

Diseño Planta de Tratamiento Potable Convencional, Matacañas, Orocovis

Juan M. Carrer Rivera

Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Mentor: Christian Villalta Calderón, Ph.D.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Abstracto — *Actualmente uno de los problemas existentes en Puerto Rico es la intermitencia en el servicio de agua potable de parte de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA). Los residentes de la región norte de los municipios de Morovis y Vega Baja se afectan constantemente debido a que sus dos plantas de filtración se quedan fuera de operación debido a obstrucción en la toma de la represa causado por las crecientes o por falla en el servicio eléctrico dejando pozos o sistemas de bombeo fuera de operación si no tienen un generador. Este proyecto expone el diseño de una nueva planta que cumpla con los requisitos de suplir agua a los residentes de los municipios mencionados para que tengan un servicio constante.*

Palabras Claves — *Autoridad de Acueductos y Alcantarillados, Plantas de Filtración, Servicio Eléctrico, Sistema de Bombeo.*

INTRODUCCIÓN

Llamamos agua potable al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud. Por eso, antes de que el agua llegue a nuestras casas, es necesario que sea tratada en una planta de filtración. En estas plantas el agua se limpia y se trata hasta que está en condiciones adecuadas para consumo humano [1].

Se denomina una estación de tratamiento de agua potable al conjunto de estructuras en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir con el mismo requisito: combinación de barreras

múltiples para alcanzar bajas condiciones de riesgos, tratamiento integrado para producir el efecto esperado y tratamiento por objetivo.

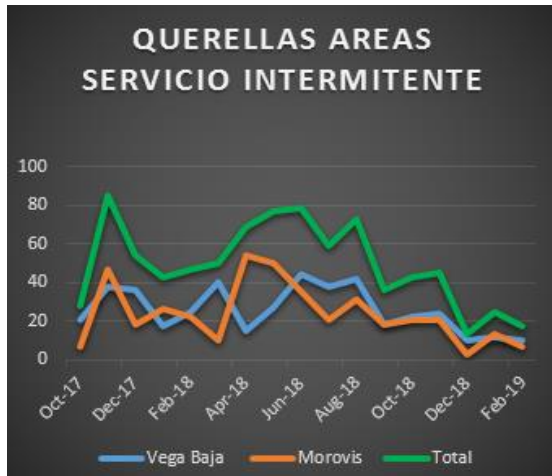
Una planta de tratamiento debe operar continuamente y si no se cuenta con un volumen de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Los procesos de una planta de tratamiento de agua potable son pre-clorinación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y distribución.

Para el desarrollo de este proyecto se diseñará una planta de tratamiento de agua potable de 42 MDG para suplir y optimizar el sistema de los municipios de Morovis y Vega Baja, a su vez con la capacidad de reforzar y/o sustituir el sistema del Súper Acueducto del Norte para los pueblos de Vega Alta y Dorado.

JUSTIFICACIÓN

La misión de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados es brindar un servicio de agua de forma eficiente, sostenible y cuidando el medio ambiente. No obstante en el municipio de Morovis el aumento en los niveles de turbidez y la obstrucción de aguas crudas han provocado una disminución en la producción de agua potable. Las fuertes lluvias que se registran en la cuenca hidrográfica de los ríos, provocan la crecida de estos cuerpos de agua causando turbidez y obstrucción, lo que provoca que la planta trabaje a mitad de capacidad o este fuera de operación. Data recopilada desde Octubre de 2017 después de María nos muestra la cantidad de querellas de servicio intermitente en Morovis y Vega Baja, creando malestar en los residentes de dichos municipios (tabla 1).

Tabla 1
Data Querellas Vega Baja y Morovis Servicio Intermitente
 [2]



El desarrollo de esta Planta de Tratamiento potable es muy positiva en varios factores:

- Elimina las dos Plantas de filtración del municipio de Morovis (Morovis Urbano y Morovis Sur)
- Elimina las tomas o represas de Morovis Urbano y Morovis Sur.
- Elimina Pozos Pugnado 1 y 2 en Vega Baja y Pozos Maguayo en Dorado.
- La eliminación de estas facilidades crea un ahorro energético considerable.
- Refuerza sistema de Super Acueducto de Vega Baja.
- Dicha planta tiene la capacidad de reforzar el área norte de la isla.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto aquí expuesto busca desarrollar una herramienta para poder diseñar una Planta de Tratamiento de Agua Potable de forma rápida y sencilla mediante una hoja de excel. Tomaremos el diseño de una Planta de Tratamiento de agua Potable en el barrio Matacañas localizada en el pueblo de Orocovis Puerto Rico, con el propósito de mejorar el sistema de agua potable, eliminando el servicio intermitente y a su vez creando una operación más eficiente y el posible ahorro energético al eliminar 2 plantas de filtración de Morovis, (Morovis Sur y Morovis Urbano), los

Pozos Pugnado 1 y 2 de Vega Baja los pozos Maguayo de Dorado.

