

**INFORME DE DISEÑO CONCEPTUAL, EMBALSES
MULTIPROPÓSITO CUENCA SANTA MARÍA
VOLUMEN SANITARIA**



CANAL DE PANAMÁ

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. OBJETIVOS	5
2. CRITERIOS DE DISEÑO	6
2.1. CALIDAD DE AGUA DE LA FUENTE DE SUMINISTRO	6
2.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	7
2.3. CRITERIOS DE DISEÑO PTAP	8
2.3.1. Mezcla rápida- canaleta parshall	8
2.3.2. Mezcla lenta- floculadores mecánicos	10
2.3.3. Sedimentación- Sedimentación de alta tasa	10
2.3.4. Filtración	12
2.3.5. Desinfección	13
2.4. TRATAMIENTO DE LODO	13
3. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE TRATAMIENTO	15
3.1. CÁMARA DE ADMISIÓN	15
3.2. CANAL DE APROXIMACIÓN	15
3.3. MEZCLA RÁPIDA-CANALETA PARSHALL	16
3.4. FLOCULACIÓN	17
3.5. SEDIMENTACIÓN	19
3.6. FILTRACIÓN	20
3.7. DESINFECCIÓN CON LUZ UV Y CLORO	22
3.8. MANEJO Y TRATAMIENTO DE LODOS	22
4. COSTOS APROXIMADOS DE LA PTAP	22
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
6. REFERENCIAS	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Canaleta parshall, vista planta
- Figura 2. Canaleta parshall, vista perfil
- Figura 3. Floculador mecánico de paletas de eje vertical
- Figura 4. Sedimentador laminar de alta tasa
- Figura 5. Corte transversal de un filtro de lecho mixto

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Valores promedio registrados en cada parámetro para las temporadas seca y lluviosa para los principales parámetros de interés
- Tabla 2. Dimensiones y capacidad de la canaleta parshall para diferentes anchos de garganta, W
- Tabla 3. Criterios de diseño mezcla rápida
- Tabla 4. Criterios de diseño floculador mecánico
- Tabla 5. Criterio de diseño sedimentador de alta tasa
- Tabla 6. Granulometría de medios filtrantes dobles
- Tabla 7. Criterios de diseño filtros rápidos
- Tabla 8. Dimensiones cámara de admisión
- Tabla 9. Dimensiones y parámetros de diseño canal de aproximación
- Tabla 10. Dimensiones y parámetros de diseño de la canaleta parshall
- Tabla 11. Condiciones de la mezcla lenta
- Tabla 12. Especificaciones de las cámaras de floculación
- Tabla 13. Especificaciones de los floculadores
- Tabla 14. Especificaciones de los filtros
- Tabla 15. Características tanque de contacto de cloro

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de la PTAP Agua Dulce se realizó a partir de la información de caracterización físico química y bacteriológica de la fuente de abastecimiento río Santa María tomada del documento *INFORME FINAL DE CALIDAD DEL AGUA AZU-ING-INF-SM-026*. Para la definición del tipo de tratamiento se analizaron los resultados de los monitoreos de la calidad del agua cruda y se compararon con los criterios que establece el CEPIS sobre el tipo de tratamiento según la calidad de la fuente de suministro. La planta de tratamiento Agua Dulce se dimensionó en dos etapas, una capacidad de tratamiento de 6 MGD para la etapa inicial y una capacidad final total de 12 MGD.

Para el dimensionamiento de la planta se utilizaron los criterios de diseño establecidos en las guías "Tratamiento de agua para consumo humano para plantas de filtración rápida convencionales" publicadas en 2004 por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Una vez establecidos los parámetros de diseño se realiza el dimensionamiento de cada una de las unidades que hacen parte del sistema de tratamiento, se elaboran los planos de diseño en planta y perfil.

El documento se desarrolla en los siguientes capítulos :

Capítulo 2. Criterios de diseño sistema de tratamiento

Capítulo 3. Dimensionamiento PTAP

Capítulo 4. Costo aproximado de la PTAP

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

1.1. OBJETIVOS

- Establecer a partir del estudio de calidad de agua para el río Santa María el proceso de tratamiento óptimo a implementar
- Establecer los criterios apropiados para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Agua Dulce
- Presentar los diseños conceptuales de la PTAP Agua Dulce
- Generar planos planta perfil como resultado del estudio.

2. CRITERIOS DE DISEÑO



Los criterios de de diseño de la PTAP tiene en consideración las siguientes guías y normas :

Guía de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), junto con la Organización Mundial de la Salud (OMS), "Diseño de plantas de tecnología apropiada", publicada en en 2006 para plantas de purificación de filtración rápida convencionales. También se tomaron criterios de diseño en las guías de diseño publicadas por la Environmental Protection Agency (EPA) de EE.UU para sistemas de tratamiento de agua potable.

Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24- 99. AGUA. CALIDAD DE AGUA. Reutilización de las Aguas Residuales Tratadas, de acuerdo al tenor siguiente: MINISTERIO DE COMERCIO E INDUSTRIAS COMISIÓN PANAMEÑA DE NORMAS INDUSTRIALES Y TÉCNICAS REGLAMENTO TÉCNICO DGNTI-COPANIT 24-99 . AGUA, REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS.

Compendio de normas del INSTITUTO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS NACIONALES (IDAAN)

En los numerales a continuación se describen cada uno de los procesos que hacen parte del sistema de tratamiento y se presentan los criterios de diseño para su dimensionamiento tomados de la guía "Tratamiento de agua para consumo humano para plantas de filtración rápida convencionales" publicadas en 2004 por OPS y CEPIS.

Los criterios y parámetros de diseño seleccionados, son la base para definir los procesos y unidades que componen la PTAP, del tal forma que el sistema cumpla con las condiciones y valores admisibles establecidas por Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

2.1. CALIDAD DE AGUA DE LA FUENTE DE SUMINISTRO

La información de calidad del agua se obtuvo a partir de los monitoreo realizados en el 2018 sobre la cuenca del río Santa María durante periodo seco y periodo de lluvia. El muestreo de agua fue llevado a cabo en cinco puntos, colectándose en cada sitio cuatro muestras simples para un total de 20 muestras simples; la recolección de las muestras y análisis de laboratorio estuvo a cargo del Centro de Investigaciones Químicas, S.A. (CIQSA), laboratorio acreditado por la CNA y de ALS Environmental, acreditado por Florida Health, Department of Health, Bureau of Public Laboratories.

