

Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable del sector La Loma del Cabí, en el municipio de Quibdó

Assessment of the Drinking Water Treatment Plant at Loma del Cabí, in the Municipality of Quibdó

ÓSCAR EDUARDO GUERRERO CHAPAL¹ - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

oscar.guerrero@mail.escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 22/01/2018 Aceptado: 20/02/2018

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

Resumen

En este artículo se presentan los resultados de la evaluación de los procesos que conforman el sistema de potabilización, su operación y su capacidad de abastecimiento.

Palabras claves: planta de tratamiento de agua potable (PTAP), calidad del agua, operación y mantenimiento de una PTAP.

Abstract

This paper presents the assessment results of the processes that make up the water treatment system, its operation, and supply capacity.

Keywords: drinking water treatment plant (DWTP), water quality, DWTP operation and maintenance..

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analizan los componentes que integran la planta de tratamiento de agua potable del sector La Loma del Cabí, en el municipio de Quibdó, atendiendo los criterios estipulados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000, y la conformidad del tratamiento realizado con la norma de agua potable.

DESCRIPCIÓN

La planta de tratamiento de agua potable La Loma del Cabí cuenta con una capacidad nominal de diseño de 125 L/s, que corresponde a un sistema de tipo convencional en la que se hacen los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Para la mezcla rápida del coagulante con el agua, se aprovecha el resalto hidráulico que se produce en la caída del agua a través de un vertedero rectangular de 0,41 m de longitud. La aplicación del coagulante al agua se realiza antes del vertedero, antes del punto de mezcla rápida. Se utilizan hidroxocloruro de aluminio y cal para el ajuste de pH.

El proceso de floculación se lleva a cabo mediante dos unidades de floculación hidráulica de flujo vertical tipo Alabama. Cada floculador está constituido por doce cámaras en serie, con orificios de interconexión.

La sedimentación está constituida por tres sedimentadores de flujo laminar o de alta tasa, conformados así:

- Zona de entrada: A través de dos orificios de 0,43 x 0,70 m cada uno, dos ductos de 0,36 m de diámetro, con perforaciones en el fondo de 6,35 cm de diámetro, espaciadas cada 24 cm, y en tres hileras por ducto.
- Zona de sedimentación: Conformada por módulos tubulares fabricados en poliestireno de alto impacto, con 60 grados de inclinación y 1,05 m de altura inclinada.
- Zona de salida: Por medio de seis canales, dos por módulo de sedimentación, que descargan sus aguas en un canal central de recolección el cual las conduce al sistema de filtración.
- Zona de lodos: Con capacidad de depositar los lodos sedimentados, con compuerta de fondo de 0,36 m de diámetro para su evacuación periódica.

La filtración se realiza con seis unidades de tasa declinante y lavado mutuo, con lechos filtrantes de arena y antracita. La salida del filtro se realiza a través de una cámara de interconexión de 0,69 m de largo y 13,25 m

de ancho y dos compuertas laterales localizadas a 2,77 m del fondo, que funcionan como vertedero de salida y permiten regular la admisión del agua de lavado. El agua se desinfecta con cloro gaseoso, el cual se aplica utilizando un dosificador Hydro serie 500. El diagrama de proceso de la planta se presenta a continuación (figura 1).

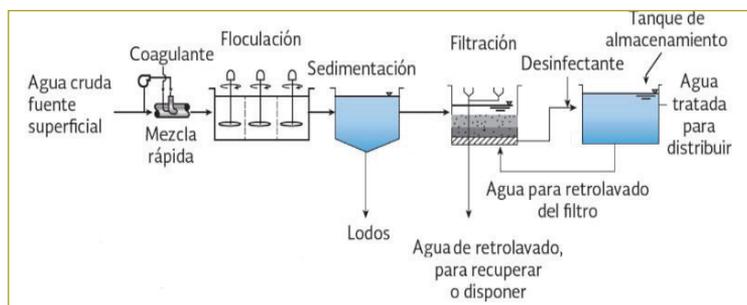


Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAP La Loma (1).