La localización del proyecto se encuentra en la carretera PR-155 del barrio Matacañas, tiene como localización coordenadas: Latitud 18.271365 y Longitud -66.380901. Ver Figuras 1 y 2.



Figura 1:
Área de Embalse y Planta Matacañas [3]



Figura 2
Área de Embalse y Planta Matacañas [3]

METODOLOGÍA

El diseño e implementación de los procesos de tratamiento dependerá de una evaluación de la naturaleza y calidad particular del agua que se va a tratar y de la calidad deseada del producto final. El primer paso para el diseño de una planta de tratamiento potable es la toma de agua. Las tomas de aguas se deben localizar en lugares donde [2]:

- Se pueda evitar la contaminación del agua de la toma.
- Donde se pueda pronosticar los posibles cambios en el curso del río.
- Donde se pueda minimizar los efectos de las inundaciones del material flotante.

- En lugares donde se pueda proveer el acceso adecuado para el mantenimiento y las reparaciones de la toma.
- Donde se pueda proveer una provisión para futuras expansiones de la toma.
- Donde se pueda mantener la capacidad para el flujo de diseño durante periodos de sequía.
- Donde se pueda minimizar el impacto en la vida acuática.
- En un lugar donde existan buenas condiciones geológicas, un lugar estable.
- Proveer espacio adecuado para maniobrar vehículos cerca de la estructura.

Existen diferentes tipos de tomas de aguas [2]:

- Torre: Dentro y rodeada de agua
- Toma de ribera: en los ríos
- Toma con sifón: en los ríos
- Suspendidas
- Flotantes
- De Lecho Poroso

Para este proyecto de diseño se utilizarán tomas de ribera.

Los criterios de diseño para las tomas de agua de Ribera son:

- Ubicación: Profundidad mínima del agua es de 6 pies, usualmente implica embalsar aguas debajo de la toma.
- Estructura: que permita entrada de agua a diferentes profundidades.
- Boca de la toma: sección transversal debe permitir V_{max} de 1.5ft/s, debe poder ser reducida a menos de 1 ft/s si se acumula mucha basura.
- Barras gruesas de acero provistas a la entrada de 0.5 – 0.75 in de espesor espaciadas a 2 – 3 in de cada una. V_{max} a través de las barras debe ser < 2 ft/s.
- Rejillas finas: instaladas aguas abajo debajo de las barras o antes del desarenador con aperturas de 3/16 – 3/8 in y evitan la entrada de desperdicios pequeños como palitos, corteza, hojas y peces.

- Capacidad hidráulica: demanda máxima diaria de los próximos 50 años.
- Velocidades de tuberías: 3 – 4 ft/s para minimizar la acumulación de sedimentos en estas.
- Tubería debe estar protegida por 3 – 4 pies de cubierta y 1 yd cúbica de piedra por pie lineal de tubería [2].

Preoxidación

Desnaturalizar olor y sabor que proviene de ácidos fúmicos y fulvicos Para la preoxidación la dosis promedio aplicada para el tratamiento es: [2]

- Olor: 1 – 3 mg/L de cloro. Obteniendo el promedio tenemos que para el control de los olores es de 2 mg/L de cloro.
- Sabor: 1 – 3 m/L de cloro. Obteniendo el promedio tenemos que para el control de los sabores es de 2 mg/L de cloro

Por lo tanto para el diseño se utilizó 2 mg/L de cloro para el control de los olores y sabores [2].