Para la evaluación de la calidad del agua se estimaron valores promedio con el fin de obtener un rango de valores de comparación de cada parámetro (considerando los cinco puntos de monitoreo), para ambas temporadas. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en el Decreto 75 de 2008 "Por el cual se dicta la norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo con y sin contacto directo" del Ministerio de Economía y Finanzas de la República de Panamá, y en el caso de variables no consideradas en este decreto, se comparó con el Anteproyecto para aguas naturales de Panamá. A continuación se presenta la Tabla 1 comparativa entre los resultados del monitoreo de calidad de agua para el río Santa María y los valores de referencia del Decreto 75 de 2008 para los principales parámetros de interés.

Tabla 1. Valores promedio registrados en cada parámetro para las temporadas seca y lluviosa para los principales parámetros de interés

Parámetro	Límite de detección del método	Temporada Seca*	Temporada Lluviosa*	Límite Decreto 75	Límite Anteproyecto
pH	0	6.59 – 8.72	6.49 – 7.05	6.5-8.5 BR 6.5-8.5 RM	6.5-8.5

Conductividad (mS/cm)	0	0.035 – 0.040	0.045 – 0.055	NC	NC
Turbiedad (NTU)	0	1.4 – 4.2	2.7 – 9.4	<50 BR 50-100 RM	< 50
Sólidos totales disueltos (mg/l)	0,1	27.0 – 30.0	36.9 – 41.8	<500 BR <500 RM	< 500
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	0.1	0.5 – 3.6	1.6 – 5.9	<50 BR <50 RM	NC
Nitratos (mg/l)	0.001	0.079 – 0.176	0.083 – 0.298	NC	<10.0
Calcio (mg/l)	0.10	3.20 – 3.62	5.30 – 5.93	NC	NC
Sulfato (mg/l)	1.0	5.2 – 6.1	7.6 – 9.4	NC	<250.0
Aluminio (mg/l)	0.10	No detectable – 0.02	0.11 – 0.62	NC	<100****
Coliformes totales (UFC/100 ml)	1	2500 – 5363	1350 - 3750	NC	NC
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	1	213 - 2000	1075 - 1825	<250 BR 251-400 RM	< 250

Fuente: Informe final de calidad del agua, 2019.

Como resultado del informe de calidad del agua en el río Santa María se obtuvo que durante la época de lluvia se genera un incremento en la concentración de sólidos suspendidos totales, turbiedad, sólidos disueltos, así como un aumento en la presencia de bacterias coliformes fecales, nitratos, calcio, magnesio, sodio, sulfato, aluminio y mercurio en algunas de las muestras, quizás también por arrastre de estos compuestos desde el entorno del curso de agua. Adicionalmente, se observa un moderado aumento para la temporada lluviosa en la presencia de bacterias coliformes, tanto fecales como totales.

2.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Cuando la fuente de abastecimiento de agua es confiable, en la que la turbiedad del agua se encuentra entre 10 a 20 NTU el 80% del tiempo, y no supera 30 UNT ni 25 UC de color verdadero el 90% del tiempo, y la concentración de coliformes totales es menor a 2500 NMP/100 ml, se utiliza como proceso de tratamiento filtración directa. La filtración directa es ideal para tratar aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes presedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas. Cuando se tiene valores de turbiedad que superan 20 NTU, color mayor a 25 UC el 80% del tiempo y concentraciones de coliformes totales mayores a 2500 NMP/100 ml; se debe considerar implementar un sistema de tratamiento convencional por coagulación química (OPS, CEPIS, 2004).

De acuerdo a los resultados de caracterización de aguas del río Santa María, se observa picos de turbiedad en época de lluvia con valores máximos de 9.4 NTU, y valores de coliformes totales en época seca y de lluvia con picos de 5363 NMP/100 ml y 3750 NMP/100 ml respectivamente.

Según estos resultados, con valores de turbiedad que no superan 20 NTU; es posible utilizar como tratamiento un sistema por filtración directa, seguido de un sistema de desinfección para remover la concentración de coliformes totales que es mayor a 2500 NMP/100 ml.

Sin embargo, previendo a futuro un deterioro de la calidad del agua se considera necesario proyectar un sistema convencional de tratamiento con procesos unitarios de coagulación o mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El diseño propuesto contempla la posibilidad de trabajar la PTAP mediante filtración directa en épocas en que la calidad del agua sea muy buena.

La filtración en lechos mixtos (arena y antracita) precedida por uso de coagulantes, remueve turbiedad que está directamente ligada a la remoción de virus (Robeck, Clarke y Dostal, 1962). De acuerdo con la literatura, las unidades de filtración logran producir efluentes con una turbiedad menor o igual a 0,10 UNT para garantizar la eliminación de parásitos (Giardia, Cryptosporidium, etc.).

El sistema de tratamiento convencional propuesto consiste en la adición de un coagulante al agua, generalmente sales de aluminio o de hierro para formar un hidróxido metálico floculento sólido en el proceso de mezcla rápida. El flóculo precipitado retira los contaminantes suspendidos y disueltos en el agua mediante mecanismos de neutralización de carga, adsorción y atrapamiento. La formación del floc se hace mediante mecanismos de mezcla lenta, utilizando unidades hidráulicas o mecánicas. Posteriormente el floc formado se retira del agua mediante unidades de sedimentación con el fin de remover la carga de sólidos; el agua tratada se hace pasar a continuación por filtros rápidos en los que se elimina el resto de los sólidos. Finalmente el agua pasa al proceso de desinfección.

Para el tratamiento del lodo generado en los procesos de floculación, sedimentación y filtración, se utiliza un sistema de tratamiento de lodo constituido por unidades de eculización, espesamiento y deshidratación. Adicional al tren de tratamiento, se prevé un edificio de administración y control, el cual estará constituido por las siguientes instalaciones:

- Edificio de laboratorio
- Edificio taller y almacén
- Edificio de administración y dosificación de químicos
- Caseta de sopladores para lavado de filtros con aire
- Edificio de cloración

2.3. CRITERIOS DE DISEÑO PTAP

2.3.1. Mezcla rápida- canaleta parshall

Se utiliza la canaleta parshall con la doble finalidad de medir el caudal afluente al sistema de tratamiento y realizar la mezcla rápida. La canaleta parshall trabaja con descarga libre, el flujo pasa de una condición supercrítica a una subcrítica lo que origina el resalto hidráulico. La mezcla rápida tiene por objeto la dispersión total del coagulante dentro de la masa de agua para lograr así la desestabilización química de las partículas coloidales; el gradiente hidráulico y el tiempo de retención definen el nivel de agitación adecuada para llevar a cabo el proceso de mezcla.

De acuerdo con la Tabla 2 de capacidades de las canaletas parshall, se establecen las dimensiones de la estructura.