CALIDAD DEL AGUA

A renglón seguido se presentan los registros de laboratorio realizados por Aguas del Atrato, en el año 2015, para el agua tratada. El valor promedio de la turbiedad del agua cruda en el año fue de 32 UNT. En general, se advierten valores de turbiedad variables entre 13 y 900 UNT. Se observaron valores de color del agua cruda entre 10 y 95 UPC, con un valor promedio de 18 ± 8

Tabla 1
Resultados del monitoreo de agua tratada, año 2015

| Mes | Agua tratada | | | | |
|------------|--------------|-----------|-------|---------------------------|-----------------------|
| | pH | Turbiedad | Color | Alcalinidad | Cl ₂ libre |
| | (Un) | (UNT) | (UPC) | (mg/L CaCO ₃) | (mg/L) |
| Enero | 7,34 | 0,53 | 3,00 | 13,13 | 0,75 |
| Febrero | 7,28 | 0,54 | 3,00 | 12,70 | 0,85 |
| Marzo | 7,24 | 0,57 | 3,08 | 12,42 | 0,80 |
| Abril | 7,24 | 0,48 | 3,00 | 12,29 | 0,86 |
| Mayo | 7,26 | 0,51 | 3,00 | 12,33 | 0,92 |
| Junio | 7,27 | 0,54 | 3,00 | 12,29 | 0,93 |
| Julio | 7,34 | 0,57 | 3,00 | 12,96 | 1,00 |
| Agosto | 7,28 | 0,55 | 3,00 | 12,51 | 0,88 |
| Septiembre | 7,13 | 0,51 | 3,00 | 11,00 | 0,80 |
| Octubre | 7,14 | 0,54 | 3,00 | 11,32 | 0,63 |
| Noviembre | 7,24 | 0,52 | 3,01 | 12,08 | 0,74 |
| Diciembre | 7,11 | 0,50 | 3,00 | 11,61 | 0,82 |
| TOTAL | 7,26 | 0,53 | 3,01 | 12,37 | 0,84 |

Tabla 2
Informe de análisis de agua cruda y tratada (1)

| Análisis Agua cruda | | Mayo 5 de 2016 | | Agostos 7 de 2016 | | Valores aceptables |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| | | Agua tratada | Agua cruda | Agua tratada | Agua cruda | |
| Químicos | Alcalinidad | 7 mg/L | 12,3 mg/L | 6,5 mg/L | 13,2 mg/L | 200 mg/L |
| | Aluminio | 0,05 mg/L | 0,19 mg/L | 0,03 mg/L | 0,09 mg/L | 0,2 mg/L |
| | Dureza total | 58 mg/L | 50 mg/L | 40 mg/L | 54 mg/L | 300 mg/L |
| | Calcio | 55 mg/L | 32 mg/L | 45 mg/L | 40 mg/L | 60 mg/L |
| | Cloro residual libre | | 1,02 mg/L | | 0,98 mg/L | 0,3 – 2,0 mg/L |
| | Cloruros | 21,2 mg/L | 20,9 mg/L | 19,5 mg/L | 19 mg/L | 250 mg/L |
| | Nitritos | 0,4 mg/L | 0,01 mg/L | 0,3 mg/L | 0,01 mg/L | 0,1 mg/L |
| | Nitratos | 1,51 mg/L | 0,5 mg/L | 0,84 mg/L | 0,8 mg/L | 10 mg/L |
| | Hierro | 1,86 mg/L | 0,25 mg/L | 0,89 mg/L | 0,05 mg/L | 0,3 mg/L |
| | pH | 6,3 U | 7,58 U | 6,5 U | 7,30 U | 6,5 – 9,0 U |
| | Fosfatos | 0,25 mg/L | 0,11 mg/L | 0,30 mg/L | 0,11 mg/L | 0,5 mg/L |
| Sulfatos | 84 mg/L | 36 mg/L | 76 mg/L | 46 mg/L | 250 mg/L | |
| Físicos y organolépticos | Color | 20,4 UPC | 1,1 UPC | 24,6 UPC | 3,1 UPC | < 15 UPC |
| | Turbiedad | 84 NTU | 0,21 NTU | 96 NTU | 0,50 NTU | 2 NTU |
| | Conductividad | 62 μ s/cm | 52 μ s/cm | 80 μ s/cm | 62 μ s/cm | 1000 μ S/cm |
| | Temperatura | 23,3 °C | 18,9 °C | 24,3 °C | 21,9 °C | |
| Microbiológicos | Coliformes Totales | 1680 UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml | 1250 UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml | Ausencia /100 ml |
| | Coliformes Fecales | 960 UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml | 550 UFC/100 ml | 0 UFC/100 ml | Ausencia/100 ml |

