

Recomendaciones para diseño y optimización de plantas de tratamiento de agua potable, considerando aspectos de funcionalidad y durabilidad

Recommendations for design and optimization of drinking water treatment plants, considering aspects of functionality and durability

Arrieta Lozano, Juan Jose.¹

¹Ingeniero Civil. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
Email: Juan_josearrieta@yahoo.es

Cite this article as: Arrieta Lozano Juan J. "Recommendations For Design And Optimization Of Drinking Water Treatment Plants, Considering Aspects Of Functionality And Durability", *Prospectiva* Vol 17, N° 2, 47-52, 2019.

Recibido: 04/10/2018 / Aceptado: 30/04/2019

<http://dx.doi.org/10.15665/rp.v17i2.1732>

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de problemáticas que se presentan en la operación de plantas de tratamiento de agua potable convencionales, cuyo origen se da desde la concepción inicial del proyecto de diseño. Este trabajo surge de las experiencias adquiridas en el trabajo rutinario realizado en el área de diseño y optimización de plantas de tratamiento de agua potable, y pretende dar recomendaciones prácticas para la concepción de diseños nuevos u optimización de sistemas existentes, en aspectos complementarios muy importantes especialmente referidos a la funcionalidad y durabilidad del sistema, y que en muchos casos no son tenidos en cuenta debido a que los diseñadores se centran en cumplir los parámetros y variables hidráulicos y sanitarios exigidos por las normas y la literatura de diseño ampliamente difundida y conocida.

Palabras claves— Durabilidad; Materiales; Funcionalidad; Operación; Plantas de Tratamiento; Procesos Unitarios.

ABSTRACT

In the present work was carried out an analysis of problems that are presented in the operation of conventional water treatment plants, whose origin occurs from the initial conception of the design project. This work comes from the experiences acquired in the routine work realized in the area of design and optimization of drinking water treatment plants, and this aims to give practical recommendations for the conception of new design or optimization of existing systems, in very important complementary aspects especially referred to the functionality and durability of the system, which in many cases are not taken into account because the designers focus on meeting the parameters and the hydraulic and sanitary variables required by the standards and the widely (and well-known) spread design literature.

Key Words—Durability; Materials; Functionality; Treatment Plants; Unit Processes.

1. INTRODUCCIÓN

Una planta de tratamiento de agua potable es un sistema concebido para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, de modo que sea posible su uso para el aprovechamiento de las diversas facetas de la sociedad.

Es muy común encontrar en nuestras comunidades más alejadas e incomunicadas plantas de tratamiento de agua potable (ya que el acceso al agua potable es un derecho fundamental para toda la población [1,2]) para el tratamiento de aguas superficiales y subterráneas, también es común observar que las mismas presentan graves inconvenientes de operación y mantenimiento, por lo general se observa que el grado tecnológico del sistema de tratamiento no es acorde al nivel socio económico de la población a la cual sirve. También es frecuente encontrar que los sistemas presentan altos grados de deterioro por los embates del clima y de las condiciones de sitio del lugar de ubicación de la planta. Está demostrado que los costos de optimización y/o rehabilitación de plantas de tratamiento son altos [3], es por tanto muy pertinente hacer diseños u optimizaciones que minimicen estos costos y uno de los aspectos más importantes al respecto es el uso de materiales idóneos para cada aplicación.

Para ejecutar la correcta optimización de una planta de tratamiento es importante hacer un análisis global, ya que los diseñadores en muchos casos se enfocan en el cumplimiento de normativas y criterios hidráulico-sanitarios, dejando de lado aspectos de durabilidad y servicio de la infraestructura que son de gran importancia en la operación del sistema. En algunas investigaciones encontradas al respecto se recomienda centrarse en el rendimiento global de la planta, en lugar de centrarse demasiado en los procesos individuales [4].

En el presente artículo se hace un resumen de las problemáticas observadas en diversas plantas de tratamiento en las que se ha realizado diagnóstico de su funcionamiento y se han detectado diversos inconvenientes, los cuales incluso fueron generados al momento de la concepción del diseño, al momento de hacer el diseño conceptual del sistema.

