de biomasa, así como para propiciar mezcla sin buscar adherencia.
- Contacto directo de la superficie del agua con la atmósfera, de modo que las bajas concentraciones de metano creen un gradiente importante entre el agua residual saturada de gas y el aire para permitir la evacuación del metano y del hidrógeno, así como para favorecer la termodinámica de las reacciones de metanogénesis<sup>2</sup>.

En la tabla 1 se incluyen los parámetros de diseño para reactores RAP.

Estudios previos en plantas piloto<sup>3</sup> indicaron la posibilidad del tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas a temperaturas del agua de 13°C a 17°C, arranque del reactor sin lodo semilla y obtención de lodo granulado.

## PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TENJO

En 1990 Colciencias financió el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Tenjo (Cundinamarca), mientras que la financiación para su construcción la realizó la CAR.

La planta de tratamiento consta de una cámara de llegada conectada a la tubería de alcantarillado de 14" de diámetro, dotada con un vertedero de rebose de excesos a un sistema de riego veredal. El caudal se

**Tabla 1**  
Parámetros de diseño del RAP<sup>(2)</sup>

Parámetro	Valor
Temperatura, °C	15 - 20
Tiempo de retención a 15°C, h	10
Tiempo de retención a 20°C, h	8
Tipo de flujo	Pistón
Velocidad en las cámaras, m/h	3
Velocidad de sedimentación, m/h	1
Medio de soporte de crecimiento	Plástico
Medio separador de gases	Cajas de plástico
Profundidad, m	2,7
Distancia a núcleos habitacionales, m	> 200

\* Ingeniera civil, especialista en ingeniería ambiental.

\*\* Ingeniero civil, MEEE, profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Miembro del Consejo Directivo y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

**Tabla 2**  
Parámetros de diseño de la planta de Tenjo<sup>1</sup>

Parámetro	Valor
Caudal de diseño, L/s	12,7
Temperatura, °C	15
Carga de diseño ARD, kgDBO <sub>5</sub> /d	125
Carga de diseño ARI, kgDBO <sub>5</sub> /d	121
Carga orgánica total, kgDBO <sub>5</sub> /d	246
Carga volumétrica, kgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d	0,4
DBO <sub>5</sub> , g/m <sup>3</sup>	224
Tiempo de retención, h	12
Volumen de cada reactor, m <sup>3</sup>	275
Relación: largo/ancho/altura	4/1,1/1

afora mediante una canaleta Parshall, pasa por una rejilla de cribado, dos desarenadores y, finalmente, a dos reactores RAP en paralelo, separados por un pozo seco. Cada reactor tiene ocho cámaras y una cámara final con sedimentación en la parte superior. En el interior de las ocho primeras cámaras se utilizan cajas de plástico como medio de soporte de crecimiento. El agua clarificada la usan para riego los habitantes vecinos a la planta. Los lodos se evacúan por medio de válvulas de purga y se conducen a un lecho de secado.

Estructuralmente, la planta consiste en dos tanques en concreto reforzado de 275 m<sup>3</sup> de volumen cada uno, 16,5 m de longitud, 4,4 m de ancho, 4,0 m de altura y un pozo seco de 1,4 m de ancho en la mitad. Los parámetros de diseño de la planta se incluyen en la tabla 2.

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UBATÉ**

Esta planta de tratamiento consta de una cámara de llegada, compuerta de control de acceso del agua residual, dos rejillas, un pozo de bombeo para dar la altura necesaria para operación por gravedad, una cámara de aquie-

tamiento, cuatro desarenadores, vertedero de aforo, cámara de distribución y cuatro reactores, cada uno de volumen igual a 584,5 m<sup>3</sup>; de 31,9 m de largo, 8,7 m de ancho y 2,45 m de altura. Cada reactor posee once cámaras de 2,9 m de largo, 8,7 m de ancho y 2,1 m de profundidad útil, con un volumen de 53,1 m<sup>3</sup> cada una. En el interior de las cámaras existe un medio poroso conformado por cajas de plástico amarradas con marcos metálicos para evitar su flotación.

Cada reactor tiene dos sedimentadores de 7 m de longitud, 6 m de ancho y 2,45 m de altura, dotados de tres canaletas superficiales y vertederos triangulares en lámina acrílica para la recolección del agua clarificada. Cada sedimentador cuenta con dos chimeneas para facilitar la sali-

da de gases a la atmósfera. El lecho de secado de lodos es de 3 m de largo, 3 m de ancho y 1 m de profundidad. El agua clarificada es conducida al río Suta por una tubería de 30". En la tabla 3 se resumen los parámetros de diseño utilizados.

**RESULTADOS DE OPERACIÓN**

Los resultados de operación, presentados en las tablas 4, 5 y 6, corresponden al análisis de los ensayos de laboratorio realizados sobre una muestra mensual de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de los municipios de Tenjo y Ubaté, en los períodos indicados, por el laboratorio ambiental de la CAR regional Cundinamarca.

**CONCLUSIONES**

El RAP de Tenjo ha operado, entre 1994 y 1998, con una carga orgánica volumétrica que va de 0,08 kgDQO/m<sup>3</sup>d hasta 3,8 kgDQO/m<sup>3</sup>d, en promedio de 0,56 kgDQO/m<sup>3</sup>d, con tiempos de retención entre 4 y 51 horas, en promedio de trece horas, a una temperatura promedio de 18°C y una velocidad promedio de flujo de 3,7 m/h.