UPC. El pH del agua cruda oscila entre 5,3 y 7,4, con un valor promedio de 6,1. La alcalinidad del agua cruda varía entre 4 y 9 mg/L, con un valor promedio de 6 mg/L. El agua cruda es agua de alta turbiedad y color, con alcalinidad muy baja, que hace necesario un control permanente y apropiado de coagulación mediante análisis frecuente de jarras.

Los valores de turbiedad para el agua tratada cumplen a lo largo del 2015 la norma establecida en la Resolución 2115 de 2009, que limita la turbiedad a un valor máximo de dos unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Los valores de color para el agua tratada igualmente cumplen en el año 2015 con el valor límite establecido en la resolución, que lo condiciona a un valor máximo de quince unidades en la escala de platino cobalto (UPC). La alcalinidad del agua tratada presenta valores superiores a los registrados en el agua cruda, pero es inferior al valor límite establecido de 200 mg CaCO₃/L, cumpliendo con la Resolución 2115 de 2007. El residual de cloro oscila entre 0,63 y

1,0 mg/L, valores dentro del límite establecido por la resolución para agua potable. El pH del agua tratada presenta valores promedio de 7,28, cumpliendo con el límite de 6,5 a 9,0.

PROCESOS DE TRATAMIENTO

Capacidad. La proyección de demanda de agua para la planta de tratamiento de La Loma de Quibdó se puede ver más adelante (tabla 3).

La capacidad nominal de la planta de tratamiento de La Loma, de 125 L/s, permite atender la demanda de agua de la zona centro del acueducto hasta el año 2024. Para atender la demanda de agua hasta el año 2042, se requerirá aumentar la capacidad de la planta actual en 82,4 L/s.

Coagulación. El resalto hidráulico se encuentra ahogado. Se considera que esta estructura debe producir un resalto hidráulico estable para realizar la mezcla rápida del coagulante con el agua.

Tabla 3

Demanda de agua potable en la zona centro Acueducto (1)

| Año | Caudal máximo diario (L/s) | Caudal medio diario (L/s) | Caudal demandado PTAP (L/s) |
|------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 2012 | 39,0 | 32,5 | 40,7 |
| 2017 | 97,5 | 81,3 | 101,6 |
| 2019 | 102,9 | 85,8 | 107,2 |
| 2026 | 124,9 | 104,1 | 130,1 |
| 2034 | 157,0 | 130,9 | 163,6 |
| 2042 | 199,1 | 165,9 | 207,4 |

Floculación. Las velocidades del agua en los orificios de interconexión y los gradientes puntuales para un caudal de 125 L/s se presentan en las tablas siguientes (tablas 4 y 5).

Se puede observar que los gradientes de velocidad oscilan entre 25 y 66 S⁻¹, valores dentro del rango recomendado para floculación.

Tabla 4

Gradientes puntuales en los orificios de interconexión. Floculador izquierdo (1)

