

**Diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del  
municipio de Ubaté****Cristian David Roa Aponte****Andrés Felipe Sandoval Téllez****Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil****Director:****Ing. Jorge Humberto Benavides Santamaría****Universidad Santo Tomás  
Facultad Ingeniería Civil  
Bogotá D.C  
2019**

## RESUMEN

A lo largo de la historia varias civilizaciones se han visto afectadas por enfermedades e inclusive muertes, por el hecho de recurrir a un recurso vital como lo es agua, la cual estaba contaminada por diversos factores y que no se trataba para el consumo humano. La evolución de estos sistemas de tratamiento, han permitido que hoy en día seamos capaces de consumir agua óptimamente tratada, sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que, a nivel nacional vemos cómo en algunos pueblos y municipios se consume agua que no se trata bajo los mejores parámetros, es decir, que miles de personas consumen diariamente agua que puede llegar a producir enfermedades. La mayor parte de esta deficiencia se presenta en el sector rural, según la organización mundial de la salud (OMS), en el año 2015 se presentaban un 12% de instalaciones deficientes en cuanto al saneamiento básico rural, mientras que solamente un 3% presentaba esta condición en el sector urbano, en dicho año.

## ABSTRACT

Along the history many civilizations have been affected by diseases and even deaths, just for drinking water, which is a vital resource, but contaminated water that wasn't treated for human consumption. The evolution of these treatment systems has allowed that nowadays we can consume treated water, nevertheless that is not true at all, because in many towns of this country it's drunk water without an optimum treatment, then thousands of people daily are drinking water that could produce diseases. Most of this diffidence is presented in the rural sector, according to the World Health Organization (WHO), in 2015, the 12% of the rural basic sanitation presented deficient installations, while just the 3% of the urban sector presented that problem in that year.

## Tabla de contenido

<b>1. Preliminar</b>	11
<b>1.1 Objetivos</b>	11
1.1.1 Objetivo general	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
<b>1.2 Introducción</b>	12
<b>1.3 Alcance</b>	13
<b>2. Aspectos generales</b>	14
<b>2.1 Aspectos físicos de Ubaté</b>	14
<b>2.2 Aspecto económico</b>	14
<b>2.3 Localización</b>	15
<b>2.4 Población</b>	18
2.4.1 Población actual	18
2.4.2 Proyección de población	18
<b>2.5 Generalidades</b>	26
2.5.1 Ubicación de los puntos de control	26
<b>3. Diagnóstico de la planta</b>	27
<b>3.1 Procesos actuales</b>	27
<b>3.1.1 Captación de agua</b>	27
3.1.1.1 Trayectoria y calidad del agua captada	28
<b>3.1.2 Cámara de quietamiento</b>	29
<b>3.1.3 Mezcla rápida</b>	30
<b>3.1.4 Canal de Conducción Parshall-Floculación</b>	33
<b>3.1.5 Mezcla lenta</b>	33
<b>3.1.6 Sedimentación</b>	37
<b>3.1.7 Canal de Conducción Sedimentador- Filtros</b>	41
<b>3.1.8 Filtración</b>	41
<b>3.1.9 Canal de Conducción Filtros-Tanque</b>	45
<b>3.1.10 Desinfección</b>	45
<b>3.1.11 Distribución y desagüe</b>	49
<b>3.1.12 Estaciones de bombeo</b>	53
<b>3.1.13 Pruebas de laboratorio</b>	56
<b>4. Re- diseño de unidades (recomendaciones)</b>	61

**DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ**

<b>4.1.1 Caudal de diseño</b>	61
<b>4.1.2 Población y caudal de diseño para cada uno de los años</b>	64
<b>4.1.3 Cámara de aquietamiento</b>	66
<b>4.1.4 Mezcla rápida</b>	68
<b>4.1.5 Pruebas de laboratorio</b>	77
<b>4.1.6 Canal de conducción Parshall-Floculadores</b>	91
<b>4.1.7 Mezcla lenta</b>	93
<b>4.1.8 Sedimentación</b>	98
<b>4.1.9 Canal de conducción Sedimentación – Filtración.</b>	112
<b>4.1.10 Filtración</b>	114
<b>4.1.11 Canal de conducción de filtros a tanque de almacenamiento.</b>	119
<b>4.1.12 Cloración</b>	120
<b>4.1.13 Tanque de Almacenamiento</b>	121
<b>4.1.14 Lecho de Secado</b>	124
<b>5. Manual de operación</b>	126
<b>6. Conclusiones</b>	134
<b>7. Bibliografía</b>	137
<b>8. Anexos</b>	140

### Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Proyección y crecimiento de población según el DANE - Ubaté.....	18
<b>Tabla 2:</b> Censos realizados por el DANE.....	20
<b>Tabla 3:</b> Habitantes que contaban con el servicio.....	20
<b>Tabla 4:</b> Habitantes promedio que cuentan/contaban con el servicio.....	21
<b>Tabla 5:</b> Habitantes abastecidos en los años 1993, 2005, 2019.....	22
<b>Tabla 6:</b> Número de habitantes en el 2044 según métodos de crecimiento.....	24
<b>Tabla 7:</b> Dirección de puntos de muestreo.....	26
<b>Tabla 8:</b> Caudales de diseño para periodo de diseño.....	64
<b>Tabla 9:</b> Ecuaciones para la canaleta Parshall.....	68
<b>Tabla 10:</b> Verificación de cumplimiento de parámetros en Parshall.....	76
<b>Tabla 11:</b> Turbiedad de cada tipo de agua .....	77
<b>Tabla 12:</b> Valores y cumplimiento de parámetro de turbiedad – Agua tratada.....	77
<b>Tabla 13:</b> pH de cada tipo de agua.....	78
<b>Tabla 14:</b> Valor y cumplimiento de parámetro de pH – Agua tratada.....	78
<b>Tabla 15:</b> Datos de laboratorio para calcular la acidez del agua sin tratar.....	79
<b>Tabla 16:</b> Datos de laboratorio para calcular la acidez del agua tratada.....	79
<b>Tabla 17:</b> Datos de laboratorio – Alcalinidad de agua tratada.....	81
<b>Tabla 18:</b> Datos de laboratorio – Alcalinidad de agua sin tratar.....	81
<b>Tabla 19:</b> Parámetros para el ensayo No.1 de jarras.....	83
<b>Tabla 20:</b> Prueba No.1 laboratorio de jarras.....	84
<b>Tabla 21:</b> Parámetros para el ensayo No.2 de jarras.....	85
<b>Tabla 22:</b> Prueba No.2 laboratorio de jarras.....	85
<b>Tabla 23:</b> Valor constante S con respecto al tipo de módulo.....	102
<b>Tabla 24:</b> Principales características de filtros.....	114

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

<b>Tabla 25:</b> Resultados analíticos curva de masa.....	121
<b>Tabla 26:</b> Recomendaciones para cámara de aquietamiento.....	127
<b>Tabla 27:</b> Recomendaciones para cámara mezcla rápida y dosificación .....	127
<b>Tabla 28:</b> Recomendaciones para canales.....	128
<b>Tabla 29:</b> Recomendaciones para floculación.....	128
<b>Tabla 30:</b> Recomendaciones para sedimentación.....	129
<b>Tabla 31:</b> Recomendaciones para filtración.....	130
<b>Tabla 32:</b> Recomendaciones para cloración y tanque de almacenamiento.....	131
<b>Tabla 33:</b> Recomendaciones para tanque elevado.....	132

**Lista de gráficas**

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfica 1:</b> Crecimiento población vs año. Ubaté.....	18
<b>Gráfica 2:</b> Población atendida por año.....	21
<b>Gráfica 3:</b> Población atendida y comparación de métodos de crecimiento .....	24
<b>Gráfica 4:</b> Dosificación Vs. Turbiedad. Prueba No.1 ensayo de jarras.....	83
<b>Gráfica 5:</b> Dosificación Vs. Turbiedad. Prueba No.2 ensayo de jarras.....	85
<b>Gráfica 6:</b> Curva de masa.....	121

### Lista de imágenes

	<b>Pág.</b>
<b>Imagen 1:</b> Localización Municipio de Ubaté.....	15
<b>Imagen 2:</b> Ubicación PTAP de Ubaté.....	16
<b>Imagen 3:</b> Distancia Bogotá - Ubaté .....	17
<b>Imagen 4:</b> Ubicación de estructuras de acueducto.....	27
<b>Imagen 5:</b> Cámara de quietamiento.....	29
<b>Imagen 6:</b> Canaleta Parshall.....	31
<b>Imagen 7:</b> Resalto hidráulico canaleta Parshall.....	31
<b>Imagen 8:</b> Paso de canaleta Parshall a canal.....	32
<b>Imagen 9:</b> Dimensiones canaleta Parshall 6''pulgadas.....	32
<b>Imagen 10:</b> Secciones de una unidad.....	34
<b>Imagen 11:</b> Flocladores tipo cox.....	35
<b>Imagen 12:</b> Entrada a unidades de floclación.....	35
<b>Imagen 13:</b> Flocladores tipo cox.....	36
<b>Imagen 14:</b> Pantallas de fibra tipo panal.....	38
<b>Imagen 15:</b> Flauta de salida.....	39
<b>Imagen 16:</b> Unidades de sedimentación.....	39
<b>Imagen 17:</b> Filtro en funcionamiento .....	42
<b>Imagen 18:</b> Filtro en mantenimiento .....	42
<b>Imagen 19:</b> Perfil de filtro .....	43
<b>Imagen 20:</b> Tanque elevado.....	44
<b>Imagen 21:</b> Pipeta de cloro gaseoso.....	46
<b>Imagen 22:</b> Pipeta de cloro gaseoso.....	46
<b>Imagen 23:</b> Mezcladores.....	47

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

<b>Imagen 24:</b> Tanque de distribución No.1.....	49
<b>Imagen 25:</b> Medición de nivel lámina de agua.....	50
<b>Imagen 26:</b> Flotador para medición de lámina de agua.....	50
<b>Imagen 27:</b> Desagüe.....	51
<b>Imagen 28:</b> Tanque de distribución No.2.....	51
<b>Imagen 29:</b> Tanque de distribución No.2.....	52
<b>Imagen 30:</b> Tubos de succión.....	53
<b>Imagen 31:</b> Bombas de primera estación.....	53
<b>Imagen 32:</b> Bomba de segunda estación.....	54
<b>Imagen 33:</b> Bombas de tercera estación.....	55
<b>Imagen 34:</b> Equipo para ensayo de jarras.....	56
<b>Imagen 35:</b> Turbidímetro.....	57
<b>Imagen 36:</b> Celdas para medidas de turbiedad de agua cruda y tratada.....	57
<b>Imagen 37:</b> Turbidímetro con resultado obtenido.....	58
<b>Imagen 38:</b> Fotómetro.....	59
<b>Imagen 39:</b> Valor de color en fotómetro.....	59
<b>Imagen 40:</b> Metros cúbicos facturados en el año 2018.....	60
<b>Imagen 41:</b> Artículo 43 resolución 0330.....	61
<b>Imagen 42:</b> Dimensiones de la canaleta Parshall.....	69
<b>Imagen 43:</b> Denotación de medidas Parshall (Planta).....	70
<b>Imagen 44:</b> Denotación de medidas Parshall (Perfil).....	70
<b>Imagen 45:</b> Medidas adoptadas canaleta Parshall (Planta).....	75
<b>Imagen 46:</b> Medidas adoptadas canaleta Parshall (Planta).....	75
<b>Imagen 47:</b> Llegada de agua a PTAP.....	82
<b>Imagen 48:</b> Jarra No.1 .....	87

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

<b>Imagen 49:</b> Jarra No.2 .....	87
<b>Imagen 50:</b> Jarra No.3 .....	88
<b>Imagen 51:</b> Jarra No.4 .....	88
<b>Imagen 52:</b> Jarra No.5 .....	89
<b>Imagen 53:</b> Jarra No.6 .....	89
<b>Imagen 54:</b> Borde libre.....	90

## **1. Preliminar**

### **1.1 Objetivos**

#### **1.1.1 Objetivo general**

Realizar el diagnóstico de la planta de tratamiento ubicada en el municipio de Ubaté, para proponer una optimización en aquellos procesos y operaciones donde se presentan fallas que puedan llevar a un mal tratamiento del agua, teniendo en cuenta la demanda de agua requerida, en función al crecimiento poblacional del municipio.

#### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Realizar el levantamiento topográfico de la planta y de las unidades actuales que la conforman.
- Realizar el diagnóstico de las unidades de proceso de potabilización y proponer la optimización en los casos que aplique.
- Analizar el proceso de dosificación de los reactivos para el proceso de potabilización.
- Realizar el prediseño de los lechos de secado.
- Realizar un manual de mantenimiento y operación de la planta.

## 1.2 Introducción

La calidad del agua que consume una población es de suma importancia, debido a que esto afecta directamente en el bienestar de dichos habitantes, por esta razón es necesario el tratamiento previo del agua, en este caso se estudia, se evalúa y se determina si la PTAP del municipio de Ubaté presenta las condiciones adecuadas para realizar un tratamiento óptimo del agua, logrando que esta sea apta para el consumo humano.

El proyecto en cuestión pretende hacer un análisis de los diferentes procesos que intervienen en el funcionamiento de la planta de tratamiento de Ubaté, para posteriormente evaluar la calidad de dichos procesos y de ser necesario mejorarlos, realizando así sus respectivas observaciones y dar algunas recomendaciones de cómo puede ser su mejoramiento.

Para analizar la funcionalidad de la planta, es necesario contar con un conocimiento previo, con el fin de valorar tanto cualitativa como cuantitativamente la calidad de las estructuras y de los procesos que se están llevando a cabo, ya que de esto depende directamente la calidad del agua que se está distribuyendo, y por consiguiente el agua que están consumiendo miles de personas.

Para evaluar dichos aspectos mencionados, se han realizado visitas técnicas a la PTAP de Ubaté, donde se ha observado el funcionamiento de esta, para posteriormente desarrollar los cálculos y diseños que más se ajusten a las necesidades de la población. El desarrollo de la optimización será clave para determinar si la PTAP necesita solamente una ampliación de sus unidades o por otro lado necesita una completa reestructuración.

### **1.3 Alcance**

El presente proyecto contempla el análisis del funcionamiento de cada una de las etapas de la PTAP en cuestión, para así realizar una evaluación y de ser necesario sugerir un rediseño de aquellas etapas que no sean aptas para el óptimo funcionamiento de la estructura.

Al finalizar el proyecto se sabrá si el agua que se está tratando presenta condiciones óptimas o por el contrario no cumple con la normatividad requerida, esto en base a la teoría y la práctica.

## **2. Aspectos generales**

### **2.1 Aspectos físicos de Ubaté**

- Extensión total: 102 km<sup>2</sup>
- Altitud: 2556 m.s.n.m
- Temperatura: 18°C

### **2.2 Aspecto económico**

Es importante conocer los recursos económicos con los que cuenta el municipio, ya que se debe tener en cuenta este aspecto a la hora del rediseño de la planta, esto para tener la certeza de que el pueblo económicamente puede incurrir en los gastos que se plantean en el escrito.