Cálculo del Flujo de Masa

$$FM = QC$$

$$FM = (42MGD) * (2mg/L) * (8.43lb/MG/mg/L)$$

$$FM = 708.12 \text{ lb/día}$$

donde

FM= Flujo de masa

Q= Flujo de diseño

C= Concentración

El punto de inyección es el punto donde físicamente se añade a todo el caudal de agua. El dosificador prepara una solución matriz que a su vez es la que se le inyecta al agua. La solución matriz puede ser de 1 – 5 %. Para el diseño se escogió 2%.

Para la determinación de almacenaje de cloro tenemos tanques de 2000 lbs. Realizando el cálculo se necesitan alrededor de 11 tanques de cloro al mes.

Concepto de Redundancia [2]

- Construir facilidades duplicadas para el caso de fallas.
- Incluir válvulas para aislar la tubería.

- Se utilizará un mezclador estático. Cámara de contacto con cloro [2]
- Canal en zigzag para proveer 30 minutos de contacto a flujo promedio de la planta y 15 minutos para flujo máximo.
- Se escogió un mínimo de dos tanques para la redundancia.

Coagulación

La coagulación es la desestabilización de partículas mediante la adición de sustancias químicas, coagulantes. Este trabajo se realiza en tanques de mezcla rápida en los cuales el agua es sometida a una agitación muy fuerte, para generar así una solución homogénea del coagulante y el agua en poco tiempo. Se encarga de neutralizar las cargas en el agua, libera cargas positivas en el agua para que se neutralicen las cargas negativas de los coloides.

Este proceso se usa para remover del agua:

- Separación de la turbiedad orgánica e inorgánica que no se sedimenta rápidamente.
- Eliminación de color verdadero y aparente.
- Eliminación de algas y plantación general.
- Extraer sustancias productoras de sabor y olor.
- Bacterias y virus.

La dosificación de un coagulante consiste en adicionar una sustancia química en una cantidad exacta a todo un caudal mediante ensayos de jarras, para obtener dosis exacta de coagulante como resultado después de cada proceso. La coagulación se realiza mediante la adición de sulfato de aluminio o cloruro férrico y polímeros. Estos compuestos se usan porque son los que aglutinan los sólidos en suspensión presentes en el agua.

Mezcla Rápida

Este es el proceso mediante el cual los químicos añadidos son dispersados rápida y uniformemente en el agua. Hay dos tipos de mezcladores rápidos: Mecánicos e Hidráulicos. Mediante estos dos métodos se genera una turbulencia tales como [4]:

- Resaltos hidráulicos en canales

- Canaletas Parshall
- Vertederos rectangulares
- Tuberías de succión de bombas
- Mezcladores mecánicos en línea
- Rejillas difusoras
- Chorros químicos
- Tanques con equipo de mezcla rápida

Para mezcladores rápidos mecánicos, los tanques se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones, lo cual agita el agua de forma violenta y propicia la mezcla rápida y uniforme del coagulante [4].

Hay tres tipos de componentes de flujo inducidas por un impulsor rotatorio:

- Axial
- Radial
- Tangencial

Los componentes axiales son buenos para la mezcla, mientras que los tangenciales pueden limitar la magnitud de la mezcla al causar remolino.

Los mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se disponen de suficiente energía en el flujo de entrada. En general se usan:

- Resaltos hidráulicos
- Canaletas Parshall
- Tubos Venturi
- Dispersores de tubos perforados
- Tanques con baffles para disipar la energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante [4].

Los criterios de diseño para la mezcla rápida son de:

- Tiempo de retención de 5 – 30 segundos
- Gradiente tridimensional de velocidad de 250 – 1500 l/s
- $G_{td} = 1250 - 30000$

Floculación

Es el proceso mediante el cual se realiza una agitación moderada del agua para que haya una aglomeración de las partículas y se desestabilicen durante la coagulación, lo más importante de este proceso es formar microfloculos con un peso superior al del agua, compactar el floculo disminuyendo el gradohidratación y así producir baja concentración volumétrica para ser removidos fácilmente por sedimentación y filtración. La floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como [5]:

- La carga eléctrica de la partícula
- La capacidad de intercambio
- El tamaño y la concentración del floc
- El Ph
- La temperatura del agua
- La concentración de los electrolitos.

La velocidad de la agitación no debe ser tan alta que fraccione los floculos ni tan lenta que permita que esto se sedimente.