El presente trabajo pretende ser un referente que permita al lector tener en cuenta aspectos complementarios que son muy relevantes al momento de concebir un diseño o hacer una optimización de una planta de tratamiento de agua potable, además de cumplir con los parámetros comunes que se exigen por normativas a nivel hidráulico y sanitario.

2. METODOLOGIA

El trabajo realizado en la presente investigación consistió en la recolección, selección, clasificación y posterior análisis de información de campo de trabajos de optimización de plantas de tratamiento de agua potable en diversas poblaciones de la

costa Caribe Colombiana, fueron seleccionadas cuidadosamente las principales problemáticas observadas, y se hizo un análisis y descripción de las mismas para ser mostradas en el presente documento. Al hacer la recolección de la información, fase en la que se pudo conversar con personal operativo y administrativo, pudo evidenciarse principalmente las experiencias que ellos han tenido con los diversos materiales empleados en los elementos que conforman la planta de tratamiento y su aporte fue muy importante para llegar a las conclusiones del documento. El instrumento de medición empleado para establecer la durabilidad de los materiales fue la comparación entre las vidas útiles de los diferentes materiales tomando como referencia el material más durable y resistente a las condiciones del sitio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describen una serie de situaciones encontradas en el trabajo de campo, los cuales son complementados con comentarios propios al respecto y con literatura existente sobre el tema:

3.1 Uso de tecnologías no ajustadas al nivel socio-económico de las comunidades donde se implementan.

Es frecuente observar plantas compactas generalmente construidas en fibra de vidrio y/o acero al carbón con equipos electromecánicos para diversos módulos de tratamiento, generalmente estas plantas entran en desuso y deterioro debido a que las comunidades no cuentan con los recursos financieros y técnicos para el mantenimiento de los equipos. El mismo problema se observa en plantas convencionales, en la Figura 1 se muestra el uso de moto-reductores eléctricos para un sistema de floculación mecánica, Los mismos pueden quedar fuera de servicio después de cierto tiempo de uso en una planta de tratamiento convencional en una comunidad con nivel socioeconómico bajo. Filtros a presión de una planta compacta requieren de equipos de bombeo que pueden originar inconvenientes de operación.

Figura 1. Uso de moto-reductores eléctricos.
Figure 1. Use of Drivesystems



3.2 Uso de Sistemas de aplicación de químicos y mezcla rápida mal construidos

En la figura 2 se observa un método de aplicación de químicos coagulantes en el canal de aproximación a los floculadores, a la salida de tanque de quietamiento de agua cruda, lo que buscan es aprovechar la turbulencia generada por los desniveles para aplicar los químicos a través de mangueras y generar la mezcla rápida, pero sin ningún tipo de sistema de control ni medición, lo que ocasiona un mal funcionamiento. No hay equipo dosificador de sulfato y la dilución previa del producto se realiza manualmente, adicionalmente la planta de tratamiento no contaba con equipos de laboratorio para determinar la dosificación del producto. La figura 2 Muestra una canaleta parshall construida en sitio, No existía formación de resalto hidráulico en la canaleta, ni a la salida de la misma. Por consiguiente, no se estaba garantizando una adecuada mezcla del coagulante aplicado. La figura 3 Muestra un equipo de dosificación de sulfato de aluminio tipo B sólido, Se observa que el equipo de dosificación de coagulante solido es obsoleto y presenta fallas que producen paradas en el proceso.