Ubaté presenta y ha presentado desde hace varios años un gran desarrollo en agricultura y ganadería (más desarrollo en ganadería), debido a que este municipio es conocido por su gran producción lechera, actualmente este municipio produce alrededor de 14000 Lt de leche diarios (Unimedios. Universidad Nacional de Colombia, 2018)

Además de ser un municipio con una gran producción lechera, se destaca por sus sitios turísticos tales como la Basílica Menor del Divino Salvador. Esto influye directamente en su economía. Es importante tener en cuenta que el potencial turístico se puede aprovechar siempre y cuando los ejes viales se encuentren pavimentados y en buenas condiciones, para que así el acceso entre municipios sea mucho más sencillo, sin embargo no todas se encuentran en el mismo estado, pero se puede afirmar con certeza que el transporte y conexión entre municipios presenta buenos índices.

Respecto al empleo de los ubetenses, el sector que más genera actualmente puestos es el de la explotación y comercialización de carbón mineral, por dicha razón las gobernaciones de

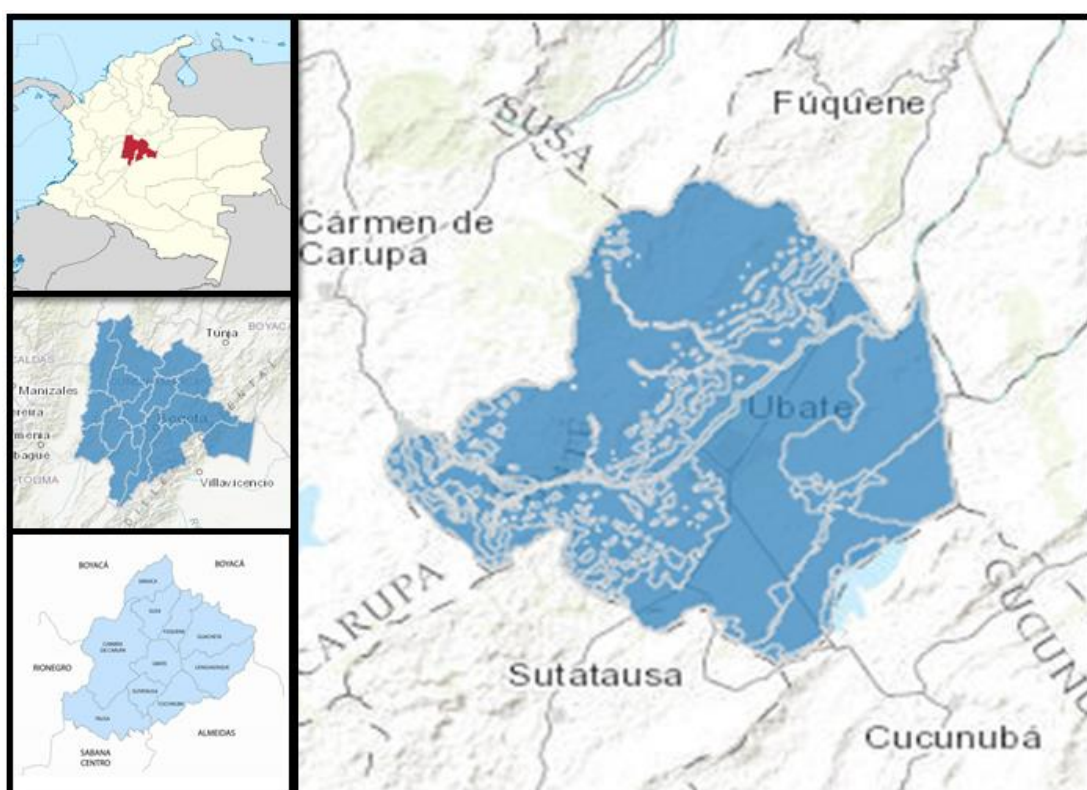
## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Cundinamarca y Boyacá han construido vías, para así contar con una mejor competitividad y apoyar al sector minero (Semana, 2017).

### 2.3 Localización

Ubaté es un municipio del departamento de Cundinamarca, que se encuentra ubicado en la provincia de Ubaté, gráficamente lo vemos ubicado en el siguiente punto de nuestro país:

Imagen 1. Localización Municipio de Ubaté

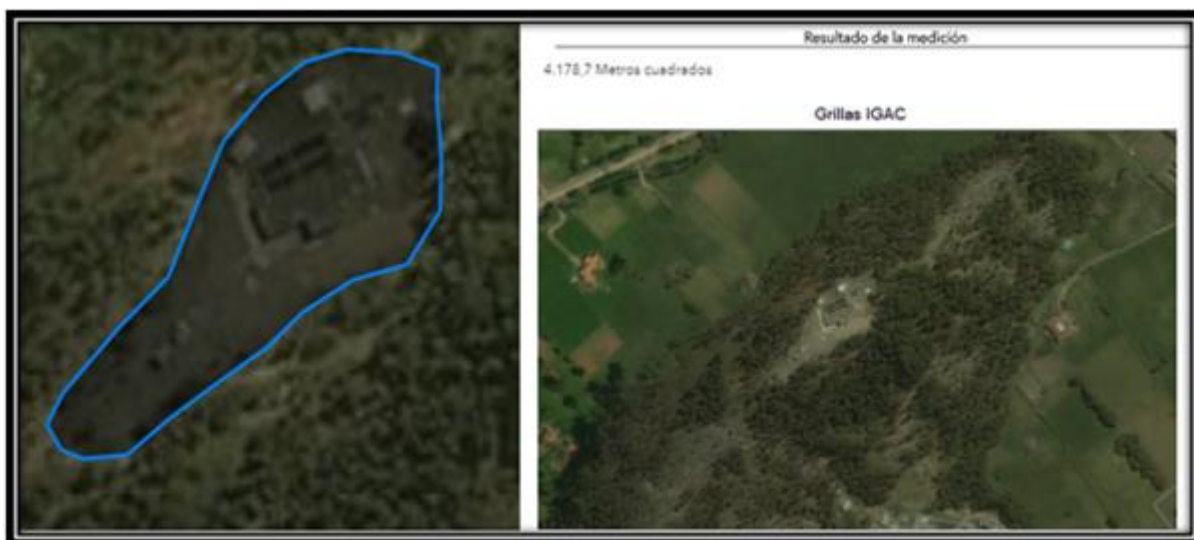


*Nota:* Localización del municipio de Ubaté en el mapa de Colombia. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. Recuperado de: ArcGis e IGAC

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

En cuanto a la ubicación geográfica de la PTAP de Ubaté se tiene que:

Imagen 2. Ubicación PTAP de Ubaté



*Nota:* Ubicación geográfica del lote donde se encuentra la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Ubaté. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. Recuperado de:

IGAC GEOPORTAL.

El área mostrada es el área disponible aproximada con la que cuenta la PTAP ( $4178,7 m^2$ ), sin embargo, actualmente se tiene en uso alrededor de la mitad de esta área. Quiere decir que, en caso de necesitar una expansión de alguna estructura, se cuenta con un área considerable.

Imagen 3. Distancia Bogotá - Ubaté

 **Bogotá, COL — Ubaté, Villa de San Diego de Ubaté, Cundinamarca, COL**  
100,4 kilómetros



*Nota:* Distancia recorrido de Bogotá - Ubaté. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

2018, Recuperado de: Mapa Carreteras INVIAS.

## 2.4 Población

### 2.4.1 Población actual

La población actual (2019) del municipio de Ubaté es de 39568 personas, según proyecciones realizadas por el DANE.

### 2.4.2 Proyección de población

A continuación, se muestra la proyección poblacional realizada por el DANE para el municipio de Ubaté. Esta se obtuvo de la página de internet oficial del DANE

Tabla 1. Proyección y crecimiento de población según el DANE

Año	Población Total [No. Habitantes]	Crecimiento población [No. Habitantes]
2006	36747	-
2007	36991	244
2008	37230	239
2009	37141	241
2010	37706	235
2011	37936	230
2012	38169	233
2013	38395	226
2014	38607	212
2015	38809	202
2016	39018	209
2017	39205	187
2018	39393	188
2019	39568	175

*Nota:* Proyección de población del municipio de Ubaté, según la página web oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Roa Aponte, Sandoval

Téllez. 2018

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

La proyección se hace hasta el año 2044, ya que el periodo de diseño es de 25 años, según el Título 2 - Capítulo 1 - Art. 40 de la Resolución 0330 de 2017.

Gráficamente se muestra el crecimiento del municipio:

Gráfica 1. Crecimiento población vs año. Ubaté



*Nota:* Gráfica de población vs año, del municipio de Ubaté, según la página web oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Para realizar el cálculo de la población que se debe satisfacer con agua potable en el año 2044, se debe tener en cuenta la cobertura que tiene y tendrá la PTAP en el municipio.

Para realizar el cálculo de población a satisfacer se utilizaron los datos de censos oficiales del DANE de 1993 y 2005. A continuación, se muestran los datos obtenidos:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Tabla 2. Censos realizados por el DANE

Año censo	Cabecera [No. Habitantes]	Rural [No. Habitantes]	Total [No. Habitantes]
1993	13080	17752	30832
2005	21966	10815	32781

*Nota:* Censos realizados por el DANE, según la página web oficial del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Los datos que muestra la tabla 2 representan el total de habitantes en el municipio en dichos años, pero como fue mencionado anteriormente, se debe tener en cuenta la cobertura de la PTAP que en este caso es el 100% del casco urbano (cabecera) y el 30% de la zona rural. Por esta razón debemos tener en cuenta solamente el 30% de los habitantes de la zona rural para posteriormente encontrar el total de la población servida en dichos años.

Tabla 3. Habitantes que contaban con el servicio

Año censo	Cabecera [No. Habitantes]	Rural [No. Habitantes]	Total [No. Habitantes]
1993	13080	5326	18406
2005	21966	3245	25211

*Nota:* Habitantes promedio que contaban con el servicio de agua potable en los años 1993 y 2005. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Ahora, se requiere saber cuántas personas cuentan con el servicio de la PTAP. Emservilla (la empresa responsable de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable de Ubaté) nos comunicó (27/03/2019) que actualmente se tienen 9392 usuarios, el 83.53% pertenecientes a la cabecera y el 16.47% restante a la zona rural, es decir, 7845 usuarios se encuentran en el casco urbano y 1567 se encuentran en la otra zona.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Según el censo de 2005 el promedio de personas que viven por hogar es 3.7 en la cabecera y 4.2 en la zona rural, quiere decir que si se multiplica el número de usuarios por el número promedio de habitantes encontramos que actualmente el servicio se presta en promedio a 35524 personas, 6497 de la zona rural y 29027 de la cabecera.

En conclusión, del análisis se tienen los siguientes datos en cuanto a habitantes que han hecho (1993 y 2005) y hacen uso del servicio (2019)

Tabla 4. Habitantes promedio que cuentan/contaban con el servicio

<b>Año</b>	<b>Cabecera</b>	<b>Rural</b>	<b>Total</b>
1993	13080	53256	18406
2005	21966	3245	25211
2019	29027	6497	35524

*Nota:* Habitantes promedio que cuentan/contaban con el servicio de agua potable en los años 1993, 2005 y 2019. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Para el cálculo de la población a satisfacer en el año 2044 se evaluaron los métodos propuestos en el libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” (2003) del ingeniero Ricardo Alfredo López Cualla. Los 3 métodos que se evalúan son: Lineal, logarítmico y geométrico. Posteriormente al observar los métodos graficados se determina cuál es el mejor dependiendo de ciertos factores.

El uso de las letras “Pob” se refiere a la población atendida y a atender (según el año) y no a la población total del municipio.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

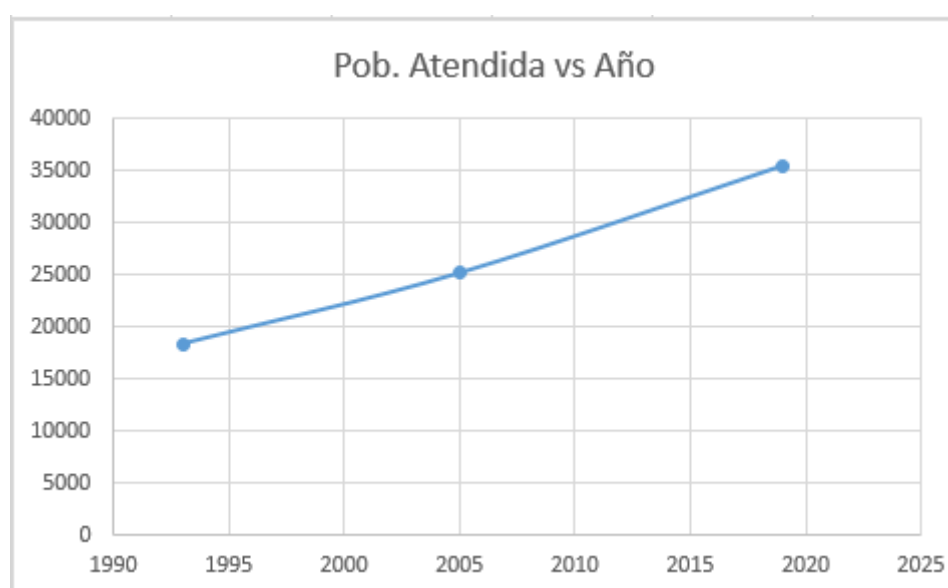
Tabla 5. Habitantes abastecidos en los años 1993, 2005, 2019

Año	Población Total [Habitantes abastecidos]
1993	18406
2005	25211
2019	35524

*Nota:* Habitantes abastecidos por el servicio de agua potable en los años 1993, 2005 y 2019.

Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Gráfica 2. Población total atendida por año (De Tabla 5)



*Nota:* Habitantes promedio que cuentan/contaban con el servicio de agua potable en los años

1993,2005 y 2019. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

- Método aritmético:

$$r = \frac{Pob_{2019} - Pob_{1993}}{2019 - 1993}$$

$$r = \frac{35524 - 25211}{26}$$

$$r = 658,38$$

Población:

$$Pob_{2044} = Pob_{2019} + r * (2044 - 2019)$$

$$Pob_{2044} = 35524 + 658,38 * 25$$

$$Pob_{2044} = 51984 \text{ habitantes}$$

- Método logarítmico:

Se calculan primero dos tasas de crecimiento, la primera será de 2019 a 2005 y la segunda de 2005 a 1993; posteriormente se calcula un promedio

$$r_1 = \frac{\ln Pob_{2019} - \ln Pob_{2005}}{2019 - 2005}$$

$$r_1 = \frac{\ln 35524 - \ln 25211}{2019 - 2005}$$

$$r_1 = 0,0245$$

$$r_2 = \frac{\ln Pob_{2005} - \ln Pob_{1993}}{2005 - 1993}$$

$$r_2 = \frac{\ln 25211 - \ln 18406}{2005 - 1993}$$

$$r_2 = 0,0262$$

$$r_{prom} = 0,0254$$

Población:

$$Pob_{2044} = Pob_{1993} * e^{r_{prom}(2044-1993)}$$

$$Pob_{2044} = 18406 * e^{0,0254(51)}$$

$$Pob_{2044} = 67227 \text{ habitantes}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Método geométrico:

$$r = \left( \left( \frac{Pob_{2019}}{Pob_{1993}} \right)^{\frac{1}{2019-1993}} \right) - 1$$

$$r = \left( \left( \frac{35524}{18406} \right)^{\frac{1}{2019-1993}} \right) - 1$$

$$r = 0,02479$$

Teniendo ya la tasa de crecimiento ( $r$ ), la población a satisfacer con agua potable (2044) será:

$$Pob_{2044} = Pob_{2019} * (1 + r)^{2044-2019}$$

$$Pob_{2044} = 35524 * (1 + 0,02479)^{25}$$

$$Pob_{2044} = 65535 \text{ habitantes}$$

Finalmente, las poblaciones arrojadas por los diferentes métodos son las siguientes:

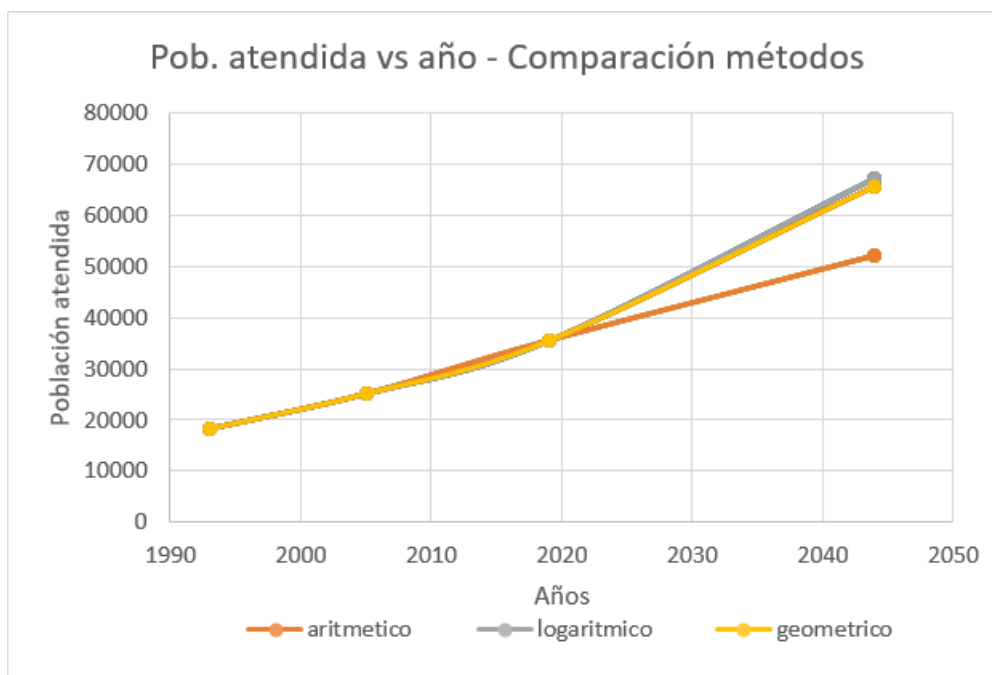
Tabla 6. Número de habitantes en el 2044 según métodos de crecimiento.

Método de crecimiento poblacional	Número de habitantes para el año 2044
Método aritmético	51984
Método logarítmico	67227
Método geométrico	65535

*Nota:* Habitantes abastecidos por el servicio de agua potable en los años 1993, 2005 y 2019.

Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Gráfica 3. Población atendida y comparación de métodos de crecimiento (De Tabla 6)



*Nota:* Población atendida durante 1993,2005, 2019 y comparación de métodos de crecimiento poblacional. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

El método logarítmico y el método geométrico arrojan valores similares, sin embargo, teniendo en cuenta que el método geométrico presenta una baja tendencia de crecimiento y el método logarítmico presenta una tendencia de crecimiento alta, luego del análisis de las gráficas y las tendencias de crecimiento poblacional del municipio presentadas por el DANE, se optó por escoger el método geométrico por presentar una tendencia de crecimiento similar.

En conclusión **65535** personas son las que necesitarán ser abastecidas por la PTAP en el año 2044.

## 2.5 Generalidades

### 2.5.1 Ubicación de los puntos de control

La PTAP cuenta con unos puntos de control en los cuales se realizan pruebas físicas y químicas al agua, los ensayos que se realizan en dichos puntos son los siguientes:

- Turbiedad (NTU) : Este valor debe ser menor a 2 NTU
- Color (UPC) : Este valor debe ser menor a 15 UPC
- Cloro residual (Mg/L): Este valor se debe encontrar entre 0.3 y 2.0 Mg/L
- pH: Este valor se debe encontrar entre 6.5 y 9

Los puntos en los cuales se realizan los ensayos se muestran a continuación:

Tabla 7: Dirección de los puntos de muestreo

Sitio	Dirección	Código
Villa Rosita	Cra 8 D # 3 -09	1001
Parque	Calle 7 # 6 – 37	1002
Col. Presentación	Cra 11 # 4 -91	1003
Plaza de mercado	Calle 15 A # 4 – 122	1004
Planta de tratamiento	-	1005
Matadero municipal	Cra 4 # 14 A – 116	1006
Ayuntamiento	Calle 12	1007
Col. Ma. Auxiliadora	Transv. 11 # 11 – 168	1008

*Nota:* Puntos de muestreo con sus respectivas direcciones. Autores: Roa Aponte,

Sandoval Téllez. 2018

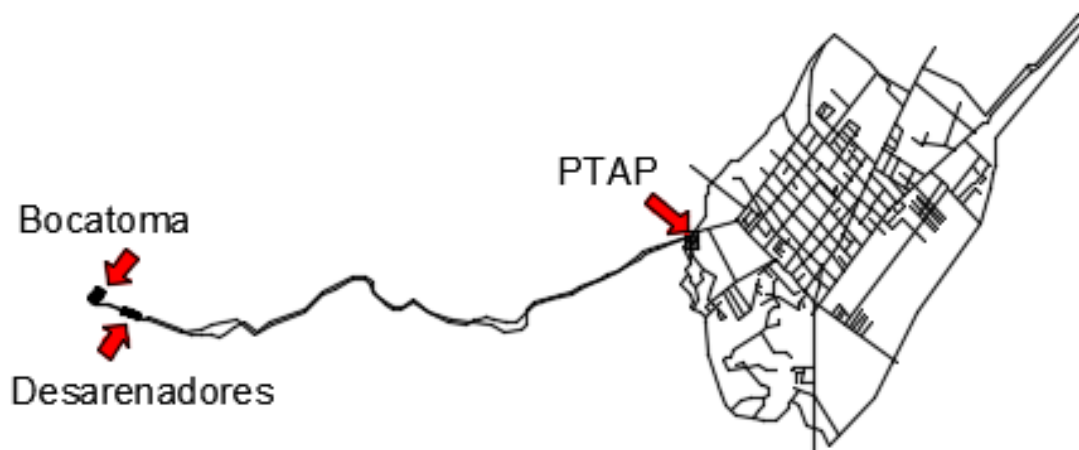
### 3. Diagnóstico de la planta

#### 3.1 Procesos actuales

##### 3.1.1 Captación de agua

La captación de agua es el primer proceso que se lleva a cabo, aprovechando la diferencia de altura para llevar el agua por gravedad hacia el desarenador. En este caso el agua es captada en el río Ubaté, para esto se hace uso de un canal de concreto donde el caudal que se toma es dirigido a una captación de fondo compuesta por tres rejillas, las cuales están ubicadas a unos 6 km de la planta de tratamiento.

Imagen 4. Ubicación de estructuras de acueducto



*Nota:* Ubicación de unidades (Bocatoma, desarenadores, PTAP). Recuperado de:

<http://emservilla.gov.co/acueducto/>

En cuanto a la aducción se manejan 3 líneas, las tuberías de llegada son de 12'', 10'' y 8''.

Está claro que previo al proceso de tratamiento del agua, se debe pasar el agua por el desarenador con el fin de remover la arena que trae el agua para que así no ingresen en el

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

canal de aducción, ya que esto causaría algunos problemas. Para determinar la eficiencia que presentan estos desarenadores, se toman muestras de agua (muestras que presentan turbiedades altas, pues la eficiencia se debe calcular de esta manera para analizar el trabajo que está realizando el desarenador) a la entrada de estos y a la llegada a la PTAP, se analizó la turbiedad de estas y mediante el siguiente cálculo se calcula dicha eficiencia:

$$E = \left(1 - \frac{T_s}{T_e}\right) * 100$$

Donde:

E = Eficiencia [%]

Te = Turbiedad de entrada a desarenadores [NTU]

Ts = Turbiedad de llegada a la PTAP [NTU]

$$E = \left(1 - \frac{1312}{1784,55}\right) * 100$$

$$E = 26,48 \%$$

### 3.1.1.1 Trayectoria y calidad del agua captada

El río Ubaté nace en el municipio de Carmen de Carupa, sus principales afluentes son los ríos Suta y Lenguazaque. Recorre alrededor de 42.7km, desemboca en la laguna de Fúquene, de hecho, el río Ubaté es su principal afluente. Está claro que el agua recibe contaminantes de ciertos sectores, en este caso la mayor cantidad de contaminantes se derivan de la ganadería y de los cultivos agroindustriales, aunque sectores como el minero no se quedan atrás y aportan también diversos contaminantes sólidos. A pesar de esto el agua del río Ubaté no presenta una gran turbiedad, presenta valores usuales de 4,5 NTU en verano, aunque ha llegado a presentar turbiedades de llegada a la PTAP de 1312 NTU.

### 3.1.2 Cámara de quietamiento

La cámara de quietamiento que presenta esta planta presenta las siguientes dimensiones:

$$L=2 \text{ m}$$

$$A=0,65 \text{ m}$$

$$H= 1,9 \text{ m}$$

Para un volumen total de:

$$\text{Vol cámara} = 2 \times 0,65 \times 1,9$$

$$\text{Vol cámara} = 2,47\text{m}^3$$

La capacidad de almacenamiento en esta cámara es de 2470 Lt.

La planta trata actualmente un caudal de  $110 \frac{\text{Lt}}{\text{Sg}}$ , este caudal llega mediante la utilización de tres tuberías provenientes de los dos desarenadores que se tienen, aunque en sí tiene capacidad para tratar  $126 \frac{\text{Lt}}{\text{Sg}}$ . A continuación, se muestra la imagen de la cámara:

Imagen 5. Cámara de quietamiento



*Nota:* Cámara de quietamiento de la PTAP de Ubaté. Autores: Roa Aponte,

Sandoval Téllez. 2018

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.3

### 3.1.3 Mezcla rápida

El proceso de mezcla rápida se realiza mediante un sistema hidráulico, en este caso una canaleta Parshall.

La Parshall que opera actualmente en esta planta cuenta con una garganta de 6" pulgadas y está hecha de concreto, aunque tiene en sus extremos superiores recubrimientos de metal, sin embargo, presenta irregularidades en sus medidas, las cuales se pueden observar en la imagen No. 9. El resalto hidráulico se presenta en la reducción de la sección, aunque en esta planta se utiliza una tabla allí en esta reducción causando que el resalto que se presenta no sea el mismo, pero en realidad la función principal de este es la de poner modificar el caudal que pasa a todo el sistema, por obvias razones si se baja la tabla, se obstruye más el agua y baja el caudal, esto lo hacen cuando deben lavar sedimentadores, por ejemplo. La utilización de este sistema desactualizado se hace debido a que las válvulas para bajar y subir el caudal que entra se encuentran aproximadamente a 20 minutos de camino, por dicha razón los operadores prefieren la utilización de la tabla mencionada. El **coagulante** que se utiliza en esta planta es polihidroxiclورو de aluminio, el cual se debe colocar en el resalto hidráulico que presenta la Parshall, pero no se coloca allí precisamente, se coloca un poco más adelante en otra especie de resalto hidráulico que se presenta justo en la salida de la canaleta, como se muestra en la imagen No. 14. Además de esto las medidas de la canaleta Parshall actual no cumplen.

A continuación, se muestran imágenes de la canaleta Parshall, del resalto hidráulico y del punto de aplicación del coagulante, respectivamente:

Imagen 6. Canaleta Parshall



*Nota:* Canaleta Parshall de la PTAP de Ubaté. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

2018

Imagen 7. Resalto hidráulico canaleta Parshall



*Nota:* Resalto hidráulico de la canaleta Parshall de la PTAP de Ubaté. Autores: Roa

Aponte, Sandoval Téllez. 2018

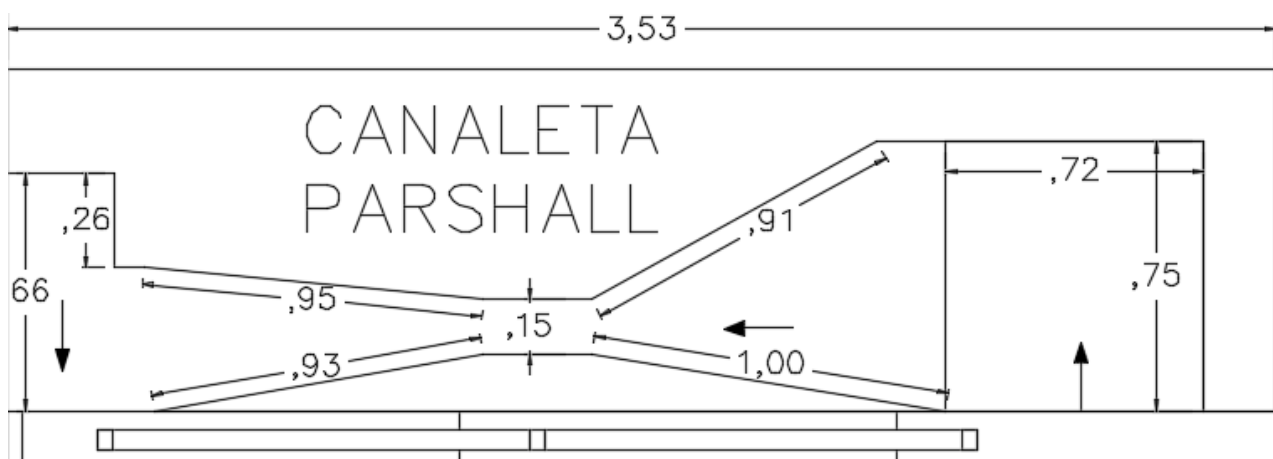
Imagen 8. Paso de canaleta Parshall a canal



*Nota:* Salida de agua de canaleta Parshall hacia el canal que conduce el agua hacia las unidades de floculación (punto de aplicación de coagulante actual). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

#### Dimensiones:

Imagen 9. Dimensiones canaleta Parshall 6' pulgadas



*Nota:* Diseño de la canaleta Parshall (Vista planta y dimensiones en cm) que se encuentra actualmente. Diseño realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Actualmente se utiliza una Parshall de 6" pulgadas, esta medida es el ancho de la garganta ( $W=15,2\text{cm}$ ).

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.4

### **3.1.4 Canal de Conducción Parshall-Floculación**

Actualmente la PTAP cuenta con un canal rectangular descubierto posterior a la parshall, dicho canal conduce el agua hasta las unidades de floculación. El canal está construido en concreto con las siguientes dimensiones:

$$B = 0,65 \text{ m}$$

$$H = 0,80 \text{ m}$$

$$L = 8,70 \text{ m}$$

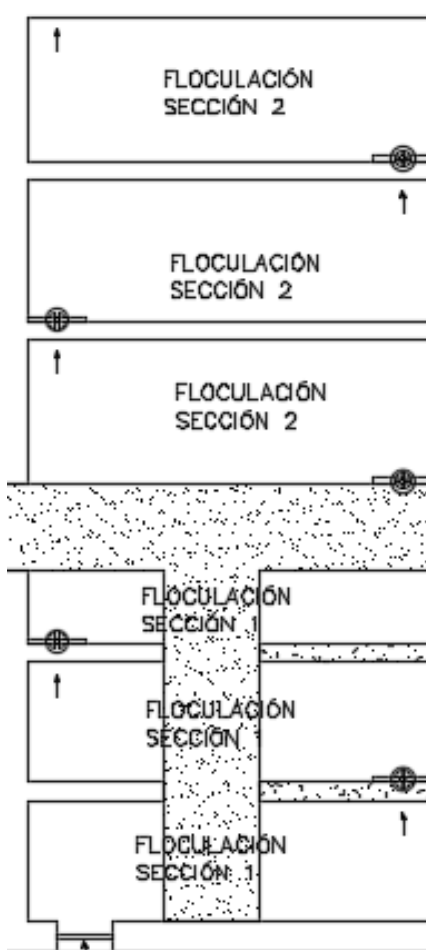
En el numeral 4.1.6 se verificará la condición actual del canal revisando los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento.