Los factores que influyen en la floculación son:

- **La concentración y naturaleza de las partículas:** la velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.
- **Tiempo de detención:** la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo mas cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras. Por razones de orden práctico el número de cámaras no puede ser muy grande, estableciéndose un mínimo de tres unidades.
- **Gradiente de velocidad:** factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc. El gradiente a través de las cámaras debe ser decreciente y no se deben

tener cámaras intermedias con gradientes elevados.

Al igual que en la mezcla rápida, los floculadores pueden ser mecánicos (figura 3) o hidráulicos (figura 4). Los floculadores hidráulicos están compuestos por paletas o rastrillos y son agitados por un motor para lograr el movimiento del agua. La ventaja de un floculador hidráulico es la inexistencia de equipo mecánico y mínimo mantenimiento. La desventaja es la alta perdida de carga y poca flexibilidad de control en el grado de mezcla. La ventaja de los floculadores mecánicos es la alta flexibilidad de control en el grado de mezcla y su desventaja es la existencia de equipo mecánico y mantenimiento.[5]

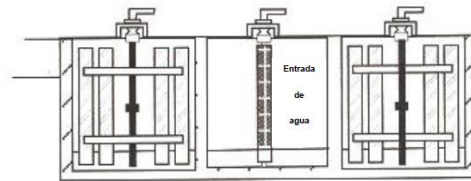


Figura 3
Floculadores Mecánicos [5]

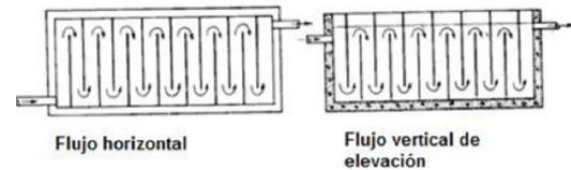


Figura 4
Floculadores Hidráulicos [5]

Sedimentación

La sedimentación se usa principalmente para remover sólidos suspendidos sedimentables, remoción de material orgánico y para espesamiento de lodos. Existen cuatro tipos de sedimentación:

- **Tipo 1 o discreta:** partículas se sedimentan sin adherirse unas a las otras.
- **Tipo 2 o floculante:** las partículas que sedimentan con velocidades de sedimentación diferentes se adhieren unas a las otras, cambiando su tamaño y velocidad según se hunden.
- **Tipo 3 o sedimentación de zona:** ocurre en suspensiones con concentraciones mayores de 500mg/l creando una interfase sólido- líquido.

- **Tipo 4 o compresión:** ocurre cuando el peso de los sólidos de arriba le exprimen agua a los sólidos que están más abajo.
Criterios de diseño
- Carga hidráulica vertedores de salida = 20,000 – 30,000 gal/día por longitud
- Largo – Ancho = $L/W > 6$, $W/H = 6$
- Ancho – Profundo = $W/H = 1 - 3$, $W/H = 2$ para tiempos detención más pequeños
- Pendiente fondo sedimentador = 2%

Filtración

Proceso físico-químico que remueve los sólidos suspendidos residuales que escaparon de la sedimentación. Proceso donde la presión del agua fuerza esta a pasar a través de un lecho poroso donde los sólidos suspendidos quedan atrapados. Los mecanismos de transporte físicos que llevan los sólidos suspendidos a la superficie del grano son:

- Inercia
- Difusión
- Intercepción
- Sedimentación
- Gradiente Hidrodinámico

Los criterios de diseño son:

- Fijar el flujo de diseño
- Seleccionar tipo de filtro = filtro dos medios
- Seleccionar carga hidráulica máxima $Q/A = 7$ gpm/ft²
- Calcular el número de filtros = 2.5MGD/filtro

Para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos como arena, ó arena y antracita (antracita = carbón mineral, 95% de carbón).

Son muchos los sistemas de filtración y se clasifican de la siguiente manera:

- La dirección del flujo
- Tipo de lecho filtrante
- La fuerza impulsora
- La tasa de filtración (lentos, rápidos ó de tasa alta)
- Método de control de la tasa de filtración

Para el diseño de este proyecto se utilizó los filtros rápidos que son filtros de arena con lavado ascensional, con tasas de filtración mayores y áreas menores.