| Interconexión | Sección orificio (m ²) | Vel. orificio (m/s) | Sección orificio de salida (m ²) | Tiempo de retención (segundos) | Pérdida de carga (m) | | | | Gradiente s-1 |
|---------------|------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|---------------|
| | | | | | Interconexión | Codo | Salida | Total | |
| 1 a 2 | 0,15 | 0,42 | 0,14 | 125,76 | 0,0142 | 0,0036 | 0,0252 | 0,0430 | 59,01 |
| 2 a 3 | 0,12 | 0,54 | 0,18 | 141,44 | 0,0231 | 0,0060 | 0,0145 | 0,0436 | 56,03 |
| 3 a 4 | 0,13 | 0,50 | 0,19 | 138,08 | 0,0196 | 0,0051 | 0,0133 | 0,0380 | 52,93 |
| 4 a 5 | 0,18 | 0,35 | 0,21 | 122,56 | 0,0096 | 0,0025 | 0,0106 | 0,0227 | 43,42 |
| 5 a 6 | 0,20 | 0,32 | 0,22 | 138,56 | 0,0079 | 0,0021 | 0,0097 | 0,0197 | 38,09 |
| 6 a 7 | 0,22 | 0,29 | 0,22 | 138,56 | 0,0067 | 0,0017 | 0,0101 | 0,0185 | 36,88 |
| 7 a 8 | 0,21 | 0,29 | 0,23 | 122,88 | 0,0069 | 0,0017 | 0,0089 | 0,0175 | 38,13 |
| 8 a 9 | 0,28 | 0,23 | 0,31 | 138,88 | 0,0041 | 0,0011 | 0,0048 | 0,0100 | 27,05 |
| 9 a 10 | 0,28 | 0,22 | 0,34 | 141,44 | 0,0039 | 0,0010 | 0,0040 | 0,0090 | 25,41 |
| 10 a 11 | 0,28 | 0,22 | 0,30 | 119,52 | 0,0039 | 0,0010 | 0,0052 | 0,0101 | 29,32 |
| 11 a 12 | 0,28 | 0,22 | 0,32 | 136,00 | 0,0040 | 0,0010 | 0,0045 | 0,0095 | 26,61 |

Tabla 5

Gradientes puntuales en los orificios de Interconexión. Floculador derecho (1)

| Interconexión | Sección orificio (m ²) | Vel. Orificio (m/s) | Sección orificio de salida (m ²) | Tiempo de retención (segundos) | Pérdida de carga (m) | | | | Gradiente s-1 |
|---------------|------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|---------------|
| | | | | | Interconexión | Codo | Salida | Total | |
| 1 a 2 | 0,14 | 0,46 | 0,14 | 112,96 | 0,0168 | 0,0043 | 0,0252 | 0,0463 | 64,63 |
| 2 a 3 | 0,13 | 0,49 | 0,14 | 114,72 | 0,0190 | 0,0049 | 0,0255 | 0,0494 | 66,24 |
| 3 a 4 | 0,14 | 0,44 | 0,16 | 160,80 | 0,0158 | 0,0040 | 0,0194 | 0,0391 | 49,76 |
| 4 a 5 | 0,18 | 0,34 | 0,22 | 118,56 | 0,0091 | 0,0024 | 0,0101 | 0,0216 | 43,06 |
| 5 a 6 | 0,19 | 0,33 | 0,17 | 120,48 | 0,0087 | 0,0022 | 0,0173 | 0,0282 | 48,87 |
| 6 a 7 | 0,21 | 0,30 | 0,20 | 148,80 | 0,0073 | 0,0018 | 0,0115 | 0,0207 | 37,61 |
| 7 a 8 | 0,19 | 0,33 | 0,22 | 120,16 | 0,0087 | 0,0022 | 0,0101 | 0,0210 | 42,23 |
| 8 a 9 | 0,25 | 0,26 | 0,32 | 123,52 | 0,0052 | 0,0014 | 0,0046 | 0,0112 | 30,39 |
| 9 a 10 | 0,22 | 0,29 | 0,31 | 148,00 | 0,0067 | 0,0017 | 0,0050 | 0,0134 | 30,41 |
| 10 a 11 | 0,28 | 0,22 | 0,30 | 116,00 | 0,0040 | 0,0010 | 0,0052 | 0,0101 | 29,80 |
| 11 a 12 | 0,27 | 0,23 | 0,33 | 112,48 | 0,0043 | 0,0011 | 0,0043 | 0,0097 | 29,61 |

Sedimentación. A renglón seguido se presentan los resultados de la evaluación de los sedimentadores (tabla 6).