Figura 2. Canaleta Parshall construida en sitio.
Figure 2. Parshall Flume built on site



Figura 3. Equipo de dosificación de Coagulante.
Figure 3. Coagulant dosing equipment



3.3 Sistema de floculación con problemas de operación y elementos básicos en mal estado

La figura 4 muestra una caída hidráulica generada en la comunicación de un módulo de tratamiento con otro, Este tipo de fenómenos hidráulicos a la salida de los floculadores producen rompimiento de floc y por ende problemas en el módulo de sedimentación que sigue a continuación de este. En La Figura 5 Los floculadores presentan tabiques construidos en concreto, los cuales se deterioran con facilidad ya que el recubrimiento del acero de refuerzo es insuficiente y debido a la corrosividad del coagulante este se oxida se expande y daña los tabiques. Cuando los tabiques son fabricados en poliestireno (Figura 6) se presentan problemas de cristalización por luz solar (si no están debidamente protegidos bajo techo), adicionalmente se deforman con facilidad y generan inconvenientes para su limpieza.

Figura 4. Caída hidráulica.
Figure 4. Hydraulic fall



Figura 5. Floculadores hidráulicos con baffles en concreto reforzado.
Figure 5. Hydraulic flocculators in reinforced concrete



La figura 5 muestra un caso en el que se encontró un problema de diseño, ya que los gradientes de las zonas de floculación no se ajustaban a un rango adecuado, tabiques demasiado separados, lo que impedía la formación de un floc óptimo. También se observa que no tiene áreas de tránsito

de operadores con sus barandas de seguridad lo que origina inconvenientes de operación.

La figura 6 muestra el uso de elementos en acero al carbón en contacto con el agua en el proceso de coagulación lo que hace que el coagulante genere altos problemas de deterioro de las estructuras por oxidación.

Es importante evitar el uso de elementos de acero al carbón y concreto con poco recubrimiento en procesos de floculación- coagulación “ya que los coagulantes usualmente empleados (PAC, Alumbre, Ayudantes De Floculación, etc.) son capaces de degradar los compuestos del cemento y de los metales” [5].

Figura 6. Floculadores hidráulicos con baffles en poliestireno.
Figure 6. Hydraulic flocculators in polystyrene



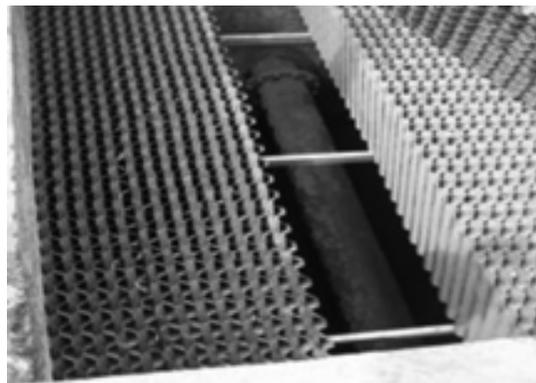
3.4 Problemas comunes en Sistema de sedimentación

Es frecuente encontrar sistemas de sedimentación de alta tasa que emplean placas paralelas de fibrocemento y asbesto cemento, dichos materiales no son convenientes para uso en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano.

La Figura 7 muestra un sistemas de alta tasa que emplean módulos hexagonales en ABS o PVC, se pudo evidenciar que estos materiales no son recomendados para ser instalados al aire libre(Sin cubierta) ya que se cristalizan con facilidad debido a la luz solar y su vida útil se reduce a menos de 3 años. (No se pudo verificar la durabilidad cuando están protegidos de la luz mediante techo).

Para la evacuación de lodos de un sedimentador de alta tasa mediante Sifones, Las tuberías de los mismos en PVC presentan problemas de cristalización, Por lo que Es requerido el empleo de materiales que garanticen la durabilidad necesaria para una vida útil conveniente. No es conveniente el uso de tuberías de PVC expuestas al sol debido a que se cristalizan con facilidad y en periodos de tiempo cortos.

Figura 7. Módulos de sedimentación acelerada en ABS.
Figure 7. Accelerated sedimentation modules in ABS



3.5 Inconvenientes comunes Sistema de filtración

En algunos filtros se presenta Perdida de lecho filtrante debido a que lámina de agua durante el lavado con aire está al nivel de la canaleta de lavado, no se le dio suficiente altura al vertedero de salida para evitar que la normal expansión del lecho quedara por debajo del nivel de salida. Además, no se realiza una correcta recolección de las aguas de lavado lo que origina Re-suspensión de partículas de arena durante el lavado y altera su disposición en el lecho.