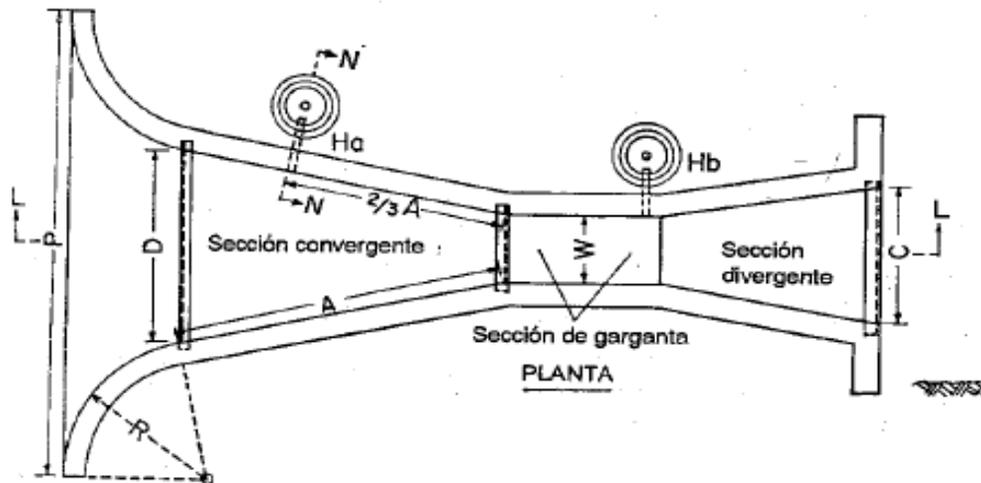


Figura 1. Canaleta parshall, vista planta

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño; Jairo Alberto Romero Rojas)

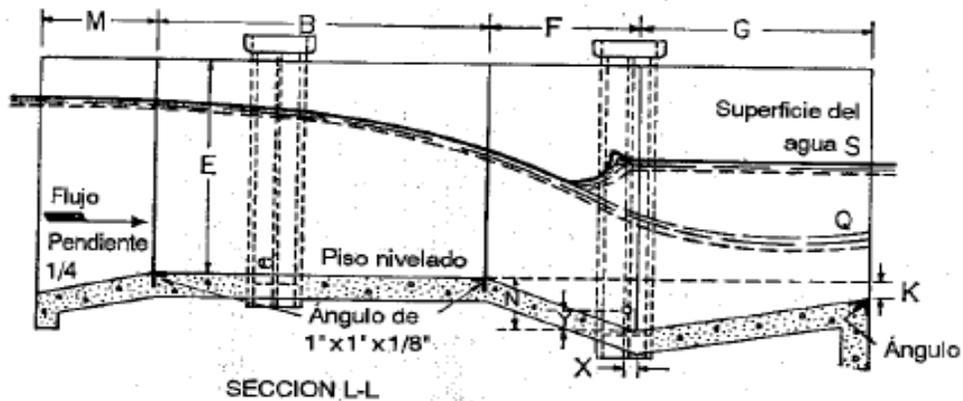


Figura 2. Canaleta parshall, vista perfil

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño; Jairo Alberto Romero Rojas)

Tabla 2. Dimensiones y capacidad de la canaleta parshall para diferentes anchos de garganta, W

W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50,0	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70,0	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4	40,6	30,5	90,2	5,1	7,6
22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	30,5	45,7	7,6	11,4	40,6	30,5	108,0	5,1	7,6
30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	149,2	5,1	7,6
45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	167,6	5,1	7,6
61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	185,4	5,1	7,6
91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	50,8	38,1	222,3	5,1	7,6
122,0	183,0	179,5	152,5	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	271,1	5,1	7,6
152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	308,0	5,1	7,6
182,8	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	344,2	5,1	7,6
213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	381,0	5,1	7,6
244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9	61,0	45,7	417,2	5,1	7,6
305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3	-	-	-	30,5	22,9

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño; Jairo Alberto Romero Rojas)

En la Tabla 3 se presenta los criterios de diseño para llevar a cabo el proceso de mezcla rápida de manera óptima.

Tabla 3. Criterios de diseño mezcla rápida

Parámetro	Unidad	Valor
Número de Froude	-	2-3
Gradiente óptimo de mezcla	s ⁻¹	1000
Tiempo de mezcla	s	1-7

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

La definición del tipo de coagulante, la dosis óptima a utilizar, y el gradiente de mezcla necesario para llevar a cabo una dispersión adecuada en el agua, se define a través de un ensayo de jarras realizado en el laboratorio.

2.3.2. Mezcla lenta- floculadores mecánicos

En los tanques de floculación mecánica la agitación se produce por medio de paletas de mezcla de eje vertical, movidas por un motor eléctrico acoplado a un intercambiador de velocidades, que hace posible la pronta variación de la intensidad de agitación. Los motores se localizan en la parte superior de cada tanque de floculación (ver Figura 2).

Durante el proceso de floculación se produce una lenta agitación que permiten el crecimiento del floc; este crecimiento es inducido por el contacto entre partículas creado por el gradiente de velocidad de la masa líquida. Las velocidades de rotación de las paletas de mezcla oscilan típicamente entre 2 y 8 rpm; la potencia aplicada al agua está determinada por las fuerzas de resistencia, tanto el gradiente de velocidad como el tiempo de detención óptimo varían según el tipo de agua, y se determinan a través de un ensayo de laboratorio.

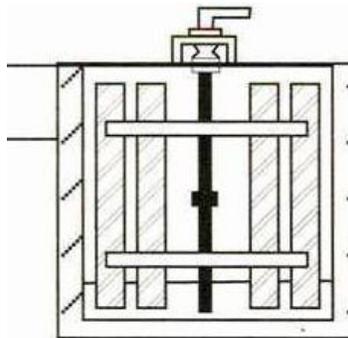


Figura 3. Floculador mecánico de paletas de eje vertical

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

El gradiente de velocidad calculado a partir de la suma de las potencias disipadas por diversas paletas que recorren la misma trayectoria resulta menor que el gradiente de velocidad real deseado. Para guardar coherencia con los valores del gradiente determinados en jar-tests estandarizados, se deben diseñar floculadores giratorios con paletas en un solo plano; es decir, con apenas dos brazos o dos paletas en la misma posición con relación al eje.