Tabla 6
Condiciones de sedimentación (1)

| Un | Área (m ²) | Carga superficial V _o (m/día) | Velocidad crítica V _{sc} (m/día) | Número de Reynolds | Tiempo de retención (minutos) |
|----|------------------------|--|---|--------------------|-------------------------------|
| 1 | 23,29 | 178,49 | 23,80 | 129 | 9,68 |
| 2 | 20,21 | 205,69 | 27,42 | 148 | 8,40 |
| 3 | 22,98 | 180,89 | 24,12 | 130 | 9,55 |

Como se observa en la tabla anterior, los sedimentadores operan con condiciones de diseño dentro de los parámetros recomendados para sedimentación de tasa alta.

Filtración. Más adelante se muestran las condiciones de operación de los filtros (tabla 7).

Tabla 7
Condiciones de operación de los filtros (1)

| Un | Ancho (m) | Longitud (m) | Profundidad (m) | Área (m ²) | Vel. de lavado (m/min) | Vel. de lavado (m/día) |
|----|-----------|--------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 2,13 | 3,74 | 4,44 | 7,97 | 0,94 | 240 |
| 2 | 2,13 | 3,74 | 4,44 | 7,97 | 0,94 | 240 |
| 3 | 1,84 | 3,74 | 4,44 | 6,88 | 1,09 | 240 |
| 4 | 1,84 | 3,74 | 4,44 | 6,88 | 1,09 | 240 |
| 5 | 2,10 | 3,74 | 4,44 | 7,85 | 0,96 | 240 |
| 6 | 2,10 | 3,74 | 4,44 | 7,85 | 0,96 | 240 |

La velocidad de filtración promedio obtenida, 240 m/día, se encuentra dentro de los valores aceptados por las normas RAS-2000, donde se establece que la velocidad de filtración debe ser menor de 300 m³/m²-día (numeral C.7.5.1.3). Para el área total de filtración de 45,6 m² y con la velocidad máxima de filtración aceptada por las normas RAS-2000, el caudal máximo de filtración que podría tratar la estructura es de 158 L/s.

La velocidad de lavado se encuentra dentro del rango recomendado por las normas RAS-2000, que establecen un valor entre 0,6 y 0,9 m/minuto para el lavado del filtro.

Desinfección. En la planta de La Loma no hay cámara de contacto, por lo que debe impulsarse su construcción.

CONCLUSIONES

- Para la demanda del año 2017, se recomienda modificar las condiciones de mezcla rápida para obtener un resalto hidráulico estable.
- El floculador tiene capacidad para abastecer la demanda hasta el año 2034, garantizando el funcionamiento hidráulico adecuado con velocidades y gradientes de mezcla del agua con valores recomendados en las normas RAS 2000.
- La zona de repartición a la zona de sedimentación ofrece condiciones de funcionamiento ideales, puesto que en ésta se generan gradientes de velocidad bajos que no producen rompimiento del floc.
- Se recomienda modificar el vertedero de salida del agua sedimentada utilizando un vertedero tipo sierra.
- El sistema de filtración ofrece velocidades de filtración dentro de los parámetros de diseño recomendados por el RAS 2000, tanto para operación como para lavado.
- La planta de La Loma suministró agua potable en el año 2015, cumpliendo con los criterios de la norma colombiana.

REFERENCIAS

Guerrero, C.O.E. (2017, mayo). Evaluación de la PTAP del sector La Loma del Cabí, en el municipio de Quibdó. Trabajo de grado para la maestría en Ingeniería Civil. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

BIBLIOGRAFÍA

- Arboleda Valencia, J. (2005). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá, D.C.: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, D.C.: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Di Bernardo, L. (2005). *Métodos e técnicas de tratamiento de aguas*. Rio de Janeiro: Editorial Rima, 2005.
- Ministerio de Desarrollo Económico (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. RAS 2000, título C. Sistemas de potabilización*.
- Pérez Parra, J. (2009). *Manual de potabilización del agua*. Medellín: Editorial Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
- Rodríguez Díaz, A. (2009). *Hidráulica experimental*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. (2009). *Calidad del agua*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero Rojas, J. (2012). *Purificación del agua*. Bogotá, D.C.: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sotelo Ávila, G. (2006). *Hidráulica general*. México, D.F.: Editorial Limusa.