Desinfección

Es el proceso que se realiza para eliminar los microorganismos patógenos que puedan haber en el agua que ha sido sometida a los tratamientos primarios y secundarios. Un buen proceso de desinfección debe inactivar en el menor tiempo posible todos los agentes patógenos usando bajas dosis y sin formar residuos potencialmente dañinos para las aguas receptoras finales. Dichos desinfectantes pueden clasificarse en:

- Desinfectantes químicos, se emplea cloro en varias formas (gas, hipoclorito, dióxido de cloro, ozono, etc).
- Desinfectantes físicos, se encuentran sólo los rayos ultravioletas.

El sistema de cloración más difundido en las plantas de tratamiento son hipoclorito de sodio (NaClO) y de calcio (CaCl₂O). Las desinfecciones por dióxido de cloro no son adecuadas en pequeñas plantas ya que requieren de un mayor personal especializado y mucha vigilancia en su uso.

RESUMEN DE RESULTADOS

Para el diseño de la planta potable convencional de este proyecto se utilizó un flujo de diseño de 42 MGD (tabla 2).

Tabla 2
Diseño Toma de Agua

Espaciamiento (Ws)	1.5 in
Ancho de barras (Wb)	0.3 in
Ancho de la boca W	7 ft
Altura de la boca H	6 ft
Diámetro tubería	5 ft

El número de barras que se obtuvo para un flujo de 42 MGD fue de 46.

Para la preoxidación, utilizando una concentración de cloro de 2 mg/l se obtuvo:

- Un Flujo masa de 708.12 lbs/día
- Se utilizó tanques de 2000 lbs para que sea menos trabajoso para el operador estar cambiando al mes. Siendo de esta cantidad se estarían utilizando alrededor de 11 tanques al mes.
- El número de canales son 6

En el proceso de coagulación la concentración del polímero es de 5 mg/l. El suplidor vendrá cada dos meses y lo que proveerá son tanques de 55 galones. Con estos parámetros se obtuvo:

Flujo Masa (FM) = QC, donde
 Q = flujo de diseño
 C = concentración del polímero
 $FM = (42MGD) \cdot (5mg/l) \cdot (8.34lbs/MG/mg/l)$
 $FM = 1,751.4 \text{ lbs/día}$

Siendo cada dos meses tenemos,
 $FM = (1,751.4 \text{ lbs/día}) \cdot (2)(30)$
 $FM = 105,084 \text{ lbs/día}$

El número de tanques obtenido es de 208 tanques de 55 galones cada 2 meses.

Mezcla Rápida

Tabla 3
Diseño de Mezcla Rápida

Volumen tanque	1,137.3 ft ³
Dimensiones	10 ft
Potencia	38 hp
Revoluciones	1.5 rpm

El tiempo de detención asumido es de 17.5 segundos.

Floculación

Se asumió una configuración de los ejes de las paletas en relación al movimiento del agua. Se escogieron ejes verticales para el diseño. Asumiendo un valor de gradiente tridimensional de velocidad, $G = 30 \text{ l/s}$ y el valor para $Gt = 4 \times 10^4$.

Para calcular el tiempo de detención:

$T_d = D_t / G$
 $T_d = (4 \times 10^4) / (30) = 13333.3 \text{ s}$
 $T_d = 22.2 \text{ min}$

Volumen del tanque:
 $V = Q_d \times t_d$

$$V = (42 \times 10^6 \text{ gal/d}) \cdot (1,333.3 \text{ s}) / (86,400 \text{ s}) \cdot (7.48 \text{ gal})$$

$$V = 86,650.8 \text{ ft}^3$$

Para el diseño se asumió:

$$W = 38 \text{ ft y } H = 20 \text{ ft}$$

$$H \cdot L = V / W = 86,650.82 / 38 = 2,280.3 \text{ ft}^2$$

$$L = HL / H = 2,280.3 / 20 = 114.01 \text{ ft}$$

Compartimientos: tres compartimientos cuadrados.

$$L_{\text{comp}} = L / NC = 114.01 / 3 = 38 \text{ ft}$$

Cálculo de la potencia del agua: $P = \mu V(G^2)$, donde
 $\mu = 1.67 \times 10^{-5}$

Sustituyendo valores,

$$P_1 = 784.23 \text{ ft-lbs/s}$$

$$P_2 = 441.14 \text{ ft-lbs/s}$$

$$P_3 = 196.06 \text{ ft-lbs/s}$$

Partiendo de la profundidad H se puede dimensionar los diámetros de las paletas con la ecuación $D_p = H - 2D_{sp}$, siendo $D_{sp} = 1.5$.