El diseño de los floculadores deberá garantizar la formación y consistencia del floc, para lo cual se deberá tener en cuenta los criterios de diseño de las guías de la OPS y CEPIS para gradientes de velocidad y tiempo hidráulico de retención óptimo como se presenta en la Tabla 4

Tabla 4. Criterios de diseño floculador mecánico

Parámetro	Unidad	Valor
Gradiente	s ⁻¹	70-20
Tiempo de retención	min	20-30
Número mínimo de compartimentos	un	4

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

2.3.3. Sedimentación- Sedimentación de alta tasa

En las unidades de sedimentación se lleva a cabo por efecto gravitacional la remoción de las partículas en suspensión con peso específico mayor que el agua. Los sólidos en suspensión que decantan llegan hasta el fondo de la unidad de sedimentación y el agua clarificada es recolectada a través de canaletas transversales y conducida hacia el canal de recolección de agua clarificada; posteriormente el agua clarificada es conducida hacia las unidades de filtración (ver Figura 3).

En general las unidades de sedimentación se encuentran divididas en las siguientes zonas:

- Zona de entrada, cuya función es la distribución del agua de forma que la velocidad sea uniforme en toda la sección transversal, minimizando las corrientes que causan turbulencia
- Zona de sedimentación, cuyas características del régimen de flujo permiten la remoción de los sólidos del agua.
- Zona de lodos, utilizada para almacenar los lodos sedimentados hasta el momento en que se retiren de la unidad.
- Zona de salida, la cual recoge el agua clarificada de forma que la velocidad sea lo más uniforme posible.

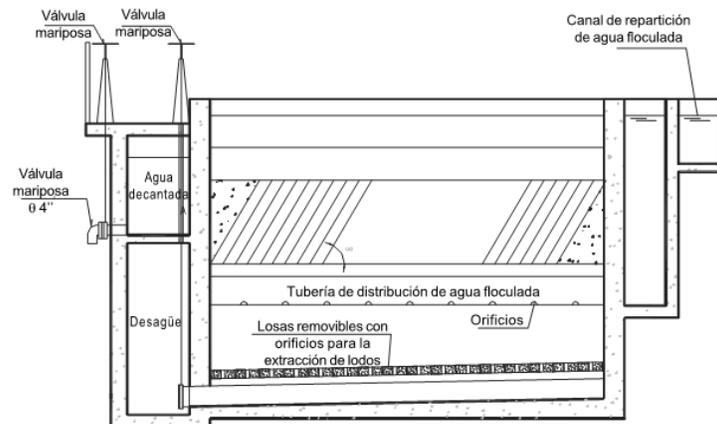


Figura 4. Sedimentador laminar de alta tasa

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

Los sedimentadores de alta tasa son unidades que se componen de una zona de sedimentación compuesta por módulos inclinados a 45-60° espaciados de diferentes configuraciones: tubulares de tipo circular, cuadrados, rectangulares, hexagonales entre otros. Los parámetros de diseño que definen un proceso de sedimentación de alta tasa se presentan en la Tabla 5 según lo establecido por la OPS y CEPIS.

Tabla 5. Criterio de diseño sedimentador de alta tasa

Parámetro	Unidad	Valor
Carga superficial	m ³ /m ² /d	120-185
Número de Reynolds	-	< 500
Velocidad longitudinal en elementos tubulares	cm/min	12 - 20
Profundidad	m	4,0 – 5,5
Ángulo de inclinación de las placas	grados	55 - 60
Espacio entre las placas	cm	5
Tiempo de retención en el área de sedimentación	min	10 – 15

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

2.3.4. Filtración

La filtración tiene por objeto la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua que escurren a través de un medio poroso. Los filtros están constituidos por medios porosos (arena y grava) soportados por grava y un falso fondo (ver Figura 4). El medio filtrante se selecciona según la calidad que se desea para el agua filtrada. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la duración de la carrera de filtración (capacidad de retención) y la facilidad de lavado. Un medio filtrante ideal es aquel de granulometría determinada y cierto peso específico, que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado de manera eficiente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, para producir un efluente de buena calidad. Las características a tener en cuenta en la definición del medio filtrante se presentan en la Tabla 6.

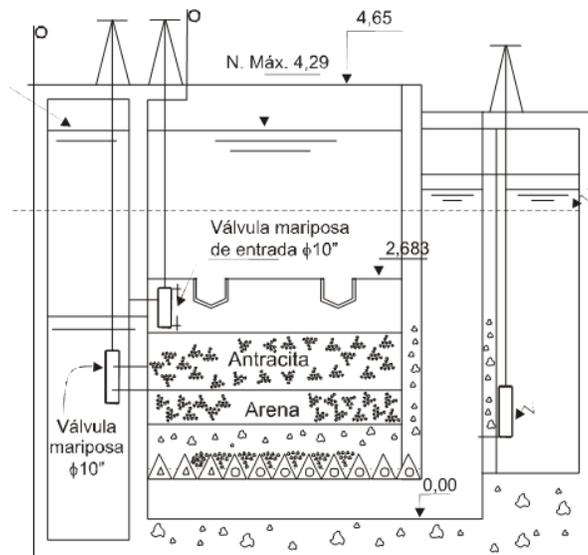


Figura 5. Corte transversal de un filtro de lecho mixto

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

Tabla 6. Granulometría de medios filtrantes dobles

Material	Altura (cm)		TE (mm)		Densidad		CU	
	Máxima	Usual	Máxima	Usual	Máxima	Usual	Máxima	Usual
Antracita	45-50	45	0,8-1,40	0,8-1,0	1,65	1,40	1,80	1,50
Arena	15-45	15-30	0,45-0,60	0,5-0,6	2,65	2,60	1,30-1,7	1,5-1,7

Fuente: Manual de potabilización del agua, 1990.

En la Tabla 7 se presenta los criterios de diseño para el dimensionamiento de los filtros.

Tabla 7. Criterios de diseño filtros rápidos

Parámetro	Unidad	Valor
Tasa de filtración	m/d	240-360
Profundidad convencional	m	0,6-0,9
Altura del agua sobre el lecho filtrante	m	> 0,5

Fuente: (OMS, OPS, & CEPIS, Tratamiento de agua para consumo humano, 2004)

El final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de hasta 36 horas. Generalmente cuando una de las condiciones se presenta se procede a lavar el filtro. El lavado se realiza invirtiendo el sentido del flujo, inyectando agua por el falso fondo, expandiendo el medio filtrante y recolectando en la parte superior en las canaletas de lavado.

2.3.5. Desinfección

La OMS recomienda que para realizar la desinfección de agua para consumo humano, el agua filtrada debe tener como máximo una turbiedad de 1 UNT para que este proceso sea eficiente. Lo anterior sumado al tratamiento previo convencional, hará que la presencia de coliformes totales cumpla con lo requerido por la normativa. Para la desinfección por cloración deberá emplearse tanque con el fin de proporcionar en este un tiempo de contacto mínimo de 20 min que garantice la desinfección del agua. Para la aplicación de la dosis de cloro, se deberá definir un residual del desinfectante que garantice el impedimento del crecimiento microbial en cualquier punto de la conducción o red de distribución.