Se encontraron filtros con muy baja tasa de filtración para su correcto funcionamiento, con falso fondo en bloque de arcilla vitrificada (el cual es obsoleto), El lecho de filtración no era adecuado (No cumplían normativa AWWA 100-89), y Las tuberías de lavado con aire se encontraban cristalizadas, adicionalmente usaban compuertas para control de flujo las cuales se encontraban deterioradas por el tiempo y no eran herméticas.

La figura 8 muestra un filtro fuera de operación, es frecuente encontrar plantas de tratamiento que no tienen control de nivel de agua a la salida del filtro (Vertedero de salida), esto origina que para bajos caudales o al inicio de las carreras de filtración el material filtrante quede expuesto al ambiente y se deteriore aceleradamente, siempre debe ubicarse la salida de los filtros por encima de lecho filtrante de modo que este nunca quede seco.

Figura 8. Lecho de filtración en arena.
Figure 8. Sand filtration bed



3.6 Inconvenientes en Sistemas de desinfección mediante cloración

El cloro es la opción ideal y más común en nuestro medio en sus diversas presentaciones como cloruro de calcio (sólido), hipoclorito de sodio (líquido) o gas cloro (Gaseoso). Es importante sin embargo evaluar el uso de gas cloro en pequeñas comunidades pues genera inconvenientes logísticos para su aprovisionamiento, adicionalmente las bombas de alta presión requeridas para su funcionamiento se deterioran y salen de operación afectando el proceso de inyección de cloro.

Es de resaltar que “el uso de sistemas de ozono es más efectivo que la cloración” [6]. Sin embargo, debido a los altos costos del sistema lo han hecho inviable en nuestra realidad. Es importante evaluar este sistema en comunidades con alto grado de complejidad ya que nos garantizan una mayor efectividad en la eliminación de patógenos (Giardia, etc).

3.7 Inconvenientes en el manejo de lodos

El tratamiento de lodos está ampliamente descrito en la bibliografía de tratamiento de agua potable [7],[8],[9],[10],[11]. Sin embargo, debido a los costos que genera su correcta disposición es frecuente encontrar que no se hace tratamiento a los mismos y es vertido en cuerpos de agua cercanos [12]. Para pequeñas y medianas comunidades es recomendable el uso de lechos de secado lo que permite reducir porcentaje de humedad, y al existir terrenos económicos disponibles, es fácil su acumulación y es posible mejorar aún más su porcentaje de humedad para luego ser dispuesto en un sitio adecuado.

3.8 Impacto ambiental de plantas de tratamiento de agua potable.

Dependiendo del tipo de planta de tratamiento de agua potable los mayores impactos ambientales están relacionados con el uso de Coagulantes en un 43 a 73% y el consumo de energía eléctrica en un 67 a 85% del impacto total según el tipo de planta. [13]

3.9 Notas complementarias sobre calidad de agua.

A nivel de calidad microbiológica del agua potable los indicadores más importantes y de difícil detección y eliminación para comunidades de nivel socio económico bajo son la presencia de protozoarios tales como la *Cryptosporidium* spp y la *Giardia* spp las cuales producen enfermedades parasitarias que generan diarreas severas que pueden comprometer la vida de las personas, se ha demostrado que el uso de aguas crudas contaminadas con descargas de alcantarillados y heces de bovinos y con alta turbidez y color son proclives a la presencia de estos protozoarios [14,15].

CONCLUSIONES

Se encontró que existen diversas problemáticas en las plantas de tratamiento que se estudiaron para la elaboración del presente documento, se observa que las problemáticas principales están asociadas al uso de materiales y tecnologías no apropiadas que generan problemas en la operación, ya que en el caso de los materiales estos sufren deterioros graves que afectan la integridad de las estructuras. En el caso del tipo de tecnología empleada se evidencia el uso de equipos no acordes a los niveles socioeconómicos de la población atendida lo que genera problemas de intermitencia en la prestación del servicio debido a fallas graves que no pueden ser solucionadas rápidamente debido a su costo y dificultad.