Sustituyendo tenemos:

$$D_p = 20 - 2 \cdot 1.5$$

$$D_p = 17 \text{ ft}$$

El radio de las paletas se define como:

$$R_p = D_p / 2$$

$$R_p = 17 \text{ ft} / 2 = 8.5 \text{ ft}$$

El largo de las paletas es:

$$L_p = W - 2D_{sp}$$

$$L_p = 38 \text{ ft} - 2 \cdot 1.5 = 35 \text{ ft}$$

El ancho de las paletas es:

$$W = V_i / (H \cdot L_{\text{comp}}), \text{ donde } V_i = 28,883 \text{ ft}^3$$

$$W = 28,883 \text{ ft}^3 / (20 \text{ ft} \cdot 38 \text{ ft}) = 38 \text{ ft}$$

El alto de las paletas es:

$$hp = 12 \text{ in y el espaciamiento } 0.5 \text{ in.}$$

Los cálculos de los radios de cada paleta:

$$R_1 = R - (hp/2) = 8.5 - (1/2) = 8 \text{ ft}$$

$$R_2 = R - hp - dep - (hp/2)$$

$$R_2 = 8.5 \text{ ft} - 1 \text{ ft} - 0.41 \text{ ft} - (1 \text{ ft}/2) = 6.58 \text{ ft}$$

$$R_3 = R - 2hp - 2dep - (hp/2)$$

$$R_3 = 8.5 \text{ ft} - 2 \cdot 1 \text{ ft} - 2 \cdot 0.41 \text{ ft} - (1 \text{ ft}/2) = 5.17 \text{ ft}$$

Las velocidades tangenciales para la paleta 1 se asumió 3.28 ft/s.

$$\omega = V_t = 2\pi R, \text{ sustituyendo valores}$$

$$\omega = 0.06 \text{ rps}$$

$$V_{t2} = 2\pi\omega R^2 = 2.69 \text{ ft/s}$$

$$V_{t3} = 2.12 \text{ ft/s}$$

Las velocidades relativas tenemos:

$$V = (1 - k)V_t, \text{ donde } k = 0.25$$

$$V_{rel1} = (1 - 0.25)*3.28 = 2.46 \text{ ft/s}$$

$$V_{rel2} = 2.02 \text{ ft/s}$$

$$V_{rel3} = 1.59 \text{ ft/s}$$

Para determinar la potencia final en el agua tenemos la siguiente ecuación:

$$P = 0.5 * C * d\rho * A * V_{rel}^3, \text{ donde}$$

$$C_d = 1.5 \text{ y } A = L_p * hp$$

$$P = 1.9325$$

$$A = 35 \text{ ft} * 1 \text{ ft} = 35 \text{ ft}^2$$

$$P_1 = 0.5 * 1.5 * 1.9325 * 35 * 2.46^3 = 755.18 \text{ lbs-ft/s}$$

$$P_2 = 420.84 \text{ lbs-ft/s}$$

$$P_3 = 203.43 \text{ lbs-ft/s}$$

Comparando la potencia inicial con la final se verifica si da menor que 0.05%:

$$[784.23 - 755.18] / \text{valor m\u00ednimo } P_{inicial}, P_{final}$$

Por lo tanto,

$$P_1 = .03 < .05 \text{ CUMPLE}$$

$$P_2 = .04 < .05 \text{ CUMPLE}$$

$$P_3 = .03 < .05 \text{ CUMPLE}$$

Al cumplir las tres potencias se calcula la potencia del motor con eficiencia de 70%:

$$P_{m1} = P / 550E = 784.23 / 550 * .7 = 1.96 \text{ hp}$$

$$P_{m2} = 1.09 \text{ hp}$$

$$P_{m3} = 0.52 \text{ hp}$$

Sedimentador

Para el dise\u00f1o de sedimentador se escogi\u00f3 de forma rectangular, por lo que el par\u00e1metro de dise\u00f1o es de 1,000 gpd/ft². Para un flujo de 42 MGD mi NT (n\u00famero de tanques) es igual a 16.