### **3.1.5 Mezcla lenta**

El proceso de mezcla lenta se realiza mediante un sistema hidráulico, en este caso floculadores tipo Cox.

En este caso se trabaja con dos unidades de floculadores los cuales presentan 6 cámaras cada una, y a su vez estas se clasifican en 2 secciones (3 cámaras por sección). La siguiente imagen presenta una vista de planta de una de las unidades de floculación.

Imagen 10. Secciones de una unidad



*Nota:* Secciones 1 y 2 de una unidad de floculación. Autores: Roa Aponte, Sandoval

Téllez. 2018.

Las 3 cámaras de la sección 2 cuentan con más volumen, debido a que son más profundas. Más adelante se mostrarán sus dimensiones y se calcularán sus respectivos volúmenes.

A continuación, se muestran los floculadores:

Imagen 11: Floculadores tipo Cox



*Nota:* Unidades de floculadores. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

Imagen 12: Entrada a unidades de floculación



*Nota:* Entrada a unidades de floculadores tipo Cox. Autores: Roa Aponte, Sandoval  
Téllez. 2018.

Imagen 13: Floculadores tipo Cox



*Nota:* Unidades de floculadores tipo Cox. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

Como se mencionó anteriormente, cada unidad cuenta con dos secciones, sus dimensiones son las siguientes:

Dimensiones sección 1

$$L = 3,5 \text{ m}$$

$$B = 1,05 \text{ m}$$

$$H = 2,6 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = L \times B \times H$$

$$\text{Volumen} = 3,5 \times 1,05 \times 2,6$$

$$\text{Volumen} = 9,6 \text{ m}^3$$

Dimensiones sección 2

$$L = 3,5 \text{ m}$$

$$B = 1,25 \text{ m}$$

$$H= 3,45 \text{ m}$$

$$\text{Volumen} = L \times B \times H$$

$$\text{Volumen} = 3,5 \times 1,25 \times 3,45$$

$$\text{Volumen} = 15.09\text{m}^3$$

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.7

### **3.1.6 Sedimentación**

El proceso de sedimentación se realiza mediante sedimentadores de alta tasa hechos en concreto, se tienen dos unidades, y son de tipo hidráulico.

El flujo que llega de los floculadores se vuelve ascendente cuando llega a los floculadores, es decir el agua entra por debajo y asciende, dejando que el floc que se formó en el proceso anterior se repose en el fondo por la misma acción de la gravedad, el flujo que sube pasa por unas pantallas hechas de fibra de vidrio tipo panal, las cuales presentan una inclinación ( $60^\circ$ ) con el fin de retener partículas que hasta este proceso no han salido del tratamiento como floc, luego de que el agua ha pasado por estas pantallas sigue ascendiendo hasta llegar casi al borde del sedimentador (se tienen unos 5cm de borde libre) y allí va entrando a una tubería tipo flauta, la cual será la encargada de llevar el agua al sistema de filtros. Existen 4 flautas por sedimentador, las cuales se encuentran separadas a 1.58m lo cual no es lo recomendable, según Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015) se recomienda tener una estructura de salida cada 1.2 m

En todo este proceso se presentan 3 zonas:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Zona de entrada: Es la encargada de distribuir de manera uniforme el flujo de agua, brindando un tránsito suave. Allí se deben evitar alteraciones que normalmente se presentan por una alta velocidad de flujo. Para esta se cuenta con dos tuberías separadas 1,2m entre ellas y 0,6 de las paredes respectivas.
- Zona de sedimentación: En esta zona, se sedimentan las partículas, para ello es importante contar con un correcto régimen de flujo y una óptima área superficial
- Zona de salida: Recolecta uniformemente el agua y se le da una salida con tránsito suave entre las zonas de sedimentación y el flujo de salida.

Nota: No se incluye la cuarta zona “Zona de lodos” ya que actualmente los sedimentadores no cuentan con esta.

A continuación, se muestran imágenes acerca de este proceso:

Imagen 14. Pantallas de fibra tipo panal



Nota: Pantallas de fibra tipo panal. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

En la imagen No. 14 se ve claramente que las pantallas ya acumulan muchas partículas, si no se le realiza una respectiva limpieza puede llegar a afectar el proceso de tratamiento.

Imagen 15. Flauta de salida



*Nota:* Flauta de salida. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

Imagen 16. Unidades de sedimentación



*Nota:* Unidades de sedimentación. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Como se mencionó anteriormente, cada unidad cuenta con dos secciones, sus dimensiones

Las dos unidades de sedimentación son idénticas y sus medidas son:

$$L = 11,28 \text{ m}$$

$$B = 2,41 \text{ m}$$

$$H = 2,50 \text{ m}$$

Cálculo de volumen:

$$Volumen = L \times B \times H$$

$$Volumen = 11,28 \times 2,41 \times 2,50$$

$$Volumen = 67.96 \text{ m}^3$$

El volumen de cada unidad de sedimentación es  $67.96 \text{ m}^3$

Los sedimentadores cuentan con placas (Módulos de sedimentación) de poliestireno, tipo panal, los cuales presentan las siguientes características:

$$\text{Ancho} = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Alto} = 1,04 \text{ m}$$

$$\text{Espesor} = 0,002 \text{ m}$$

$$\text{Ángulo de placa} = 60^\circ$$

$$\text{Espaciamiento} = 0,06 \text{ m}$$

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.8

### **3.1.7 Canal de Conducción Sedimentador- Filtros**

Actualmente la PTAP cuenta con un canal rectangular descubierto posterior a los sedimentadores, dicho canal conduce el agua hasta las unidades de filtración. El canal está construido en concreto con las siguientes dimensiones:

Ancho: 0,85 m

Alto: 0,70 m

Largo: 37,70 m

En el numeral 4.1.9 se verifica la condición actual del canal revisando los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento.

### **3.1.8 Filtración**

El agua que proviene del proceso de sedimentación aún presenta partículas suspendidas, partículas que gracias a su densidad (muy cercana a la del agua) no se sedimentaron y siguen estando allí, para esto se realiza el proceso de filtración mediante 3 filtros. El agua llega a los filtros y de forma descendente pasan a través de un medio poroso el cual será el responsable de retener aquellas partículas en suspensión que se mencionaron anteriormente. En este caso el medio poroso está representado por grava, arena fina y antracita.

A continuación, se muestran imágenes de los filtros:

Imagen 17. Filtro en funcionamiento



*Nota:* Filtro en funcionamiento. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Imagen 18. Filtro en mantenimiento



*Nota:* Filtro en mantenimiento. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

# DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Las dimensiones del filtro son las siguientes:

$$L=3,6 \text{ m}$$

$$B= 3,4 \text{ m}$$

$$H= 3 \text{ m}$$

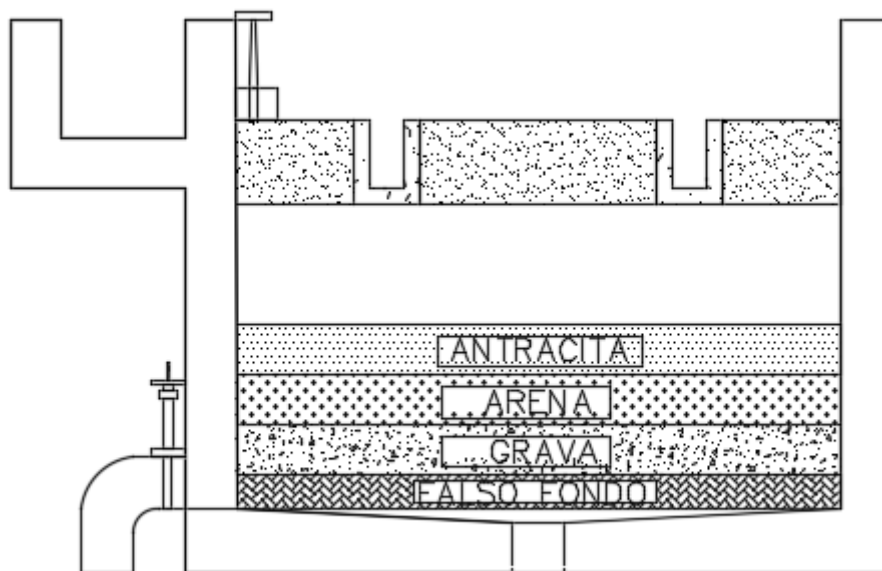
$$Volumen = L \times B \times H$$

$$Volumen = 3,6 \times 3,4 \times 3$$

$$Volumen = 36,18 \text{ m}^3$$

Volumen de cada unidad de filtración:  $36,72 \text{ m}^3$

Imagen 19. Perfil de filtro



*Nota:* Perfil de filtro realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

En teoría (datos encontrados en los planos generales de la PTAP actual) los espesores del lecho son los siguientes:

Antracita: 0,18 m

Arena: 0,54 m

Grava: 0,54 m

Falso fondo: 0,29 m

El retro lavado se realiza de la siguiente manera:

Se bombea parte del agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento, hacia un tanque elevado, por medio de la estación de bombeo No.1, (numeral 3.1.9). Este tanque se encuentra por encima del nivel de toda la PTAP, posteriormente se lleva el agua de dicho tanque hacia los filtros, de esta manera se invierte el proceso, es decir, el agua llega por debajo de los filtros lavando así el lecho filtrante y permitiendo desplazar las partículas que quedan dentro de este, finalmente esta agua se va por una compuerta de desagüe ubicada debajo de la tubería de entrada a los filtros, claro está que para que esto suceda se debe presentar una pendiente, que en este caso será 1%. A continuación, se muestra el tanque elevado

Imagen 20. Tanque elevado



*Nota:* Tanque elevado. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.10

### **3.1.9 Canal de Conducción Filtros-Tanque**

Actualmente la PTAP cuenta con un canal rectangular cubierto posterior de los filtros, dicho canal conduce el agua hasta un tubo encargado de continuar el transporte hasta el tanque de almacenamiento. El canal está construido en concreto con las siguientes dimensiones:

Ancho: 0,5 m

Alto: 0,80 m

Largo: 11,3 m

En el numeral 4.1.11 se verificará la condición actual del canal revisando los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento.

### **3.1.10 Desinfección**

El último proceso, pero no menos importante, es el proceso de cloración, que como su nombre lo dice es la aplicación de una cierta cantidad de cloro al agua para así eliminar de ella agentes patógenos que pueden llegar a producir infección o enfermedad en el ser humano. Los métodos más conocidos para hacer la cloración es la aplicación de cloro mediante pastillas o por goteo, sin embargo, en esta planta la se utiliza el método de cloro gaseoso, este cloro se almacena en unas pipetas de 68 kg cada una (imagen No.21) y se aplica siguiendo ciertos estándares y parámetros.

La cantidad de aplicación de cloro depende de ciertos factores, algunos de ellos son:

- Tipo y concentración del desinfectante utilizado

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Tiempo de contacto del cloro con el agua
- pH
- Buena dispersión del cloro
- Punto de aplicación

Además de esto se realiza un ensayo para saber la demanda de cloro.

Se debe tener en cuenta que en la planta de tratamiento en promedio se utilizan unos 18.2 Kg de cloro/ día, entonces en promedio una pipeta debe cambiarse cada 4 días.

Imagen 21. Pipeta de cloro gaseoso



*Nota:* Pipeta de cloro gaseoso de 68 Kg, en uso. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

2019.

Imagen 22. Pipetas de cloro gaseoso



*Nota:* Pipetas de cloro gaseoso de 68 Kg, para ser usadas. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Imagen 23. Mezcladores



*Nota:* Mezcladores. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.12

Para realizar la cloración se suministra cloro de forma líquida directamente al tanque de almacenamiento, la mezcla se aplica en el resalto hidráulico generado por la caída de agua proveniente de los filtros a una altura elevada a la lámina de agua. El cloro que se suministra al tanque llega en forma líquida, el proceso del cloro, de gaseoso a líquido, se realiza gracias a un mezclador, el cual mediante la cantidad de cloro gaseoso programado por el operario y agua clorada proveniente del tanque de almacenamiento gracias a la succión de una bomba, realiza la mezcla, para posteriormente ser impulsada por la misma bomba hacia un tanque elevado, el cual cuenta con dimensiones actuales de 6 m de largo, 6 m de ancho y 2.5 m de profundo, es decir, cuenta con capacidad para  $90m^3$ . Posteriormente se debe asegurar que el tanque tenga una capacidad que garantice un tiempo de contacto necesario de mínimo 20 min, según menciona el artículo 121 de la resolución 0330 de 2017, en el numeral 4.1.13 se verifica esto. Posteriormente por una tubería de media 1/2 pulgada desciende por gravedad hasta el resalto hidráulico antes mencionado.

Debido a que el cloro utilizado es gaseoso la calibración para la cantidad que es aplicada se realiza cuando el cloro pasa por medio de un dispositivo el cual contiene una “esfera”, esta indica la cantidad de cloro que está siendo aplicado, ya que el gas que pasa por allí se encarga de levantar dicha “esfera”.

La toma de este valor de cloro se realiza en los puntos de muestreo (Tabla 7), debido a que el proceso de cloración se realiza de la manera correcta toda el agua tratada actualmente cumple con el proceso de desinfección garantizando un valor de cloro residual entre 0.3 y 2.0

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Mg/L (este valor se obtiene por medio de fotómetros) según lo establecido por la resolución 2115 del 2007.

### 3.1.11 Distribución y desagüe

Luego de estar tratada el agua, el último paso es distribuirla a la población, para esto la planta cuenta con dos (2) tanques de distribución

- Primer tanque

$$L= 10\text{m}$$

$$B= 10\text{m}$$

$$H= 8\text{m}$$

Para un volumen total de  $800 \text{ m}^3$

- Segundo tanque:

El segundo tanque está subdividido en dos (2) los cuales están separados por un muro de 40 cm, y presenta las siguientes medidas:

$$L= 15 \text{ m}$$

$$B = 15 \text{ m}$$

$$H = 4,0 \text{ m}$$

Para un volumen total de  $900 \text{ m}^3$

A continuación, se muestran imágenes de estos tanques de distribución:

Imagen 24. Tanque de distribución No.1



*Nota:* Tanque de distribución de  $800m^3$  con puntos de aireación. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

El tanque cuenta con un dispositivo que regula e indica el nivel del agua, esto mediante un flotador y un sistema de poleas el cual permite el movimiento ascendente y descendente de dicho flotador.

Imagen 25. Medición de nivel lámina de agua



*Nota:* Dispositivo para la medición de nivel lámina de agua. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Imagen 26. Flotador para medición de lámina de agua



## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

*Nota:* Flotador para medición de lámina de agua. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

2019.

Además, la planta cuenta con otro tanque distribución con capacidad de 90 m<sup>3</sup>.

El desagüe se lleva al río Tausa.