Para lograr la inactivación de otros microorganismos presentes en el agua y que son resistentes al cloro como lo son los protozoos, virus y algunos hongos; es necesario utilizar radiación ultravioleta. La radiación Ultra Violeta (UV), emitida por una lámpara de arco de mercurio de baja presión, tiene actividad biocida, la cual emite luz a longitudes de onda de 180 a 320 nm, longitud de onda con la cual se tiene un efecto germicida sobre los microbios y bacterias afectando su estructura molecular. Las lámparas de media presión tienen potencias de varios KW y emiten luz UV de distintas longitudes de onda, entre las cuales se encuentra la que tiene el mayor efecto germicida (254 nanómetros). Las dosis de UV recomendada para sistemas de agua con pretratamiento de filtración se encuentra en 100 mJ/cm², con una transmitancia mayor al 92%.

Las lámpara UV tienen una capacidad aproximada 9.000 horas en condiciones de funcionamiento normales. Las mangas de cuarzo se deben limpiar según sea necesario o se deben reemplazar según sea necesario para garantizar la transmisión más alta posible de luz ultravioleta al agua. Las lámparas UV pueden incluir un controlador especial que permite el control de la dosis UV de acuerdo a la señal enviada por un medidor de flujo a la entrada de la lámpara y a la señal de intensidad UV proveniente de un sensor UV instalado en la lámpara.

2.4. TRATAMIENTO DE LODO

Según el autor Garcés Arancibia Fernando, en su artículo "Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de agua potable", el volumen de lodo generado en los decantadores representa de un 0,06% a un 0,25% del volumen de agua tratada por la planta. Su DBO varía entre 30 y 300 mg/l, su DQO entre 30 y 5.000 mg/l, y la razón DQO/DBO es del orden de 15:1; indicando una baja proporción de materia orgánica biodegradable. La fracción de sólidos volátiles es alrededor del 30% de los sólidos totales, guardando relación con la razón DQO/DBO.

En los filtros, los lodos son removidos en el lavado de las unidades filtrantes cada 12 a 24 horas, de acuerdo a la turbiedad del agua cruda, con un caudal del orden del 1 al 5% del agua filtrada. La concentración de sólidos totales varía de 0,01 a 0,1%, con una DBO del orden de 10 mg/l y DQO del orden de 100 mg/l.

Los lodos generados en la PTAP serán conducidos hacia un sistema de tratamiento de lodos, constituido por unidades de ecualización, espesamiento y deshidratación. En el espesador de lodos tiene por objeto la reducir el volumen de lodo líquido y obtener un lodo más concentrado; el lodo deshidratado es conducido hacia un filtro prensa, en el cual se espera obtener una mayor deshidratación del lodo para su adecuada disposición final, el agua obtenida en el proceso de deshidratación retornara al sistema de tratamiento.

3. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento Agua Dulce se dimensiona para una etapa inicial con una capacidad de 6 MGD (0,26 m³/s) y una etapa final con una capacidad de 12 MGD (0,53 m³/s). En el sistema propuesto, el agua ingresa inicialmente a una cámara de admisión, la cual permite la disipación de energía y la homogenización del caudal; posteriormente el agua pasa hacia una canaleta parshall en donde se lleva a cabo la medición del caudal y se efectúa la mezcla rápida del coagulante en el agua, de la canaleta el agua pasa a una canal de distribución en la cual se reparte el caudal hacia los procesos de floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Para la etapa inicial y final de la PTAP Agua Dulce se proyecta en cada etapa; 2 unidades de floculación, 2 de sedimentación de alta tasa, y 3 unidades de filtración. Cada módulo de tratamiento tiene capacidad para tratar un caudal de 0,26 m³/s; para una capacidad total del sistema de 0,56 m³/s.

El manejo de los lodos generados en el proceso de tratamiento, se hará a través de un espesador de lodos, seguido de una unidad de deshidratación y tolva para lodos.

3.1. CÁMARA DE ADMISIÓN

El sistema de tratamiento propuesto, tendrá como unidad de entrada, una cámara de admisión la cual permitirá la disipación de energía del agua y la homogenización de la misma antes del ingreso a los procesos de tratamiento, posterior a la cámara de admisión el agua es conducida hacia la canaleta parshall a través del un canal de aproximación.

Para la etapa inicial de la PTAP Agua Dulce se dimensionó la cámara de admisión con un caudal de ingreso de 0,26 m³/s, para lo que se obtuvo un volumen del tanque de 32 m³, con un tiempo de retención de 2 min. Para la etapa final, se deberá incluir un tanque adicional con la misma capacidad para atender el caudal total requerido para la PTAP correspondiente a 0,53 m³/s.

En la Tabla 8 se presenta las dimensiones de la cámara de admisión

Tabla 8. Dimensiones cámara de admisión

Parámetro	Valor
Volumen	32 m ³
Ancho del tanque	3 m
Largo del tanque	4 m
Profundidad	3 m

3.2. CANAL DE APROXIMACIÓN

El canal de aproximación se construye con el proposito de llegar con un flujo uniforme a la canaleta parshall. El canal de aproximación se dimensiona para el caudal en la etapa final de 0,53 m³/s; este canal tiene una sección rectangular, con un ancho asumido de 1,0 m. A partir de la condición de flujo uniforme, se adopta una pendiente en el canal de 0,06 % y un valor para el coeficiente de Manning de 0,013 correspondiente al concreto, se calcula en el canal una altura para la lámina de agua de 0,68 m.

En la Tabla 9 se presenta el dimensionamiento del canal de aproximación

Tabla 9. Dimensiones y parámetros de diseño canal de aproximación

Parámetro	Criterio	Resultado
Área mojada	$A = B * y$	0,80 m ²
Perímetro mojado	$P = B + 2 * y$	2,55 m
Radio hidráulico	$Rh = A/P$	0,3
Altura de la lámina de agua	$y = D$	0,68 m
Velocidad en canal	$v = Q/A$	0,65 m/s
Número de Froude	$F = v/\sqrt{g * D}$	0,25
Longitud del canal	$Lc = 4,5 * B$	5,36 m

Para la etapa inicial, donde se tratará un caudal de 0,26 m³/s, se garantizan las condiciones de flujo subcrítico en el canal proyectado; con una velocidad del fluido de 0,55 m/s y un número de Froude de 0,28; para este caudal se tendrá una lámina de agua en el canal de 0,4 m.