$$Q/A = [(NT - 1)/NT] * \text{par\u00e1metro de dise\u00f1o}$$

$$Q/A = [(16-1)/16] * 1000 = 937.5 \text{ GPD}$$

$$A_{superficial} = 42,000,000 \text{ gpd} / 937.5 \text{ gpd} = 44,800 \text{ ft}^2$$

$$A = 44,800 \text{ ft}^2 / 16 = 2,800 \text{ ft}^2$$

Para las dimensiones se utiliz\u00f3 las relaciones A/6, W*6 y L/12 obteniendo,

$$W = \sqrt{(2,800 \text{ ft}^2 / 6)} = 22 \text{ ft}$$

$$L = W * 6 = 21.6 \text{ ft} * 6 = 130 \text{ ft}$$

$$H = L / 12, \text{ se ajust\u00f3 a } L / 4 \text{ para que cumpliera con el tiempo de detenci\u00f3n.}$$

$$H = 130 \text{ ft} / 4 = 22 \text{ ft}$$

Con estas dimensiones se obtuvo un tiempo de detenci\u00f3n de 4.13 horas cumpliendo dentro del par\u00e1metro de mayor que 4 horas y menor que seis horas.

Para obtener mi n\u00famero de vertedores mi relaci\u00f3n Q/K = 22,000 por lo que

$$Q/L = [(NT-1)/NT] * Q/K$$

$$Q/L = [(16-1)/16] * 22,000 = 20,625 \text{ gpd/ft}$$

$$\text{Largo vertedor} = (42,000,000 \text{ gpd} / 16) / 20,625 \text{ gpd/ft}$$

$$L \text{ vertedor} = 127.27 \text{ ft}$$

$$L \text{ vertedor} = 127.27 / W = 127.27 / 22 = 5.78 = 6 \text{ ft}$$

$$\# \text{ vertedores} = 2 * L = 2 * 6 = 12 \text{ vertedores}$$

Filtraci\u00f3n

Como criterio de dise\u00f1o se utiliz\u00f3 una carga hidr\u00e1ulica Q/A de 7 GPM/ft², un flujo dise\u00f1o de filtro Q_f de 2.5 MGD/filtro, canal de entrada de 3, carga hidr\u00e1ulica usual de 18 GPM/ft² y un tiempo de lavado de 15 minutos.

Para calcular el n\u00famero de filtros (NF),
 $NF = Q_d / Q_f = 42 \text{ MGD} / 2.5 \text{ MGD} / \text{filtro} = 17 \text{ filtros}$

Para obtener la redundancia:

$$[(NF-1)/NF] * Q/A$$

$$\text{Redundancia} = [(17-1)/17] * 7 = 5.58 \text{ GPM/ft}^2$$

$$A_{total} = 42,000,000 / (6.58 * 1,440) = 4,430.38 \text{ ft}^2$$

$$A_{filtro} = A_{total} / NF = 4,430.38 \text{ ft}^2 / 17 = 263.71 \text{ ft}^2$$

El ancho del tanque es:

$$W = \sqrt{(A_f / 1.5)}$$

$$W = \sqrt{(236.71 \text{ ft}^2 / 1.5)} = 13.25 \text{ ft}$$

El largo se define como:

$$L = W * 1.5$$

$$L = 13.25 \text{ ft} * 1.5 = 18.88 \text{ ft}$$

Para calcular mi flujo de lavado:

$$Q_{lavado} = A_t * \text{carga hidr\u00e1ulica usual}$$

$$Q_{lavado} = 4,430.38 * 18 = 79,746.84 \text{ gpm}$$

El volumen de lavado se obtuvo mediante

$$V_{lavado} = Q_{lavado} * \text{tiempo de lavado}$$

$$V_{lavado} = 79,746.84 * 15 = 1,196,203 \text{ galones}$$

Para verificar si cumple, $V_{\text{lavado}} / (Q_{\text{diseño}} * 10^6)$ debe ser menor o igual que 0.05.
 $1,196,203 \text{ MGD} / (42 \text{ MGD} * 10^6) = 0.028 < .05$, por lo que cumple.