Imagen 27. Desagüe



*Nota:* Desagüe principal de toda la PTAP. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Los procedimientos que no se están siguiendo de manera adecuada en este proceso se pueden encontrar en el numeral 4.1.13

Imagen 28. Tanque distribución No.2



*Nota:* Segundo tanque de distribución con volumen de  $960 m^3$ . Autores: Roa Aponte,

Sandoval Téllez

Imagen 29. Tanque distribución No.2



*Nota:* Segundo tanque de distribución con volumen de  $960 m^3$ . Autores: Roa Aponte,

Sandoval Téllez

### 3.1.12 Estaciones de bombeo

Actualmente se cuentan con 3 estaciones de bombeo.

- 1ra estación:

La primera se encuentra junto al tanque de distribución y tiene la función de suministrar agua al tanque elevado, desde donde se toma agua para el lavado de filtros (retrolavado) y para suministrar al barrio San José y a la vereda Las Brisas. Este proceso se realiza a través de dos bombas de 15 HP y de 9 HP y con dos tubos de succión de 4''.

Imagen 30. Tubos de succión



*Nota:* Tubos de sección de 4 pulgadas, de tanque de almacenamiento a bombas de primera estación. Emservilla (SF). Estación de Bombeo de la PTAP. Recuperado de:

<http://emservilla.gov.co/acueducto/>

Imagen 31. Bombas de primera estación



*Nota:* Primera estación de bombeo de tanque de almacenamiento a tanque elevado.

Emservilla (SF). Estación de Bombeo de la PTAP. Recuperado de:

<http://emservilla.gov.co/acueducto/>

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- 2da estación:

La segunda se encuentra junto al tanque elevado y tiene la función de abastecer 2 tanques de almacenamiento en el sector de las Brisas.

Imagen 32. Bomba de segunda estación



*Nota:* Segunda estación de bombeo de tanque elevado a los dos tanques de almacenamiento del sector de las brisas. Emservilla (SF). Segunda estación de Bombeo de la PTAP.

Recuperado de: <http://emservilla.gov.co/acueducto/>

- 3ra estación:

La tercera se encuentra sobre la red de distribución y tiene la función de abastecer 2 tanques de almacenamiento superficiales que suministran al barrio Santa Bárbara. Se trabaja con una bomba de 18HP.

Imagen 33. Bomba de tercera estación



*Nota:* Tercera estación de bombeo de tanque elevado de red de distribución a 2 tanques de almacenamiento. Emservilla (SF). Tercera estación de Bombeo de la PTAP. Recuperado de:

<http://emservilla.gov.co/acueducto/>

### 3.1.13 Pruebas de laboratorio

- Laboratorio de jarras

Este ensayo de jarras se realiza con el fin de determinar la dosis óptima de coagulante que debe ser utilizado para el tratamiento de agua potable, simulando los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Además de esto con este ensayo se realiza el ajuste de pH de cada muestra hasta llegar a los valores en que la floculación obtiene sus mejores resultados.

Imagen 34. Equipo para ensayo de jarras



*Nota:* Equipo para ensayo de jarras. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

En la PTAP este ensayo se realiza con ayuda de 6 muestras de agua cruda, se colocan en el equipo (Imagen No.32), a cada una de estas muestras se les agrega una diferente dosis de coagulante, ya con dosis aplicadas el equipo empieza su funcionamiento al hacer girar sus aspas a 100 RPM durante 30 minutos, al terminar este tiempo, se interrumpe el funcionamiento, las aspas dejan de girar y se las muestras se dejan 15 minutos para que así las partículas se asienten. Luego gráficamente se mide la turbiedad vs dosis de coagulante y allí se encuentra la dosis óptima de coagulante a utilizar.

- Turbiedad del agua

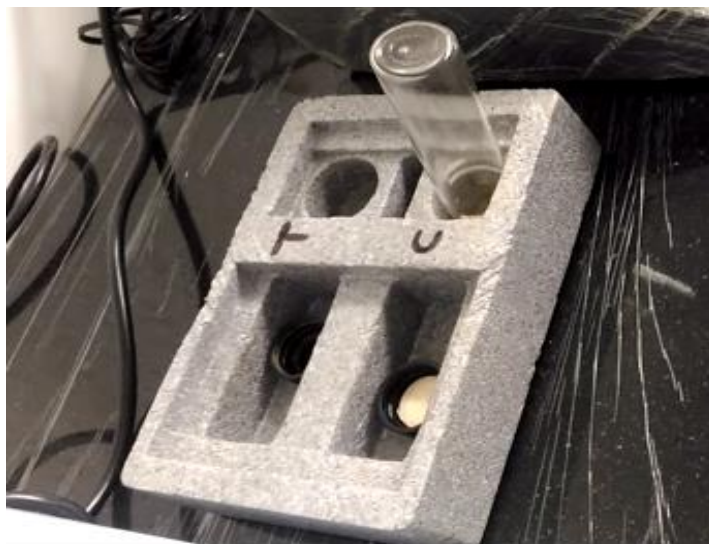
Imagen 35. Turbidímetro



*Nota:* Turbidímetro. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

La turbiedad del agua se mide con ayuda de un turbidímetro, en este se introduce el agua en un recipiente (tubo para muestras - celdas) y el equipo nos arroja la turbiedad del agua.

Imagen 36. Celdas para medidas de turbiedad de agua cruda y tratada



*Nota:* Celdas para medidas de turbiedad de agua cruda y tratada. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

El ensayo se realizó con agua tratada y el resultado fue de 0.888, como se muestra a continuación:

Imagen 37. Turbidímetro con resultado obtenido



*Nota:* Turbidímetro con resultado obtenido de 0.888 NTU. Ensayo realizado en la PTAP de

Ubaté Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

- Color del agua

Imagen 38. Fotómetro



*Nota:* Fotómetro. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Para conocer el parámetro del color de agua se hace uso de un fotómetro, el cual nos debe arrojar un valor de menor a 15 unidades de platino - cobalto, en este caso nos arroja un valor de 6, como se muestra en la imagen No. 37

Imagen 39. Valor de color en fotómetro



*Nota:* Valor de 6 unidades de platino-cobalto. Ensayo realizado en la PTAP de Ubaté.

Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

- Cloro

Para la toma de cloro también podemos utilizar el fotómetro, se toma el agua tratada del tanque de distribución, se pone en una celda y se introduce en el equipo. Estos valores tienen que encontrarse en el rango mencionada en el numeral 2.5.2

- pH

El pH no solamente se toma en agua cruda y agua tratada, además de esto se deben obtener muestras del agua que está pasando por los sedimentadores y por los filtros. Este parámetro se mide con ayuda del medidor digital de pH. Este pH debe encontrarse en el rango mencionada en el numeral 2.5.2

#### 4. Re- diseño de unidades (recomendaciones)

##### 4.1 Procesos recomendados

##### 4.1.1 Caudal de diseño

Para obtener el caudal de diseño es necesario conocer la dotación neta máxima por habitante, por dicha razón se consultaron los datos de consumo anual en el municipio, los cuales se muestran a continuación:

Imagen 40. Metros cúbicos facturados en el año 2018

USO	ESTRATOS	Total Usu.	Con Acu.	USU. CON CONSUMO			METR. CUB FACTURADOS		
				Lectura	Prom.	Total	Con lectura.	Promedio	Total
RESIDENCIAL	Bajo - Bajo	676	674	3,616	146	3,762	70,499	20,560	91,059
	Bajo	3,762	3,759	20,265	801	21,066	430,311	127,548	557,859
	Medio - Bajo	3,557	3,556	18,520	817	19,337	378,338	129,603	507,941
	Medio	284	284	1,518	66	1,584	23,002	8,616	31,618
COMERCIAL	Comercial D	1,031	1,031	5,513	219	5,732	171,313	48,341	219,654
COMERCIAL GR	Comercial GP	15	15	88	3	91	7,049	925	7,974
INDUSTRIAL	Industrial	10	10	53	2	55	22,685	3,755	26,440
INDUSTRIAL GR	Industrial GP	1	1	5	1	6	176	665	842
OFICIAL	Oficial D	50	50	287	13	300	18,493	10,129	28,622
OFICIAL GRAN P	Oficial GP D	7	7	41	1	42	8,091	33,638	41,729
<b>TOTAL GENERAL :</b>		<b>9,393</b>	<b>9,387</b>	<b>49,906</b>	<b>2,069</b>	<b>51,975</b>	<b>1,129,957</b>	<b>383,781</b>	<b>1,513,738</b>

*Nota:* Estadística de consumo de agua potable para el año 2018 - Emservilla.

Por medio de esto y conociendo previamente la cantidad de personas a las que se le presta el servicio (35524) se determinó el consumo diario por habitante de la siguiente manera:

$$\text{Consumo Anual} = 1513738 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Consumo} = \frac{1513738 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * \frac{1000\text{lt}}{1\text{m}^3} * \frac{1\text{año}}{365 \text{ días}}}{35524 \text{ hab}}$$

$$\text{Consumo} = 117 \text{ lt/hab/día}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

En el título 2 - Capítulo 1 - Art.43 de la resolución 0330 se encuentra el valor de la dotación neta máxima, el cual para este caso es de 120 L/Hab/ día por ser una zona que se encuentra más de 2000 metros sobre el nivel del mar.

Imagen 41. Artículo 43 resolución 0330

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB* DÍA)
> 2000 m s. n. m.	120
1000 - 2000 m s. n. m.	130
< 1000 m s. n. m.	140

*Nota:* Artículo 43, Resolución 0330 de 2017- Valor máximo de la dotación neta. Autores:

Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018.

Ya que el consumo (117 L/Hab/Día) es menor que el máximo que se puede presentar (120 L/Hab/Día) se deduce que cumple este parámetro. Sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo se implementará el valor de 120 L/Hab/día que aparece en la resolución 0330, esta decisión se toma teniendo en cuenta un posible crecimiento en el consumo a lo largo del periodo de diseño.

A continuación, se muestra el cálculo de la dotación neta:

$$Dot\ neta = \frac{120}{1 - 0,25} = 160\ Lt / Hab * día$$

Por otro lado, se debe conocer la población total para el año 2044, debido a que la población que se determinó previamente no se le ha añadido la población flotante\*

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

\*Población flotante que no pernocta: Población que no está oficialmente registrada en el censo y que residen en un ámbito geográfico.

Puesto que Ubaté es un municipio relativamente cercano a Bogotá (la ciudad con mayor cantidad de habitantes del país), como se mostró anteriormente, la afluencia de personas que se puede llegar a desplazar a este sitio es considerable, además Ubaté también es un lugar por el que se debe pasar para dirigirse a municipios como Barbosa, Chiquinquirá, entre otros. Más sin embargo no solo la población flotante se ve afectada por esto, también se debe tener en cuenta que Ubaté es llamada “la capital lechera de Colombia”, este nombre se atribuye a que este municipio basa bastante su economía en la producción y distribución de leche y sus derivados, dando así origen a gran cantidad de productos, los cuales atraen a varias personas en ciertas temporadas. No obstante la principal fuente de la economía del municipio es la agroindustria, por lo cual la población flotante principalmente está constituida por los trabajadores que laboran en estas actividades, por el cual el valor que se adoptó fue de 7%, siendo así, la población final se calcula de la siguiente manera:

$$Pob_{2044} + Pob\ flotante = 65535 * 1,07 = 70123\ hab$$

El caudal de diseño en realidad es el caudal medio diario (Qmd) el cual se calcula de la siguiente manera:

$$Qmd = \frac{Dot.neta * Pob\ total}{86400}$$

$$Qmd = \frac{160 * 70123\ hab}{86400}$$

$$Qmd = 129,86\ Lt/sg$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

El último paso para llegar al caudal de diseño es definir un factor (K1) el cual depende directamente del número de habitantes, siempre y cuando no se cuenten con datos de macro medición (como en este caso). El título 2, cap. 2, art. 47, par. 2 de la resolución 0330 del 2017 menciona que, para poblaciones mayores a 12500 habitantes, en el periodo de diseño, el factor K1 no debe superar 1.2. Para el desarrollo de este trabajo se ha adoptado  $K1 = 1.2$

$$Q_{md} = 129,86 * 1,2 = 156 \text{ Lt/sg}$$

Este valor es el que se tomará como **caudal de diseño** de acuerdo con lo establecido en la resolución 0330 de 2017 y el RAS.

### **4.1.2 Población y caudal de diseño para cada uno de los años**

Los parámetros de las unidades de mezcla rápida, mezcla lenta, sedimentación, filtración y almacenamiento se deben cumplir a lo largo del periodo de diseño (25), por esta razón se verificará este cumplimiento en 3 periodos: Año inicial (2019 - Año 0), año medio (2032 - Año 13), año final (2044 - año 25), se entiende que si cumple el parámetro en estos años, cumple en todo el periodo de diseño. Para esto es necesario conocer la población estimada para cada uno de los años utilizando una tasa de crecimiento constante, y a su vez determinar el caudal de diseño para cada uno de estos años, los resultados se muestran a continuación:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Tabla 8. Caudales de diseño para periodo de diseño

Año	Población	Población Total	Dotación neta [Lt/hab*día]	Qmd [Lt/s]	Q final [Lt/s]
2019	35524	38011	160	70,39	84
2020	36405	38954	160	72,14	87
2021	37308	39920	160	73,93	89
2022	38233	40910	160	75,76	91
2023	39181	41924	160	77,64	93
2024	40152	42963	160	79,56	95
2025	41148	44029	160	81,54	98
2026	42168	45120	160	83,56	100
2027	43214	46239	160	85,63	103
2028	44286	47387	160	87,75	105
2029	45384	48561	160	89,93	108
2030	46509	49765	160	92,16	111
2031	47663	51000	160	94,44	113
2032	48844	52264	160	96,76	116
2033	50056	53560	160	99,19	119
2034	51297	54888	160	101,64	122
2035	52569	56249	160	104,16	125
2036	53873	57645	160	106,75	128
2037	55208	59073	160	109,39	131
2038	56577	60538	160	112,11	135
2039	57980	62039	160	114,89	138
2040	59418	63578	160	117,74	141
2041	60892	65155	160	120,66	145
2042	62402	66771	160	123,65	148
2043	63949	68426	160	126,71	152
2044	65535	70123	160	129,86	156

*Nota:* Datos de diseño para cada uno de los años del periodo de diseño. Autores: Roa Aponte,

Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Con la población actual, la PTAP tratando 84 Lt/s debería ser capaz de abastecer a los usuarios con los que cuenta en este momento. Sin embargo, hoy en día se tratan aproximadamente 110 Lt/s.

### 4.1.3 Cámara de aquietamiento

La cámara de aquietamiento debe cumplir con ciertos parámetros para garantizar un buen funcionamiento, estos parámetros son:

- Velocidad ascensional ( $V_a$ ): Es el caudal de fluido dividido por la superficie del depósito (Cámara). Este valor se debe encontrar entre 4 a 10 cm/sg.
- Tiempo de retención ( $T_r$ ): Es el volumen del depósito dividido por el caudal. Este valor se debe encontrar entre 30 a 60 sg.