3.3. MEZCLA RÁPIDA-CANALETA PARSHALL

Para el proceso de coagulación se aplicará al agua el coagulante en el punto de mayor turbulencia en la canaleta parshall (inicio del resalto); utilizando una bomba dosificadora tipo diafragma que succiona el coagulante del tanque de solución, y mediante una tubería sanitaria perforada se lleva hacia el punto de aplicación. Toda la energía disipada en la canaleta parshall se da entre la salida de la garganta y la sección de salida de la canaleta, y en este volumen la mezcla es prácticamente completa.

Se dimensiona la canaleta parshall para la etapa inicial de tratamiento con un caudal de 0,26 m³/s, con un ancho de garganta de 0,46 m. Se consideró un resalto hidráulico con un gradiente de velocidad de 1198 s⁻¹ para un número de Froude de 2,2, y un tiempo de mezcla de un (1) segundo.

En la Tabla 10 se presenta las expresiones empleadas para el cálculo de la canaleta parshall.

Tabla 10. Dimensiones y parámetros de diseño de la canaleta parshall

Parámetro	Criterio	Resultado
Altura de agua en la sección de medición	$H_o = KQ^m$	0,41 m
Dimensión de la canaleta	D	1,026 m
Ancho de la sección de medición	D'	0,84 m
Velocidad en la sección de medición	$V_o = Q/D' * H_o$	0,78 m/s

Caudal específico en la garganta de la canaleta	$q = Q/W$	0,57 m ³ /s/m
Dimensión N de la canaleta	N	0,23 m
Carga Hidráulica disponible	$Eo = (Vo^2/2g) + Ho + N$	0,66 m
Velocidad antes del resalto	$V1 = 2 * (2gEo/3)^{0,5} * \cos\theta/3$	3,06 m/s
Altura de agua antes del resalto	$h1 = q/V1$	0,19 m
Número de Froude antes del resalto	$F1 = V1/\sqrt{g * h1}$	2,25
Altura del resalto	$h2 = h1/2((1 + 8F1^2)^{0,5} - 1)$	0,51 m
Velocidad en el resalto	$V2 = Q/Wh2$	1,12 m/s
Dimensión K1 de la canaleta	$K1$	0,076 m
Altura en la sección de salida de la canaleta	$h3 = h2 - (N - K')$	0,36 m
Dimensión C de la canaleta	C	0,762 m
Velocidad en la sección de salida	$V3 = Q/Ch3$	0,96 m
Pérdida de carga en el resalto	$hp = Ho + K - h3$	0,12 m
Dimensión G' de la canaleta	G'	0,915 m
Tiempo de mezcla en el resalto	$T = 2G'/(V2 + V3)$	1 s
Gradiente de Mezcla	$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{hp/T}$	1218 s ⁻¹

En el plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-001 y plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-003 se presenta las dimensiones de la canaleta parshall y su configuración en planta y perfil.

3.4. FLOCULACIÓN

Para cada etapa de tratamiento se proyectan dos (2) líneas de floculación, cada una con capacidad para tratar un caudal de 0,13 m³/s, cada línea consta de cuatro (4) cámaras que operan en serie; esto con el fin de obtener una sucesión de densidades de potencia en cada una de las líneas de floculación. Cada cámara de floculación tiene 3,6 m de ancho, 3,7 m de largo y 4 m de profundidad, el volumen útil de cada cámara es de 53,28 m³; el tiempo de retención hidráulico estimado en el proceso es de 20 min.

Las velocidades de rotación de las paletas de mezcla se establecen en 3,5 rpm, para obtener un gradiente medio de velocidad de 52 s⁻¹, considerando velocidades de agitación menores a 0,75 m/s; si esta es menor que 0,10 m/s se presenta sedimentación del floc, y si es mayor que 0,75 m/s se presenta rompimiento del mismo.

En la Tabla 11 se presenta las expresiones empleadas para el cálculo de las unidades de floculación

Tabla 11. Condiciones de la mezcla lenta

Parámetro	Criterio	Resultado
Altura de las paletas	-	3,15 m
Ancho de cada paleta	-	0,15 m
Diámetro de las paletas	-	2,20 m
Velocidad de rotación	-	3,5 rpm
Velocidad tangencial máxima paleta exterior	$Vp = (2 * \pi * (\phi/2) * Vel)/60$	0,56 m/s
Potencial útil introducida al agua	$P = 1,46 * 10^{-5} * Cd * \gamma * n^3 * b^* \Sigma(1 - Ki)^3 * (Rli^4)$	4,47 Kgf.m/s
Potencia máxima	$Pmax = P * (P23/P13)$	8,18 Kgf.m/s
Potencia mínima	$Pmin = P * (P23/P13)$	6,4 Kgf.m/s
Potencia media	$Pmed = (Pmax + Pmin)/2$	7,6 Kgf.m/s
Potencia requerida para las paletas	-	1 HP
Gradiente de mezcla en la primera cámara	$G = \sqrt{(P/\mu V)}$	52 s ⁻¹

De acuerdo a los cálculos, en la Tabla 12 se presentan las dimensiones y características para cada cámara de floculación:

Tabla 12. Especificaciones de las cámaras de floculación

Variable	Cámara			
	1	2	3	4
Volumen (m ³)	39,4	39,4	39,4	39,4
Ancho (m)	3,6	3,6	3,6	3,6
Longitud (m)	3,7	3,7	3,7	3,7
Profundidad (m)	3,0	3,0	3,0	3,0
Diámetro de las paletas (m)	3,04	3,04	3,04	3,04
Relación D/l	0,83	0,83	0,83	0,83
Altura de las paletas (m)	2,4	2,4	2,4	2,4
Ancho de cada paleta (m)	0,15	0,15	0,15	0,15

Velocidad de rotación (rpm)	3,5	3,5	3,5	3,5
Coefficiente de arrastre	1,4	1,4	1,4	1,4
Relación b/l	20	20	20	20
Gradiente instantáneo (s ⁻¹)	50	40	30	20

En la última cámara de floculación en la cual el gradiente de mezcla corresponde a 20 s⁻¹, se tiene una válvula de compuerta que permita la salida del agua hacia el canal de distribución de agua floculada al sedimentador; el agua es distribuida a todo lo largo del sedimentador a través de canaletas.

En el plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-001 y plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-003 se presenta las dimensiones de los floculadores, y su configuración en planta y perfil.