La eficiencia promedio en remoción de DBO, DQO, SS y grasas y aceites del RAP de Tenjo ha sido, entre 1994 y 1998, inferior al 50%;

**Tabla 3**  
Parámetros de diseño de la planta de Ubaté<sup>1</sup>

Parámetro	Valor
Caudal total de diseño, L/s	70
Temperatura, °C	16,5
Carga orgánica total, kgDBO <sub>5</sub> /d	1754
DBO <sub>5</sub> promedio, g/m <sup>3</sup>	290
Tiempo de retención, h	9
Carga orgánica volumétrica, kgDBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d	0,8



**Tabla 4**  
Resultados de operación del RAP de Tenjo<sup>1</sup>

Valores	Carga orgánica volumétrica (kgDQO/m <sup>3</sup> d)	Tiempo de retención (h)	Velocidad de flujo (m/h)	Temperatura (°C)	Año
Valor máximo	1,63	23	11,5	18	1994
Valor mínimo	0,08	4	1,96	17	1994
Valor promedio	0,60	7	6,10	17,5	1994
Valor máximo	0,80	38	3,50	20	1995
Valor mínimo	0,10	13	1,17	17	1995
Valor promedio	0,40	17	2,65	18	1995
Valor máximo	1,72	17	7,13	18,2	1996
Valor mínimo	0,27	6	2,63	16,9	1996
Valor promedio	0,63	12	3,81	17,6	1996
Valor máximo	3,80	34	8,30	26	1997
Valor mínimo	0,08	5,5	1,30	17	1997
Valor promedio	0,71	13	3,42	18,7	1997
Valor máximo	0,73	51	3,50	20	1998
Valor mínimo	0,12	13	0,90	17,3	1998
Valor promedio	0,47	16	2,80	18,5	1998

**Tabla 5**  
Resultados de operación del RAP de Ubaté<sup>1</sup>

Valores	Carga orgánica volumétrica (kgDQO/m <sup>3</sup> d)	Tiempo de retención (h)	Velocidad de flujo (m/h)	Temperatura (°C)	Año
Valor máximo	0,66	24,5	1,37	18,2	1997
Valor mínimo	0,21	17	0,94	17	1997
Valor promedio	0,43	21	1,10	17,5	1997
Valor máximo	0,79	23	1,85	19,1	1998
Valor mínimo	0,12	12,5	0,86	13	1998
Valor promedio	0,42	17	1,37	17,2	1998

**Tabla 6**  
Porcentajes de eficiencia observados

Parámetro	Tenjo			Ubaté				
	Período	Mín.	Prom.	Máx.	Período	Mín.	Prom.	Máx.
DBO	1994-1998	2	49	93	1997-1998	22	56	83
DQO	1994-1998	12	44	83	1997-1998	25	50	68
Sólidos suspendidos	1994-1998	4	48	91	1997-1998	6	58	83
Coliformes totales	1994-1998	27	74	99	1997-1998	42	81	99
Coliformes fecales	1994-1998	17	78	99	1997-1998	58	84	99
Grasas y aceites	1994-1997	3	49	82	1997-1998	55	75	98
SAAM	1994-1997	7	40	95	1997-1998	17	34	76
Fósforo total	1994-1997	11	35	77	1997-1998	1	15	32

la de coliformes totales y fecales, menor de 78%; la de SAAM, de 40%, y la de fósforo, de 35%.

El RAP de Ubaté ha operado, entre 1997 y 1998, con una carga orgánica volumétrica que va desde 0,12 kgDQO/m<sup>3</sup>d hasta 0,79 kgDQO/m<sup>3</sup>d, en promedio de 0,43 kgDQO/m<sup>3</sup>d, con tiempos de retención entre 12,5 y 24,5 horas, en promedio de 19 horas, a una temperatura promedio de 17,4°C y una velocidad promedio de flujo de 1,2 m/h.

La eficiencia promedio en remoción de DBO, DQO y SS del RAP de Ubaté, en los años 1997 y 1998, es menor que el 58%; en remoción de coliformes totales y fecales es inferior al 84%; la de grasas y aceites, de 75%; la de SAAM, de 34%, y la de fósforo total, de 15%.

El RAP de Ubaté muestra mejor eficiencia en remoción de DBO, DQO y SS que el RAP de Tenjo; opera con una carga orgánica volumétrica y una temperatura menor, pero con un tiempo de retención mayor.

El RAP, con una carga orgánica volumétrica del orden de 0,4 kgDQO/m<sup>3</sup>d, tiempo de retención de 19 horas y temperatura de 17°C, permite obtener, para aguas residuales municipales como las de Tenjo y Ubaté, una eficiencia en remoción de DBO, DQO y SS de un 50 a 60%, aproximadamente.

**REFERENCIAS**

1. Rojas, H.F., Evaluación conceptual del RAP. Trabajo final de la especialización en ambiental con énfasis en sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, 1999.
2. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Resolución 0822 de 1998, RAS - 98, título E, Bogotá, agosto de 1998.
3. Orozco, A., Seminario internacional sobre gestión anaerobia, Universidad de los Andes, abril de 1989.