A continuación, se calcularán estos parámetros con las medidas actuales del tanque

$$\begin{aligned}L &= 2 \text{ m} \\B &= 0,65 \text{ m} \\H &= 1,9 \text{ m}\end{aligned}$$

$$Q = 0,156 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ (Caudal necesario)}$$

Se calcula el volumen y el área superficial, respectivamente:

$$Vol = 2 \times 0,65 \times 1,9 = 2,47 \text{ m}^3$$

$$As = 2 \times 0,65 = 1,3 \text{ m}^2$$

Se determina el tiempo de retención

$$Tr = \frac{Vol}{Q} = \frac{2,47}{0,156} = 15,83 \text{ s}$$

**No cumple** el parámetro de tiempo de retención

$$Va = \left( \frac{Q}{As} \right) * 100 = \left( \frac{0,156}{1,3} \right) * 100 = 12 \text{ cm/sg}$$

**No cumple** el parámetro de velocidad ascensional

Para el cálculo de la pérdida de carga las unidades se deberían presentar en forma lineal, esto con el fin de medir la variación en la lámina de agua, pero dado de que en esta PTAP la

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

conexión entre la cámara de aquietamiento y la canaleta Parshall se da por medio de un ventana (por la cual el agua pasa como en un vertedero) y estas no se ubican linealmente no es posible calcular la pérdida de carga.

Ahora bien, la cámara de aquietamiento debe tener otras dimensiones con el fin de cumplir con estos parámetros. Se adoptó un volumen de  $4,94 \text{ m}^3$ , el cual es el doble del que tiene actualmente, por dicha razón constructivamente lo más eficiente es construir otra cámara de aquietamiento exactamente igual a la que se encuentra, justo al lado de la misma. Con esto ya se contaría el volumen necesario, sin embargo ya que la construcción se realiza al lado de la cámara existente, finalizada la construcción es necesario la unión de estas dos cámaras, por lo cual se removerá el muro que las separa.

Las medidas finales entonces serán:

$$\begin{aligned}L &= 2 \text{ m} \\B &= 1,3 \text{ m} \\H &= 1,9 \text{ m}\end{aligned}$$

Se calcula el volumen y el área superficial, respectivamente:

$$Vol = 2 \times 1,3 \times 1,9 = 4,94 \text{ m}^3$$

$$As = 2 \times 1,3 = 2,6 \text{ m}^2$$

Se determina el tiempo de retención:

$$Tr = \frac{Vol}{Q} = \frac{4,94}{0,156} = 31,66 \text{ s}$$

**Sí cumple** el parámetro de tiempo de retención

$$Va = \left( \frac{0,156}{2,6} \right) * 100 = 6 \text{ cm/sg}$$

**Sí cumple** el parámetro de velocidad ascensional

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Para el paso de la cámara de quietamiento a la canaleta Parshall se realizará una compuerta, con el fin de regular el ingreso de agua. Para calcular esto utilizamos la ecuación de continuidad ( $Q = V * A$ ), el caudal que necesitamos que circule es de  $0,156 \frac{m^3}{s}$ , asumiendo una compuerta cuadrada de lado de 0,4 m, tendremos un área de  $0,16 m^2$ .

$$V = \frac{0,156 \frac{m^3}{s}}{0,16 m^2}$$

$$V = 0,98 m/s$$

### 4.1.4 Mezcla rápida

Para la mezcla rápida actualmente se trabaja con una Parshall de 6'' pulgadas de garganta, no obstante como se mencionó en el numeral 3.1.3, esta unidad presenta irregularidades en cuanto a sus medidas, y esto se traduce en fallas en el proceso de mezcla rápida. Por dicha razón teniendo en cuenta el caudal proyectado al año 2044 (156 Lt/sg) se ha optado por la implementación de una canaleta Parshall prefabricada de 9'', la cual cumple en cuanto a capacidad. Esto se muestra en la siguiente tabla tomada del libro. *“Tratamiento de aguas residuales”* del Ing. Jairo Alberto Romero Rojas:

Tabla 9. Ecuaciones para la canaleta Parshall

Ancho de la garganta (cm)	Ecuación	Capacidad (L/s)
2,5 (1")	$Q=0,055 H_a^{1,5}$	0,3-5
5 (2")	$Q=0,110 H_a^{1,5}$	0,6-13
7,6 (3")	$Q=0,176 H_a^{1,547}$	0,8-55
15,2 (6")	$Q=0,381 H_a^{1,58}$	1,5-110
22,9 (9")	$Q=0,535 H_a^{1,53}$	2,5-250
30,5 (12")	$Q=0,690 H_a^{1,522}$	3,1-455
45,7 (18")	$Q=1,054 H_a^{1,538}$	4,3-700
61,0 (24")	$Q=1,426 H_a^{1,55}$	12-950
91,4 (36")	$Q=2,182 H_a^{1,566}$	17-1.400
121,9 (48")	$Q=2,935 H_a^{1,576}$	37-1.900
152,4 (60")	$Q=3,728 H_a^{1,587}$	60-2.400
182,8 (72")	$Q=4,515 H_a^{1,595}$	70-2.900
213,4 (84")	$Q=5,306 H_a^{1,601}$	115-3.450
243,8 (96)	$Q=6,101 H_a^{1,606}$	130-3.950
305 (120")	$Q=7,463 H_a^{1,6}$	250-5.660

\*Q en  $m^3/s$ ;  $H_s$  en m

*Nota:* Especificaciones para la elección del ancho de garganta necesario de la canaleta Parshall según su capacidad en L/s. Recuperado y modificado de: "Tratamiento de aguas residuales" del Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Para un ancho de garganta de 9'' (22,86cm) se obtienen las dimensiones presentadas en la Imagen No. 42, estos valores se tomaron del libro "Tratamiento de aguas residuales" del Ing. Jairo Alberto Romero Rojas:

Imagen 42. Dimensiones de la canaleta Parshall

**Tabla 2.7**  
Dimensiones de la canaleta Parshall<sup>(146, 147)</sup>

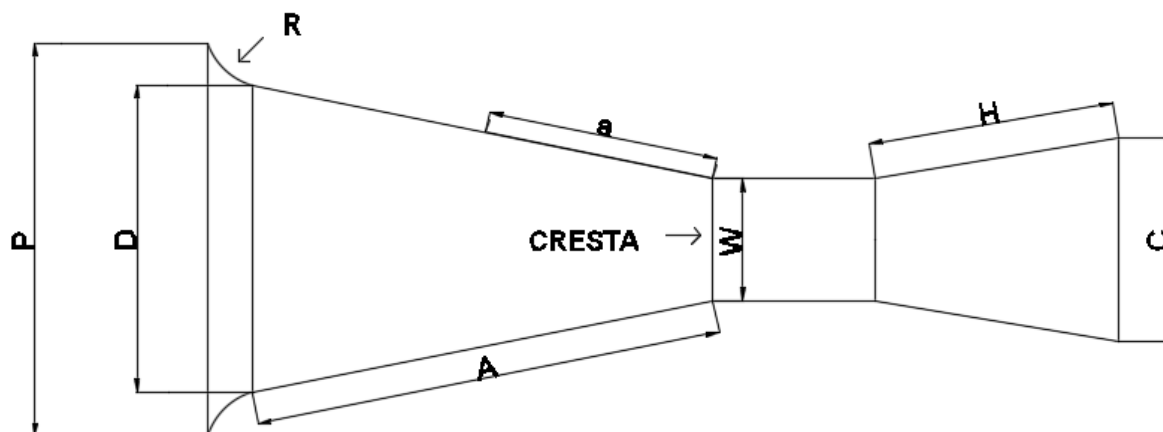
W (cm)	A (cm)	B (cm)	C (cm)	D (cm)	E (cm)	F (cm)	G (cm)	K (cm)	N (cm)	R (cm)	M (cm)	P (cm)	X (cm)	Y (cm)
2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	-	-	50,0	0,8	1,3
5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3	-	-	70,0	1,6	2,5
7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	40,6	30,5	76,8	2,5	3,8
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

*Nota:* Dimensiones especificadas para una canaleta Parshall de 9'' de garganta.

Fuente: "Tratamiento de aguas residuales" del Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

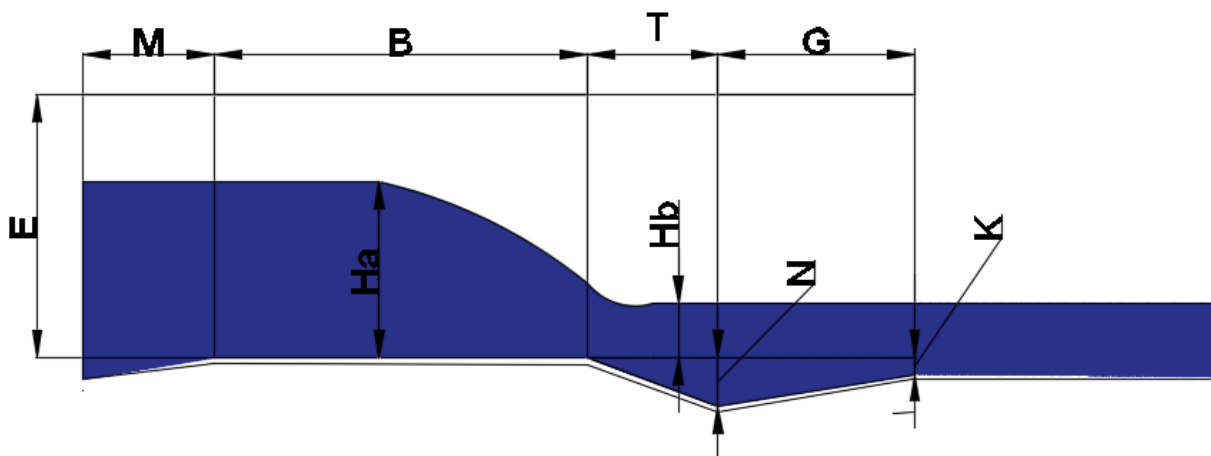
Gráficamente estos valores se ven de la siguiente manera:

Imagen 43. Denotación de medidas Parshall (planta)



*Nota:* Designación de caracteres en base a la imagen No. 40 Diseño realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Imagen 44. Denotación de medidas Parshall (perfil)



*Nota:* Designación de caracteres en base a la imagen No. 40. Diseño realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Para el diseño de la Parshall es necesario calcular una serie de valores, los cuales deben estar en ciertos rangos que se irán explicando en el proceso:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- $W_a$

$$W = 0,229m$$

$$W_a = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

$$W_a = \frac{2}{3} * (0,576 - 0,229) + 0,229$$

$$W_a = 0,46 m$$

- Cálculo de  $h_a$ :

$$Q = 0,535 * h_a^{1,53}$$

$$h_a = \left( \frac{Q}{0,535} \right)^{\frac{1}{1,53}}$$

$$h_a = \left( \frac{0,156}{0,535} \right)^{\frac{1}{1,53}}$$

$$h_a = 0,45 m$$

- Cálculo de  $V_a$ :

$$V_a = \frac{Q}{W_a * h_a}$$

$$V_a = \frac{0,156}{0,46 * 0,45}$$

$$V_a = 0,75 m/s$$

- Cálculo de energía (E 1-1)

$$E = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N$$

$$E = \frac{0,75^2}{2 * 9,81} + 0,45 + 0,114$$

$$E = 0,59 m$$

- Cálculo de energía 2-2

$$E = \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

$$V_2 = \frac{Q}{w * h}$$

$$V_2 = \frac{0,156}{0,229 * h_2}$$

- Despreciando pérdidas  $E_1 = E_2$

$$0,59 = \frac{0,156^2}{0,229^2 * h_2^2 * 2 * 9,81} + h_2$$

$$h_2 = 0,27 \text{ m}$$

- Cálculo de hb

$$hb = h_2 - N$$

$$hb = 0,27 - 0,114$$

$$hb = 0,156 \text{ m}$$

- Sumergencia

$$S = \frac{hb}{ha}$$

$$S = \frac{0,156}{0,45}$$

$$S = 0,35 = 35 \%$$

- Resalto hidráulico

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

$$V_2 = \frac{0,156}{0,229 * 0,27}$$

$$V_2 = 2,52 \text{ m/s}$$

$$F^2 = \frac{V^2}{h_2 * g}$$

$$F^2 = \frac{2,52^2}{0,27 * 9,81}$$

$$F = \sqrt{2,40}$$

$$F = 1,55$$

$$h_3 = \frac{h_2}{2} * (\sqrt{1 + 8 * F^2} - 1)$$

$$h_3 = \frac{0,27}{2} * (\sqrt{1 + 8 * 1,55^2} - 1)$$

$$h_3 = 0,47 \text{ m}$$

$$h_4 = h_3 - (N - K)$$

$$h_4 = 0,47 - (0,114 - 0,076)$$

$$h_4 = 0,43 \text{ m}$$

- Cálculo de gradiente de velocidad

$$V_3 = \frac{Q}{W * h_3}$$

$$V_3 = \frac{0,156}{0,229 * 0,47}$$

$$V_3 = 145 \text{ m/s}$$

$$V_4 = \frac{Q}{C * h_4}$$

$$V_4 = \frac{0,156}{0,38 * 0,43}$$

$$V_4 = 0,95 \text{ m/s}$$

$$Vm = \frac{V_3 + V_4}{2}$$

$$Vm = \frac{1,45 + 0,95}{2}$$

$$Vm = 1,2 \text{ m/s}$$

$$\Delta h = \frac{V_a^2}{2g} + ha + N - \frac{V_4^2}{2g} - h_4 - (N - K)$$

$$\Delta h = \frac{0,75^2}{2 * 9,81} + 0,45 + 0,114 - \frac{0,95^2}{2 * 9,81} - 0,43 - (0,114 - 0,076)$$

$$\Delta h = 0,079 \text{ m}$$

$$T\alpha = \frac{G'}{Vm}$$

$$T\alpha = \frac{0,457}{1,2} = 0,38$$

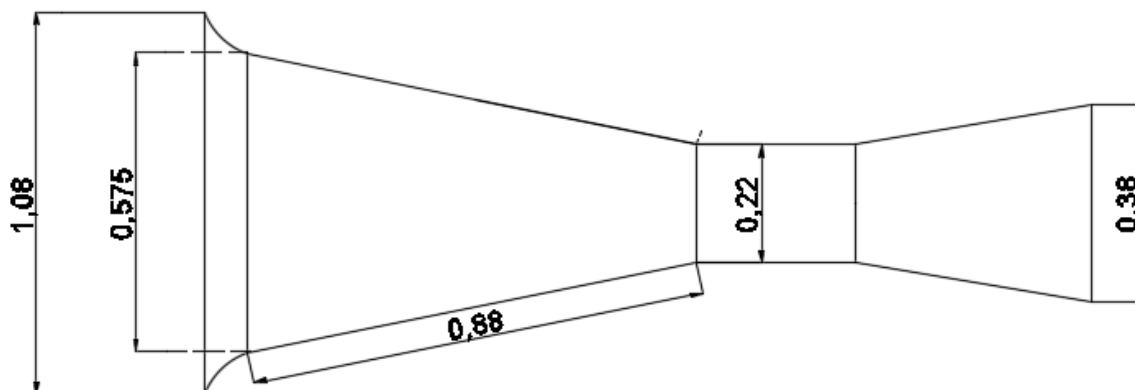
$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu * T\alpha}}$$

$$G = \sqrt{\frac{998,7 * 0,079}{0,000114 * 0,38}}$$

$$G = 1349,54 \text{ s}^{-1}$$

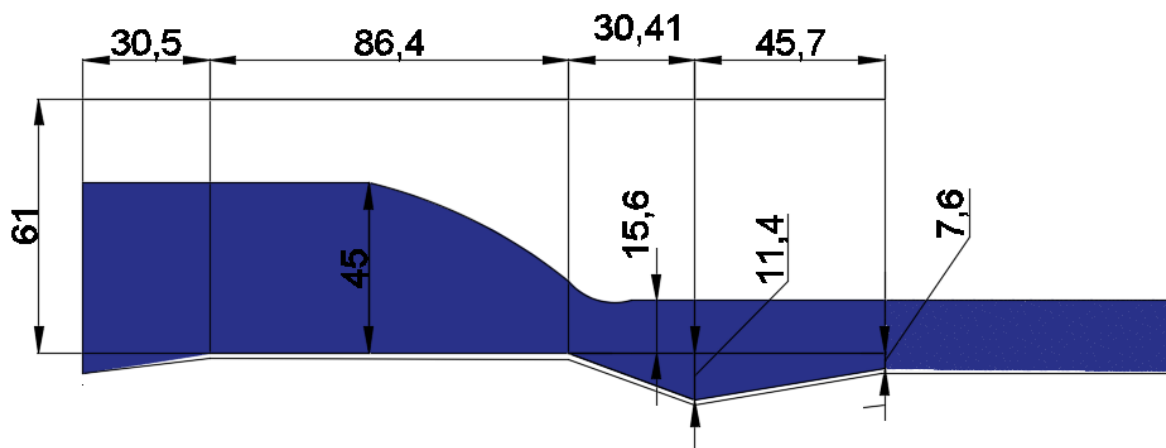
El valor del gradiente **sí cumple** ya que este valor de gradiente se debe encontrar entre 1000 y 2000  $\text{s}^{-1}$ .