3.5. SEDIMENTACIÓN

Se proyecta dos sedimentadores de forma rectangular de alta tasa; de flujo ascensional, equipada con placas de sedimentación, con lo cual se busca la separación de las partículas más densas que el agua, y con una velocidad de sedimentación tal que permitan que lleguen al fondo del tanque en un tiempo óptimo.

Los sedimentadores anexos a los tanques de floculación, están constituidos por placas planas prefabricadas de 1,20 m de longitud y 0,006 m de espesor, se encuentran inclinadas a 60° con relación a la horizontal, y separadas entre sí 0,07 m. Al sedimentador el agua ingresa a través de un canal sumergido con orificios en el fondo en los cuales el gradiente de velocidad debe ser menor a 15 s⁻¹. Las unidades de sedimentación proyectadas operan a una velocidad de sedimentación crítica de de 40 m/d, estas trabajan con una condición de flujo laminar, con un valor para el número de Reynolds de 180, y una velocidad de sedimentación entre placas de 0,25 cm/s. El agua clarificada se recolecta en la superficie del tanque mediante canaletas, las cuales conducen el agua hacia el canal de distribución a filtros.

En la Tabla 13 se presenta las expresiones empleadas para el cálculo de las unidades de sedimentación de alta tasa:

Tabla 13. Especificaciones de los sedimentadores

Parámetro	Criterio	Resultado
Gradiente canal de entrada	$G = n * \sqrt{\gamma/\mu} * Rh^{-0,67} * v^{1,5}$	14,82 s ⁻¹
Dimensiones de las orificios de entrada	-	b= 0,50 m h= 0,23 m
Velocidad media de flujo	Se asigna una velocidad entre módulos de 0.2 cm/s que asegure flujo uniforme entre módulos	0,002 m/s
Número de Reynolds	$Re = (Vo * p)/\gamma$	165
Número de canales	$N = Q/a * Vo * e$	194
Longitud ocupada por las placas (longitud	$L = l * cos\theta + (N * e + N)/sen\theta$	16 m

sedimentador)		
Volumen de la celda de lodos	$Vc = L * l * sen\theta * a$	82,4 m ³
Volumen de la tolva	$Vt = 0,50 * Vc$	41,2 m ³
Altura canaleta de recolección de agua decantada	$hm = (73q/b)^{2/3}$	11,4 m
Dimensiones de la canaleta de recolección	-	b= 0,25 m h= 0,2 m

Los lodos generados en los sedimentadores son recolectados en la tolva de lodos prevista en cada unidad, cada sedimentador dispone de sistema de purga de lodos, el cual descarga directamente al canal de desagüe de las unidades de proceso.

En el plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-001 y plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-003 se presenta las dimensiones de los sedimentadores, y su configuración en planta y perfil.

3.6. FILTRACIÓN

Se proyecta la instalación de filtros rápidos de flujo descendente de lecho mixto (arena y antracita) de tasa declinante, con tubería perforada en el fondo del filtro, soportada con grava y un falso fondo para la recolección de agua filtrada; el agua filtrada es conducida hacia el canal de recolección y posteriormente al proceso de desinfección.

Para cada módulo de tratamiento, se prevé tres baterías de filtración de 3,4 m de ancho, 7,4 m de largo y 4,7 m de profundidad; trabajando a una tasa de filtración de 300 m³/m².d. Las baterías de filtración se encuentran en dos compartimentos, divididas longitudinalmente por un canal central de lavado de 1 m de ancho, y un ducto inferior de distribución de agua de lavado. Las condiciones de altura del medio poroso de los filtros se ha fijado así: lecho de grava de soporte de 0,52 m, lecho de arena de 0,30 m, lecho de antracita de 0,50 m.

En la Tabla 14 se presenta las expresiones empleadas para el cálculo de las unidades de filtración

Tabla 14. Especificaciones de los filtros

Parámetro	Criterio	Resultado
Espesor de la capa de antracita	L'	0,5 m
Espesor de la capa de arena	L	0,3 m
Altura de drenaje más la grava		0,52 m
Altura del falso fondo	H1	0,4 m
Porosidad de la arena limpia	ϵ_0	0,42
Porosidad de la antracita limpia	ϵ'_0	0,45
Porosidad expandida promedio de la capa de antracita	$\epsilon\epsilon = 1 - (1/\sum xi(1 - \epsilon i))$	0,56

Porosidad expandida promedio de la capa de antracita	$\varepsilon'e = 1 - (1/\Sigma x'i(1 - \varepsilon i))$	0,57
Porcentaje de expansión promedio de la arena	$E = (\varepsilon e - \varepsilon o)/(1 - \varepsilon e)$	31%
Porcentaje de expansión promedio de la antracita	$E' = (\varepsilon e' - \varepsilon'o)/(1 - \varepsilon'é)$	29%
Altura del lecho filtrante expandido	$Le = L(1 + E) + (L'(1 + E'))$	1,03 m
Altura total de canaletas de lavado más losa de fondo	$H3 = (1,5 * ho) + 0,1$	0,63 m
Altura del borde de la canaleta de lavado con respecto al fondo del filtro	$Hc = H1 + H2 + Le + H3 + H4$	2,85 m
Pérdida de carga en la arena durante el lavado	$hf = (1 - \varepsilon o)(\rho s - \rho a/\rho a) * l$	0,29 m
Pérdida de carga en la antracita durante el lavado	$hf' = (1 - \varepsilon'o)(\rho s - \rho a/\rho a) * l$	0,14 m
Pérdida de carga total en el lecho filtrante durante el lavado	$hf1 = hf + h'f$	0,42 m
Número de viguetas de drenaje	$N1 = B/b$	20
Número de orificios en cada vigueta	$N2 = 2c/e$	148,5
Número total de orificios en el drenaje	$NT = N1 * N2$	2970
Caudal de lavado por orificio	$qo = Q/NT$	$3*10^{-5}$ m ³ /s
Área de filtración	$Af = Q * 86400/q$	25,25 m ²
Ancho del filtro	-	3,4 m
Largo del filtro	-	7,42 m

Cuando se identifica colmatación del medio filtrante, se debe realizar el lavado del mismo a través de flujo de agua ascendente y aire comprimido bajo el lecho; el agua de lavado es recolectada y conducida a través de la tubería de drenaje hacia la galería de desagüe. El desagüe del lavado de los filtros se realiza mediante válvula mariposa, la cual conecta el canal de lavado con el canal general de desagüe.

En el plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-001 y plano AZUSM-PG-JJ-SIAP-01-003 se presenta las dimensiones de los filtros, y su configuración en planta y perfil.