Desinfección

Se utilizó una dosis de 4 mg/l con 0.0762 mmol/l de HClO obteniendo una concentración de cloro de 5.41 mg/l. El flujo masa se obtuvo con la ecuación $FM = Q * C$ donde Q es mi flujo de diseño y C mi concentración de cloro.

$$FM = (42 \text{ MGD}) * (5.41 \text{ mg/l}) * (8.34 \text{ lbs/MG/mg/l})$$
$$FM = 1,893.98 \text{ lbs/día}$$

Para verificar cuántos tanque por día se necesitan se utilizó tanques de 100 lbs.

$$\text{Tanques al mes} = 30 / (FM / W_{\text{tanque}}) = 30 / (1,893.98 / \text{lbs/día} / 100 \text{ lbs})$$

$$\text{Tanques mensuales} = 1.58 = 2 \text{ tanques de } 100 \text{ lbs}$$

Distribución

Para el diseño del tanque de distribución se utilizó el área total del tanque de filtración $A_{\text{total}} = 4,430.38 \text{ ft}^2$ se asumió una altura de 10 ft

Para las dimensiones W y L se obtuvo mediante:

$$W=L = \sqrt{(4,430.38 \text{ ft}^2)}$$

$$W=L = 66.56 \text{ ft}$$

$$V = W \times L \times H = 66.5 \text{ ft} * 10 \text{ ft} * 66.5 \text{ ft} = 44,303.8 \text{ ft}^3$$

El flujo de distribución:

$$Q_{\text{dist}} = 44,303.8 \text{ ft}^3 * 7.48 \text{ ft}^3 / \text{gal} = 331,392.4 \text{ galones}$$

RECOMENDACIONES

El diseño de una planta de filtración convencional de 42 MGD en el barrio Matacañas en Orocovis es altamente recomendado ya que de esta manera reduce la transferencia de Super Acuédutos al municipio de Vega Baja, y a su vez sirve para reforzar la región Metro. Con este diseño tendrá un sistema confiable, estable, disminuyendo la intermitencia que actualmente afectan al municipio de Morovis. Se obtendrá un ahorro energético sustancial al eliminarse plantas de filtración y otras facilidades operacionales.

El sistema convencional tiene como ventajas el utilizarse como pre y post tratamiento para obtener una alta calidad de agua potable, menos costo inicial, calidad y larga vida, se puede colocar en un tanque de almacenamiento y mejor eficiencia ambiental en la etapa de desinfección.

También se puede recomendar una planta de tratamiento modular ya que posee procesos similares a los de una planta convencional. Las plantas modulares tienen como ventajas:

- No requieren de sal o soda para elevar el pH.
- Menos consumo de floculantes y polímeros.
- Elimina los tanques de sedimentadores.
- Menor costo de mano de obra para operación y supervisión.
- Menor costo inicial.
- Calidad y larga vida.

CONCLUSIONES

Ambos métodos son recomendados, pero en este diseño se utilizó el modelo convencional para aplicar los conocimientos adquiridos del curso CE4010 Water and Wastewater Treatment Applications atado con una hoja de datos de Excel donde introduciendo el flujo de diseño se obtiene de manera rápida los datos de diseño de cada proceso.

Se propuso el modelo convencional ya que se considera una manera mucho más económica en comparación con otros de los métodos. Por ende, resulta costo efectivo el construir dicha planta para reducir significativamente los servicios intermitentes y brindar un servicio de confiabilidad, que esa la visión y meta de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado en Puerto Rico.

En cuanto al costo de desarrollar este proyecto es muy elevado aunque ya se tiene unos fondos asignados por parte de FEMA para poder desarrollar e impulsar el diseño según han expuesto en reuniones con la autoridad.

REFERENCIAS

- [1] PNTIC. (2003, Nov. 3). El agua potable [En línea]. Disponible: http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/agua_potable.htm. [Accedido: 11 de marzo de 2019].
- [2] SAP, versión 7.10. [CD-ROM]. Maryland, febrero 2007.
- [3] Puerto Rico Aqueduct and Sewer Authority. (2015, Nov.). *PRASA's Metro Region Resources Management Plan* [En línea]. Disponible: https://www.acueductospr.com/INFRAESTRUCTURA/download/WATER_RESOURCE_S_MANAGEMENT_PLAN_for_METRO_REGION.pdf. [Accedido: 11 de marzo de 2019].
- [4] C. Villalta Calderón, notas de clase, tema: "Water Treatment Plant Design", CE 6410, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura, Universidad Politécnica de Puerto Rico, 3 de julio de 2018.
- [5] Dr. Francisco Castañeda, notas de clase, tema: "Water Treatment Rapid Mix Design Criteria". CE 4402 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura, Universidad Politécnica de Puerto Rico, 7 de diciembre de 2009.