Imagen 45. Medidas adoptadas canaleta Parshall (planta)



*Nota:* Dimensiones (cm) adoptadas en la vista de perfil de la canaleta Parshall. Diseño realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Imagen 46. Medidas adoptadas canaleta Parshall (perfil)



*Nota:* Dimensiones (cm) adoptadas en la vista de perfil de la canaleta Parshall. Diseño realizado en AutoCAD. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

La canaleta Parshall debe cumplir los parámetros para cada uno de los años que esté en funcionamiento, para verificar si efectivamente es así, se toman los datos de 3 años clave (inicio, medio y fin).

Tabla 10. Verificación de cumplimiento de parámetros en Parshall

AÑO	POBLACION	POBLACION TOTAL	DOTACION NETA	Q <sub>md</sub>	Q final (lt/s)	Ha (m)	Va	E 1-1	h <sub>2</sub>	H <sub>b</sub> (m)	S
2019	35524	38011	160	70,39	84	0,3	0,61	0,43	0,16	0,05	0,15333
2032	48844	52264	160	96,79	116	0,37	0,68	0,51	0,21	0,10	0,25946
2044	65535	70123	160	129,86	156	0,45	0,75	0,59	0,27	0,16	0,34667

*Nota:* Verificación de cumplimiento de parámetros en Parshall para los años 2019, 2032,

2044. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Para la implementación de esta canaleta es necesario demoler la que se encuentra actualmente, sin embargo, la instalación de la nueva es un proceso sencillo debido a que esta es prefabricada.

#### 4.1.5 Pruebas de laboratorio

Previo a definir la aplicación y la cantidad de coagulante se mostrarán los resultados de laboratorio de los ensayos de: Turbiedad, pH, acidez y alcalinidad. Estos ensayos se realizan a cuatro (4) muestras: Agua del río Ubaté (sin tratar), agua saliente de la PTAP (tratada), agua destilada y agua de llave, las cuales serán nombradas como ST, T, D y L, respectivamente, para mayor comodidad del lector. Para obtener un buen resultado promedio, se realizan cinco (5) pruebas de cada uno de estos ensayos. Al conocer los resultados se compararán con los aceptables por la resolución 2115 de 2007.

Los resultados se presentan continuación:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- **Turbiedad:**

La turbiedad se mide en NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

Tabla 11. Turbiedad de cada tipo de agua

No. de prueba	ST	T	D	L
1	1325	1,14	0.70	0.55
2	1305	1,31	0.25	0.65
3	1312	1,4	0.50	0.50
4	1314	1,2	0.50	0.40
5	1305	1,15	0.50	0.80
Promedio	1312	1,24	0.49	0.58

*Nota:* Resultados de ensayo de turbiedad para cada una de las muestras de agua. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

El Artículo 2 del capítulo 2 de la resolución previamente mencionada, indica que el valor de turbiedad del agua tratada no puede superar el valor de 2 NTU, en este caso la turbiedad máxima de la muestra fue de 1.31 NTU y el promedio de 1.24 NTU

Tabla 12. Valores y cumplimiento de parámetro de turbiedad – Agua tratada

Valor máximo turbiedad [NTU]	Valor promedio turbiedad [NTU]	Valor aceptable turbiedad [NTU]	¿Cumple?
1.31	1.24	2	SÍ

*Nota:* Comparación de resultado promedio de ensayo de turbiedad para las muestras de agua tratada (T) con valor aceptable según la resolución 2115 de 2007. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

- **pH**

Los resultados de pH se muestran junto con la temperatura a la que fue tomado el dato

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Tabla 13. pH de cada tipo de agua

No. Prueba	ST	Temp [°C]	T	Temp [°C]	D	Temp [°C]	L	Temp [°C]
1	6.9	18.8	7.3	18.8	5.91	18.8	6.62	18.9
2	7.0	18.7	7.2	18.8	5.59	18.9	6.41	18.9
3	7.1	18.8	7.2	18.8	5.51	19.0	6.44	18.9
4	7.3	18.8	7.3	18.8	5.47	18.9	6.60	18.9
5	7.2	18.7	7.2	18.8	5.38	18.9	6.57	18.9
Promedio	7.1	18.7	7.24	18.8	5.6	18.9	5.53	18.9

*Nota:* Resultados de ensayo de turbiedad para cada una de las muestras de agua. Roa

Aponte, Sandoval Téllez. 2018

“El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0” (Resolución 2115 de 2007. 2007. P. 3)

Según esto el pH del agua tratada sí se encuentra en el rango óptimo, ya que el valor máximo fue de 7.3, el valor mínimo de 7.2 y el valor promedio de 7.24.

Tabla 14. Valores y cumplimiento de parámetro de pH – Agua tratada

Valor máximo pH	Valor promedio pH	Valor recomendable pH	¿Cumple?
7.3	7.24	6.5 - 9	SÍ

*Nota:* Comparación de resultado promedio de ensayo de pH para las muestras de agua tratada (T) con valor recomendable según la resolución 2115 de 2007. Roa Aponte, Sandoval

Téllez. 2019.

- **Acidez:**

En este ensayo se busca determinar la cantidad total de sustancias ácidas (h+), haciendo uso de una base fuerte (NaOH). El resultado se expresa en miligramos por litro de carbonato de calcio (CaCO<sup>3</sup>).

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Ninguna de las muestras reaccionó a la gota de fenolftaleína, posteriormente el dato de la columna NaOH, fue el volumen necesario para que la muestra tomará una coloración rosada.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo realizado del agua sin tratar y del agua tratada, respectivamente:

Tabla 15. Datos de laboratorio para calcular la acidez del agua sin tratar

Número de muestra	Vol. Muestra [ml]	No. Gotas fenolftaleína	Vol. NaOH [ml]
1	35	1	0.20
2	38	1	0.30
3	33	1	0.20
4	38	1	0.30
5	37	1	0.20
Promedio	-	-	0.24

*Nota:* Volumen de muestra de agua sin tratar, número de gotas de fenolftaleína usada y volumen de hidróxido de sodio (NaOH). Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Tabla 16. Datos de laboratorio para calcular la acidez del agua tratada

Número de muestra	Vol. Muestra [ml]	No. Gotas fenolftaleína	Vol. NaOH [ml]
1	34	1	0.50
2	35	1	0.50
3	38	1	0.60
4	37	1	0.60
5	34	1	0.50
Promedio	-	-	0.54

*Nota:* Volumen de muestra de agua tratada, número de gotas de fenolftaleína usada y volumen de hidróxido de sodio (NaOH). Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Presentados los valores se procede a calcular la acidez del agua, con los valores mínimos de volumen de muestra (ya que será el valor máximo de acidez como se puede ver en la siguiente ecuación) y con una concentración de NaOH de 0,02N:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

$$A = \frac{V_{\text{NaOH}} * C}{V_a} * 50000$$

Donde:

A = Acidez del agua [ $\text{CaCO}_3$ ]

$V_{\text{NaOH}}$  = Volumen de NaOH utilizado [ml]

C = Concentración de NaOH [N]

$V_a$  = Volumen de agua [ml]

Para agua sin tratar:

$$A_{ST} = \frac{0,2 * 0,002}{33} * 50000$$

$$A_{ST} = 6,06 \text{ CaCO}_3$$

Para agua tratada:

$$A_T = \frac{0,5 * 0,002}{34} * 50000$$

$$A_T = 14,71 \text{ CaCO}_3$$

El decreto 475 de 1998 dicta que la acidez no puede ser mayor a  $50 \text{ CaCO}_3$ . Por dicha razón podemos afirmar que cumple este parámetro.

- **Alcalinidad**

En este ensayo se mide la capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos, haciendo uso de un ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). El resultado se expresa en miligramos por litro de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Tabla 17. Datos de laboratorio – Alcalinidad de agua tratada

No. Muestra	Vol. Muestra [ml]	No. Gotas Verde Bromocresol	Vol. $H_2SO_4$
1	40	4	0.7
2	22	4	0.6
3	40	4	0.9
4	26	4	0.7
5	52	4	0.9

*Nota:* Datos de laboratorio necesarios para determinar la alcalinidad del agua tratada. Roa

Aponte, Sandoval Téllez. 2018

Tabla 18. Datos de laboratorio – Alcalinidad de agua sin tratar

No. Muestra	Vol. Muestra [ml]	No. Gotas Verde Bromocresol	Vol. $H_2SO_4$
1	34	4	0.8
2	28	4	0.9
3	34	4	1.0
4	30	4	0.9
5	25	4	0.5

*Nota:* Datos de laboratorio necesarios para determinar la alcalinidad del agua cruda. Roa

Aponte, Sandoval Téllez. 2018

El cálculo para la alcalinidad se realiza igual que el de acidez, por dicha razón se mostrará solamente los resultados del dato más crítico encontrado en las muestras:

Alcalinidad de agua tratada: 27,27  $CaCO_3$

Alcalinidad de agua cruda: 32,14  $CaCO_3$

El valor admisible de alcalinidad se establece en el decreto número 475 de 1998, este valor es de 100  $CaCO_3$ , es decir, tanto el agua cruda como el agua tratada cumplen con este parámetro.

- **Laboratorio de jarras:**

Como fue mencionado anteriormente, en el resalto hidráulico de la canaleta Parshall se debe aplicar el coagulante, para esto debemos saber qué coagulante usar y la dosis óptima del mismo, en este caso se continuará utilizando poli hidroxicloruro de aluminio. Este ensayo se realizó directamente en el laboratorio de la PTAP de Ubaté, sin embargo en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás se realizó otro ensayo con agua cruda, la cual presentaba turbiedades promedio de 11 NTU (muestra tomada en época de verano), esto con el fin de mostrar experimentalmente como se aglomera el floc en las respectivas jarras dependiendo de la cantidad de coagulante (para este ensayo se utilizó Sulfato de Aluminio, debido a que es el que está disponible en la Universidad).

### **Realizado en el laboratorio de la PTAP de Ubaté**

Previamente se mencionó que se han llegado a presentar turbiedades promedio de 1312 NTU, con esta muestra se realizan los ensayos de jarras. El agua que presenta dicha turbiedad se muestra en la siguiente imagen

Imagen 47. Llegada de agua a PTAP



*Nota:* Llegada de agua a PTAP con turbiedad promedio de 1312 NTU. Roa Aponte,

Sandoval Téllez. 2019.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

En cuanto al ensayo se realizaron dos pruebas, ya que según Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015) “Se ha demostrado que la eficiencia del proceso es mayor, en el floculador, si se tienen 2 o 3 gradientes decrecientes a lo largo de la unidad, en vez de un único gradiente de mezcla.”, por esta razón se diseñaron dos (2) unidades de floculación, cada una con diferente gradiente y velocidad.

En este ensayo se utilizan 6 jarras, cada una con capacidad de 1 litro

- Para la primera prueba se ajusta una velocidad inicial de 100 rpm y se deja esta velocidad durante 1 minuto, en cada jarra se aplican diferentes dosis de coagulante: 65 ml, 70 ml, 75 ml, 80 ml, 85 ml y 90 ml, respectivamente. Posteriormente se ajusta una velocidad de 50 rpm y se deja durante 15 min, al finalizar este tiempo se detiene el sistema, pasados 15 minutos se toman datos de pH y turbiedad del agua de salida.

A continuación, se muestran los datos:

Tabla 19. Parámetros para el ensayo No.1 de jarras

	RPM	Tiempo [min]
Mezcla rápida	100	1
Mezcla lenta	50	15
Sedimentadores	0	15

*Nota:* Revoluciones por minuto y tiempo para cada una de las operaciones del ensayo de jarras No.1. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

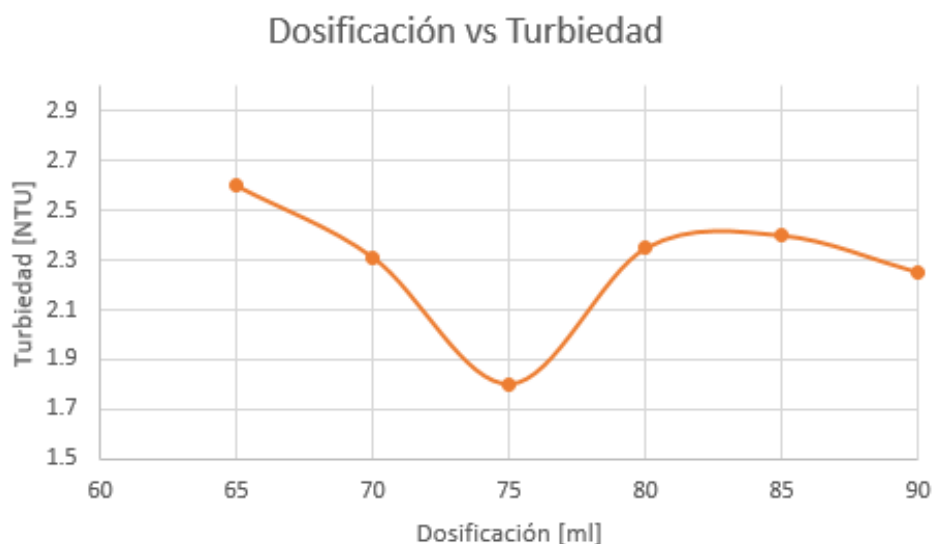
Tabla 20. Prueba No.1 Laboratorio de jarras

No. Muestra	Dosificación [ml]	pH salida de jarras	Turbiedad Salida de jarras [NTU]
1	65	6.9	2.60
2	70	7.0	2.31
3	75	7.1	1.97
4	80	7.3	2.35
5	85	7.2	2.10
6	90	7.2	2.25

*Nota:* Muestras y dosificaciones utilizadas en la prueba No.1 del ensayo de jarras; pH y turbiedades al finalizar la prueba. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Con el fin de encontrar la dosis óptima se grafican los datos obtenidos:

Gráfica No.4. Dosificación Vs. Turbiedad. Prueba No.1 ensayo de jarras



*Nota:* Gráfica de dosificación (eje X) Vs. Turbiedad (eje Y) en la prueba No.1 del ensayo de jarras. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Para la segunda prueba se ajusta una velocidad inicial de 100 rpm y se deja esta velocidad durante 1 minuto, en cada jarra se aplican diferentes dosis de coagulante: 65 ml, 70 ml, 75

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

ml, 80 ml, 85 ml y 90 ml, respectivamente. Posteriormente se ajusta una velocidad de 40 rpm y se deja durante 15 min, al finalizar este tiempo se detiene el sistema, pasados 15 minutos se toman datos de pH y turbiedad del agua de salida.