RECOMENDACIONES

Son recomendables las siguientes consideraciones:

- Para comunidades con niveles socioeconómicos medio y alto es preferible usar tecnología de punta, con el respaldo de marcas Reconocidas en el mercado y con respaldo adecuado de garantías y Mantenimientos. Se deben concebir proyectos automatizados con monitoreo de variables físicas, químicas y microbiológicas.
- Se deberá tener en cuenta los tipos de materiales a emplear para la construcción de las plantas de tratamiento, son preferibles materiales como hierro dúctil(HD), Poliéster Reforzado Con Fibra De Vidrio (PRFV), Aceros Inoxidable (Calidad 304,316), Polietileno De Alta Densidad (PEAD), polipropileno (PP), ABS(Acrilonitrilo Butadieno Estireno), Concreto Reforzado Impermeabilizado con aditivos especiales, recubrimiento para el acero el refuerzo del concreto mínimo de 7,5 cm para elementos en contacto con agua en tratamiento. El uso del PVC y ABS debe limitarse a elementos que no estén expuestos a luz solar. En la referencia [16] se hace una descripción de los materiales a usar en tuberías desde distintos puntos de vista los cuales son aplicables al uso de estos en planta de tratamiento de agua potable.
- No se recomienda el uso de materiales como: Acero al Carbón A36, Poliestireno expuesto a luz solar, PVC expuesto a luz solar, ABS expuesto a luz solar, cuando estos van a estar en contacto con agua de tratamiento en ninguno de los procesos unitarios.
- Se sugiere no utilizar materiales como Fibro-Cemento, o Asbesto- Cemento, para elementos y estructuras en contacto con agua en ninguno de los procesos unitarios de tratamiento.
- Para plantas de tratamiento con caudales de diseño iguales o inferiores a 5 lps, se recomienda el uso de plantas compactas con funcionamiento completamente hi-

dráulico, y con el uso del menor número posible de equipos electromecánicos. Dicha planta puede ser fabricada en concreto reforzado o PRFV.

- Para comunidades de niveles socioeconómicos bajos es preferible el uso de sistemas con funcionamiento completamente hidráulico. Está demostrado que el uso de equipos electromecánicos genera mayores costos de mantenimiento y operación debido al consumo de energía eléctrica [17].

- Se recomienda el uso de recubrimientos protectores de las estructuras y elementos que componen un sistema de tratamiento de agua potable, ya que estos brindan una mayor protección contra agentes ambientales y operacionales que afectan su vida útil, es conveniente su uso en tuberías y accesorios metálicos. [18].

- En optimización de plantas debe tenerse ante todo presente que las obras a proyectar no deben producir inconvenientes en la calidad y continuidad de producción de agua potable. Debe tenerse presente que las obras a ejecutar serán concomitantes con la producción de agua potable, por ende siempre deben haber mínimo dos trenes por cada módulo de tratamiento para que pueda trabajarse en un módulo y producir agua potable en el otro. En el caso de plantas que presente un solo tren de tratamiento ya sea en uno o en todos los módulos, la primera consideración de optimización debe ser la proyección de dos trenes de tratamiento. Con esto también se consigue mejorar las condiciones operativas de la planta de modo que puedan salir del servicio módulos para limpieza y trabajos de reparación que siempre serán requeridos.

- Para pequeñas comunidades siempre será preferible el uso de aguas Subterráneas, en caso de que deba usarse aguas superficiales las captaciones deberán ubicarse en sitios lejanos a descargas de alcantarillado y heces de bovinos, además se debe escoger la fuente superficial con la menor turbidez y color posible de modo que se prevenga la presencia de protozoarios tales como la *Cryptosporidium* spp y la *Giardia* spp . Estas consideraciones permiten tratamientos más económicos y una mejor agua cruda para potabilizar.