3.7. DESINFECCIÓN CON LUZ UV Y CLORO

En el canal de recolección de agua filtrada se instalarán lámparas de luz ultravioleta con el objeto de inactivar microorganismos como bacterias, virus y protozoos. Las lámparas UV tendrán una transmitancia del 95% y una dosis de radiación mayores a 250 mJ/cm²; estas dosis tienen el propósito de proveer hasta cuatro unidades logarítmicas, es decir hasta un 99.99% de inactivación.

Una vez el agua haya pasado a través de las lámparas de UV, seguirá su curso por canal de agua filtrada hacia el tanque de contacto de cloro. El tanque de contacto se aplica cloro gaseoso al agua con lo cual se busca garantizar una concentración residual de cloro en la red de distribución entre 0,3 mg/l a 2 mg/l. El tanque de cloro tiene 4,80 m de ancho, 69 m de largo y 2 m de profundidad, se encuentra dividido en dos compartimentos con el fin de favorecer el contacto de toda la masa de agua con el cloro.

En la Tabla 15 se presenta las especificaciones del tanque de contacto de cloro

Tabla 15. Características tanque de contacto de cloro

Parámetro	Valor
Volumen tanque de contacto	946,6 m ³
Tiempo hidráulico de retención	30 min

3.8. MANEJO Y TRATAMIENTO DE LODOS

En las unidades de ecualización se homogeniza y se almacena el lodo con el fin de conseguir la extracción de este a un caudal continuo hacia los espesadores. El proceso de espesamiento remueve el exceso de agua mediante decantación y concentra los sólidos por medio de sedimentación. Para el tratamiento del lodo de la PTAP se emplearán decantadores estáticos tipo circular, provistos de barredores que giran lentamente para agitar los sólidos y conseguir que se compacten en el fondo, de donde serán extraídos por gravedad o por bombeo; el agua clarificada se extrae del decantador, y será reciclada al sistema de tratamiento de agua potable. El lodo obtenido será entregado a un tercero encargado de su disposición final.

4. COSTOS APROXIMADOS DE LA PTAP

El costo del sistema de tratamiento se obtiene a partir de precios de referencia de de proyectos con actividades similares construidos o en construcción recientemente; el costo involucra obra civil y equipos hidromecánicos, se establece un valor por m³ entre 19 y 20 MUSD; por lo que el costo estimado para la planta de tratamiento Agua Dulce para la capacidad inicial de 0,26 m³/s es del orden de 5 MUSD y del orden de 4 MUSD adicionales para la ampliación a una capacidad total de 0,53 m³/s.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el dimensionamiento de las unidades de tratamiento se tuvieron en cuenta los procedimientos, normas y parámetros planteados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Se proyecta una planta convencional de tratamiento de agua potable pero se podría operar bajo el sistema de filtración directa cuando la calidad del agua cruda es muy buena.

La estructura de entrada al sistema de tratamiento es una cámara de admisión, la cual permite la disipación de energía y la homogenización del caudal; de la cámara de admisión el agua pasa a través de un canal de aproximación hacia la canaleta parshall en la cual se realiza la medición de flujo de agua afluente a la planta, y se hace la mezcla rápida para la dispersión del coagulante; posteriormente el agua pasa una estructura de repartición en la que se distribuye el caudal a través de cuatro (4) canales que conducen el agua hacia los procesos de tratamiento: floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

La planta de tratamiento se desarrolla en dos etapas, cada etapa con capacidad para tratar un caudal de 0,26 m³/s para una capacidad total de la planta de 0,53 m³/s. Cada etapa está constituida por dos (2) líneas de floculadores mecánicos de paletas de eje horizontal; cada floculador con cuatro (4) cámaras para cuatro gradientes de mezcla, dos (2) sedimentadores rectangulares de alta tasa constituido por placas de sedimentación, y tres (3) unidades de filtros de arena y antracita.

Posterior al proceso de filtración, el agua pasa al sistema de desinfección con cloro gaseoso para la eliminación de bacterias y virus, para la eliminación de posibles protozoarios presentes en el agua como *Giardia* y *Cryptosporidium* se emplearán lámparas de luz ultravioleta; las cuales por su acción germicida, logran garantizar una eliminación de microorganismos infecciosos superior al 99%.

El lodo generado en los procesos de floculación, sedimentación y filtración, se conducirá hacia el espesador con el fin de reducir el volumen de lodo líquido y obtener un lodo más concentrado, de estos el lodo es extraído y conducido hacia el filtro prensa. El agua clarificada de los espesadores retorna a la cámara de admisión del sistema de tratamiento, el lodo tratado finalmente es entregado a un tercero, encargado de su traslado y disposición final.

La infraestructura adicional al tren de tratamiento necesaria para el adecuado funcionamiento de la planta incluye: sistema de tratamiento de lodos, edificio de cloración, edificio de administración y laboratorio, edificio para taller y almacén, edificio de administración y dosificación, caseta de sopladores, edificio de instalación de consolas de lavado de filtros, tanque de agua tratada para lavado de filtros (lavado mutuo o lavado compartido), vía de acceso y cerramiento.

La selección del coagulante y la dosis óptima del mismo se podrán determinar mediante ensayos de laboratorio (jar- test); la selección de la dosis de coagulante es aquella que logra una reducción suficiente de color y turbidez. Estos ensayos deben realizarse con la frecuencia suficiente para adaptarse a los cambios de calidad del agua cruda y, por consiguiente, de la demanda de coagulante.

Es necesario llevar a cabo ensayos de consumo de cloro para conocer la dosis del punto de quiebre y estimar la concentración residual que actúa como desinfectante.

Es necesario realizar estudio de tratabilidad del agua para conocer en detalle tiempos óptimos de retención en los floculadores, gradientes óptimos de floculación y tiempos óptimos de sedimentación.

Deberán realizarse monitoreos periódicos de caracterización de agua sobre el Río Santa María, con el fin de conocer de manera suficiente las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de suministro a la PTAP tanto en época seca como en época lluviosa.

A través de análisis microbiológico de calidad del agua en el río Santa María, se podrá identificar la presencia de protozoos (*Giardia* y *Chryptosporidium*), y así establecer la necesidad o no de incluir en el sistema de tratamiento la instalación de lámparas UV.

6. REFERENCIAS

Arboleda Valencia J. (1992). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá: MCGRAW-HILL.

EMOS S.A. Recuperado de : www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf. Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de agua potable. Garcés Arancibia Fernando. Fecha de consulta 10-06-2019

Pérez J.A (1990). Manual de potabilización del agua. Medellín: Universidad Nacional Seccional Medellín.

Romero Rojas J.A(1999). Potabilización del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas J.A(1999). Tratamiento de aguas residuales. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Vargas L (2004). Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida: Lima: CEPIS, OPS.