REFERENCIAS

- [1] M. de O. Celso, "Sustainable access to safe drinking water: fundamental human right in the international and national scene" *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 12, núm. 6, noviembre-diciembre, 2017, pp. 985-1000 . Universidade de Taubaté .Taubaté, Brasil.
- [2] L. A., Bohórquez, "Bioética del derecho al agua potable". *EL ÁGORA USB*, vol. 16, núm. 1, enero-junio, 2016, pp. 287-304. Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín. Medellín, Colombia.
- [3] S. Rahman and T. Zayed, "Condition Assessment of Water Treatment Plant Components," *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 23, no. 4, pp. 276–287, 2009.
- [4] I. Piri, I. Homayoonzhad, and P. Amirian, "Investigation On Optimization Of Conventional Drinking Water Treatment Plant," in *ICBEE 2010 - 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, Proceedings*, 2010, pp. 304–310.
- [5] L. S. McNeill and M. Edwards, "Degradation of Drinking Water Treatment Plant Infrastructure from Enhanced Coagulation," *J. Infrastruct. Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 145–156, 2003.
- [6] B. Benjamin, W. L. Jr, W. E. Koffskey, and K. S. Patterson, "Alternative Disinfectants For Drinking Water Treatment. *Journal of Environmental Engineering*," vol. 120, no. 4, pp. 745–758, 1995.
- [7] J., Arboleda V., *Teoría y Práctica De La Purificación Del Agua.*, Tercera Ed., Santa Fe De Bogotá: Rodrigo Pertuz Molina, 2000.
- [8] J. A. Romero R., *Purificación Del Agua*, Primera Ed., Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, 2000.
- [9] Degrémont., *Manual Técnico del Agua*, Cuarta Edi. BILBAO ESPAÑA: GRAFO SA, 1979.
- [10] J. Edzwald, *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water*, Sixth Edition, Sixth Edit. New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico, City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto, 2011.
- [11] N. Kresic, "Groundwater Treatment," *Groundwater Resources: Sustainability, Management, and Restoration*. McGraw Hill Professional, Access Engineering, 2009.
- [12] J. A. Gutiérrez-R., Á. I. Ramírez-F., R. Rivas, B. Linares, and D. Paredes, "Tratamiento De Lodos Generados En El Proceso Convencional De Potabilización De Agua," *Ing. Univ. Medellín*, vol. 13, no. 25, pp. 13–27, 2014.
- [13] O. O. Ortíz R., R. A. Villamizar-G., R. G. García, "Life Cycle Assessment Of Four Potable Water Treatment Plants In Northeastern Colombia," *Ambient. e Agua - An Interdiscip. J. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, p. 268, 2016.
- [14] J. Campos A., et al. "Occurrence of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in a public water-treatment system, Paraná, Southern Brazil". *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, vol. 24, núm. 3, julio-septiembre, 2015, pp. 303-308 Colégio Brasileiro de Parasitologia Veterinária Jaboticabal, Brasil.
- [15] R. Dos Santos T., F. D. Cardoso M., R. Lemos F., "Waterborne *Giardia* And *Cryptosporidium*: Contamination Of Human Drinking Water By Sewage And Cattle Feces". *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 38, núm. 5, septiembre-octubre, 2017, pp. 3395-3415 Universidade Estadual de Londrina. Londrina, Brasil.
- [16] M. M. Keinänen-T., "Functions Of Drinking Water Pipe Materials- Reason Or Result Of Water Quality?," *Water Distrib. Syst. Anal. Symp.* 2006, pp. 1–6, 2008.
- [17] S. Ghimire and B. Barkdoll, "Issues In Energy Consumption By Municipal Drinking Water Distribution Systems," *World Environ. Water Resour. Congr.*, pp. 1–10, 2007.
- [18] J. L. Pey, "Corrosion Protection Of Pipes, Fittings And Component Pieces Of Water Treatment And Pumping Stations," *Anti-Corrosion Methods Mater.*, vol. 44, no. 2, pp. 94–99, 19