Tabla 21. Parámetros para el ensayo No.2 de jarras

	RPM	Tiempo [min]
Mezcla rápida	100	1
Mezcla lenta	40	15
Sedimentadores	0	15

*Nota:* Revoluciones por minuto y tiempo para cada una de las operaciones del ensayo de jarras No.2. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

A continuación, se muestran los datos:

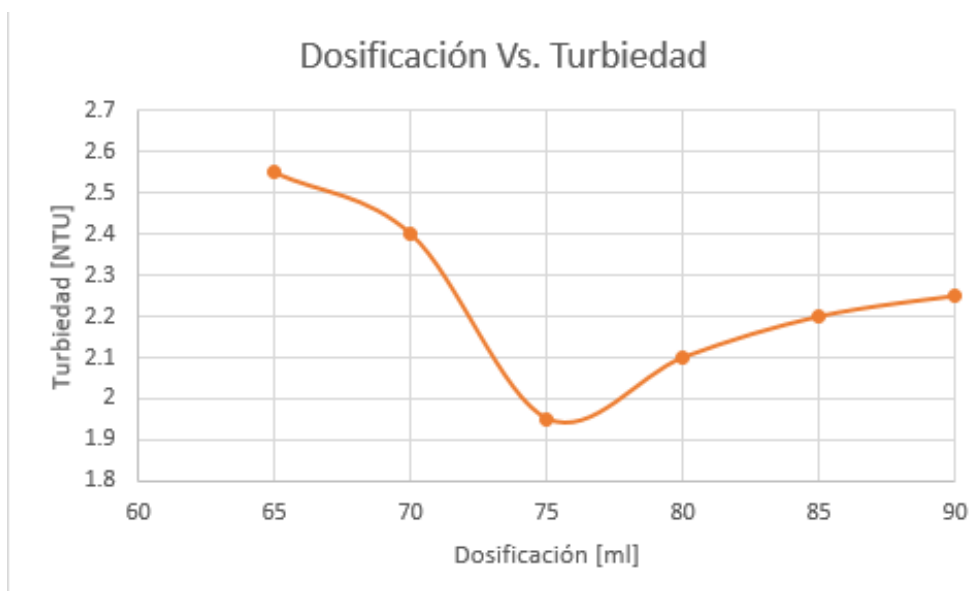
Tabla 22. Prueba No.2 Laboratorio de jarras

No. Muestra	Dosificación [ml]	pH salida de jarras	Turbiedad salida de jarras [NTU]
1	65	7.1	2.55
2	70	7.3	2.40
3	75	7.1	1.95
4	80	7.0	2.10
5	85	7.2	2.20
6	90	7.3	2.25

*Nota:* Muestras y dosificaciones utilizadas en la prueba No.2 del ensayo de jarras; pH y turbiedades al finalizar la prueba. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Ahora con el fin de encontrar la dosis óptima se grafican los datos obtenidos:

Gráfica 5. Dosificación Vs. Turbiedad. Prueba No.2 ensayo de jarras



*Nota:* Gráfica de dosificación (eje X) Vs. Turbiedad (eje Y) en la prueba No.2 del ensayo de jarras. Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Gráficamente se puede observar con claridad que la dosis óptima es 75 ml ya que es donde se presenta la “campana invertida”, el punto donde existe menor turbiedad.

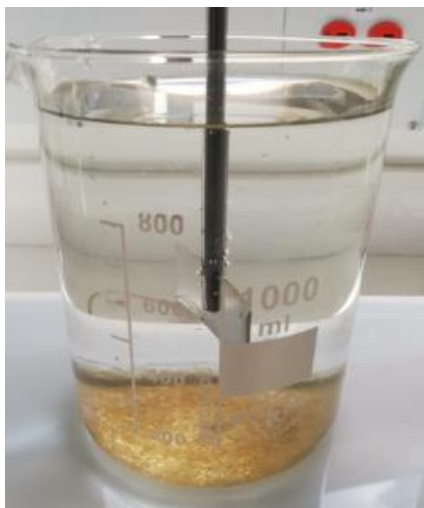
A continuación, se presentan los resultados (fotos) del ensayo de jarras que fue realizado en la Universidad Santo Tomás:

Imagen 48. Jarra No.1



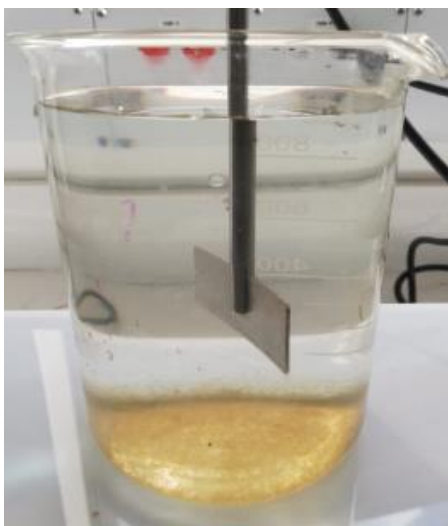
Nota: Jarra No.1 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 2ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Imagen 49. Jarra No.2



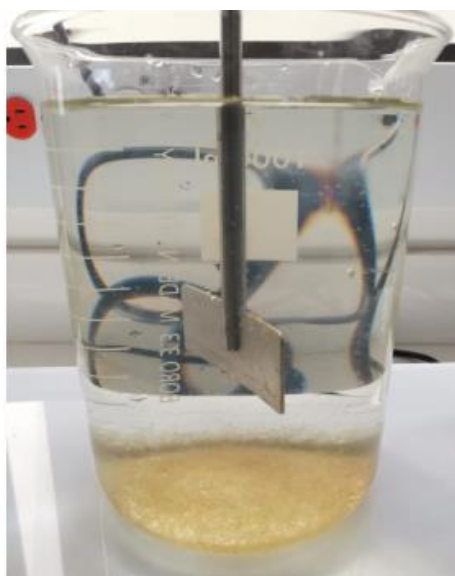
Nota: Jarra No.2 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 4ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Imagen 50. Jarra No.3



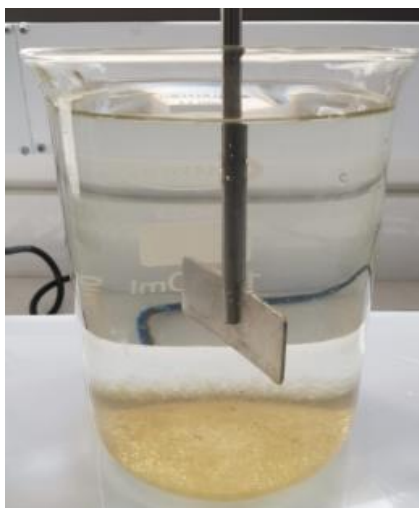
Nota: Jarra No.3 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 6ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019.

Imagen 51. Jarra No.4



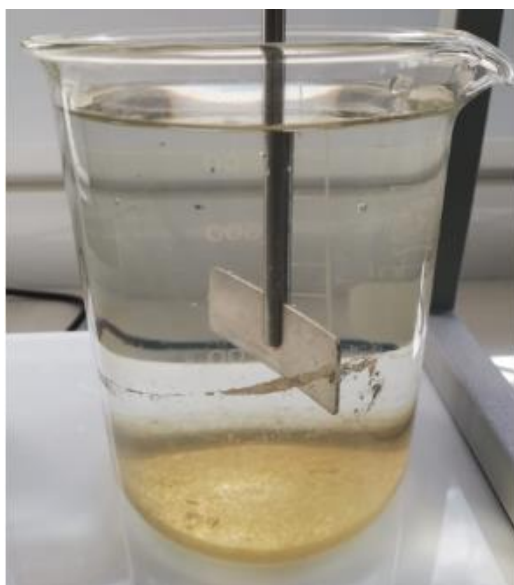
Nota: Jarra No.4 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 8ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Imagen 52. Jarra No.5



Nota: Jarra No.5 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 10ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2019

Imagen 53. Jarra No.6



Nota: Jarra No.6 a una velocidad de 35 rpm con una dosis de 12ml de alumbre, simulando el proceso de mezcla lenta (floculación). Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez. 2018

En la imagen No. 21 se puede observar que las partículas de la jarra No. 2 se aglutinaron en mayor proporción que en las demás jarras.

#### 4.1.6 Canal de conducción Parshall-Floculadores

El canal de conducción será el encargado de transportar el agua de la salida de la canaleta Parshall a las unidades de floculación. En este caso se posee un canal rectangular mencionado en el numeral 3.1.4

Para la verificación del canal se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- La relación entre ancho y alto usualmente según varios autores son 1:1 a 2:1, para el canal actual esta relación 1,2:1.
- Según Villón M. (1999). El valor de borde libre se puede designar a partir del criterio del ancho del canal, como se muestra a continuación:

Imagen 54. Borde libre

Ancho de solera (m)	Borde libre (m)
Hasta 0,80	0,40
de 0,80 a 1,50	0,50
de 1,50 a 3,00	0,60
de 3,00 a 20,00	1,00

Nota: Valor de borde libre a partir del criterio de ancho de canal. Villón M. 2019.

Borde libre con respecto a ancho de solera. P.139. Recuperado de:

[https://es.slideshare.net/simonmelga\\_rejo/libro-de-hidráulica-de-canales-máximo-](https://es.slideshare.net/simonmelga_rejo/libro-de-hidráulica-de-canales-máximo-)

Villón

- En este caso ya que el alto (H) es 0,80 m se tiene un borde libre de 0,40 m.
- Para la pendiente (S) se tiene un valor de 0.5 %.

Según varios autores la velocidad se debe encontrar entre 0.6 y 1.4 m/s, sin embargo, según Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015) “...no tiene ninguna justificación el mantener un criterio de velocidad de agua cuyas arenas y otras partículas discretas ya han sido retiradas en el desarenador”.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Para hallar la velocidad utilizamos la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{0.5}$$

Donde:

V: Velocidad [m/s]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (para este caso se asumió que el material del canal es hormigón y se presentan algunas irregularidades n=0.017)

R<sub>h</sub>: Radio hidráulico [m]

S: Pendiente [m/m]

Para calcular el radio hidráulico:

$$R_h = \frac{\text{Área mojada}}{\text{Perímetro mojado}}$$

$$\text{Área mojada} = B * (H - BL)$$

$$\text{Área mojada} = 0.65 \text{ m} * (0.8 \text{ m} - 0.4 \text{ m})$$

$$\text{Área mojada} = 0.26 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado} = B + 2 * (H - BL)$$

$$\text{Perímetro mojado} = 0.65 \text{ m} + 2 * 0.65 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro mojado} = 1.45 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.26 \text{ m}^2}{1.45 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.18 \text{ m}$$

Ahora que se tienen todos los datos, se aplica la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{0.017} * 0.18^{\frac{2}{3}} * 0.005^{0.5}$$

$$V = 1.32 \text{ m/s}$$

#### 4.1.7 Mezcla lenta

En la sección 3.1.5 se mencionaron las medidas de los flocladores que se encuentran actualmente en la PTAP, ahora se procede a verificar si dichas medidas cumplen con los parámetros requeridos para la óptima mezcla lenta del agua.

Primero se determina las potencias para cada ensayo de jarras:

$$P = K * \rho * \left(\frac{N}{60}\right)^3 * \left(\frac{d}{100}\right)^5$$

Donde:

P = Potencia [W]

$\rho$  = Densidad del agua a 20°C [Kg/m<sup>3</sup>]

K = Cte. Según del tipo impulsor

N = Número de revoluciones por minuto [rpm]

d = Diámetro del impulsor del equipo de jarras [cm]

- Densidad del agua a 20°C = 998.3 kg/m<sup>3</sup>
- K = 0,96. Para una paleta metálica sencilla

$$P_1 = 0,96 * 998,3 * \left(\frac{50}{60}\right)^3 * \left(\frac{7}{100}\right)^5 = 0,00093 \text{ W}$$

$$P_2 = 0,96 * 998,3 * \left(\frac{35}{60}\right)^3 * \left(\frac{7}{100}\right)^5 = 0,00032 \text{ W}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Ahora, se calculan los gradientes:

$$G = 0,0313 * N^{1,3} * d$$

$$G_1 = 0,0313 * 50^{1,3} * 7 = 35,42 \text{ s}^{-1}$$

$$G_2 = 0,0313 * 35^{1,3} * 7 = 22,28 \text{ s}^{-1}$$

Posteriormente se determinan las velocidades correspondientes:

$$V = \frac{N * d}{2728}$$

$$V_1 = \frac{50 * 7}{2728} = 0,13 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \frac{35 * 7}{2728} = 0,09 \text{ m/s}$$

Actualmente existen dos (2) unidades de floculación, cada una cuenta con seis (6) cámaras y cada cámara presenta dos (2) ventanas.

Para verificar el cumplimiento o incumplimiento de las unidades, lo primero que se debe calcular es el volumen necesario de cada unidad de los floculadores:

$$V = \frac{Q}{2} * T * 60sg$$

Donde:

V= Volumen necesario para cada unidad de floculación [ $m^3$ ]

Q= Caudal [ $m^3$ ]

T= Tiempo de retención hidráulico [min]. Este puede ser de 15 a 30 min. En este caso tomaremos un tiempo de retención 15 min.

$$V = \frac{Q}{2} * T * 60$$

$$V = \frac{0,110}{2} * 15 * 60$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

$$V = 49,5 \text{ m}^3$$

Siendo así, el volumen de cada cámara es:

$$V_{\text{cámara}} = \frac{49,5}{6}$$

$$V_{\text{cámara}} = 8,25 \text{ m}^3$$

Las cámaras de la sección 1 (Volumen =  $9,44 \text{ m}^3$ ) y 2 (Volumen =  $15,05 \text{ m}^3$ ) de cada unidad cumplen en cuanto volumen necesario para el caudal que se maneja actualmente, sin embargo estas unidades serían útiles hasta el año 2035 (Año 16 de diseño) ya que para el año 2036 el volumen necesario para cada cámara sería de  $9,6 \text{ m}^3$  y las tres (3) cámaras de la sección 1 no cumplirían este parámetro. Por dicha razón es necesaria la construcción de una nueva unidad de floculación. Esto con el fin de no tener que demoler toda una unidad para posteriormente ampliarla, sino que por otro lado se plantea la construcción de una nueva, lo cual es mejor para la limpieza y mantenimiento de las diferentes unidades de floculación.

Posteriormente se verifica este parámetro para el caudal en los siguientes años, teniendo en cuenta el diseño de la nueva unidad:

- Año 2019 (Año 0):

$$Vol \text{ total} = \frac{0,084}{3} * 15 * 60sg = 25,2m^3$$

$$Vol \text{ cámara} = \frac{25,2 \text{ m}^3}{6} = 4,2 \text{ m}^3$$

Sí cumple

- Año 2032 (Año 13):

$$Vol \text{ total} = \frac{0,116}{3} * 15 * 60sg = 34,8m^3$$

$$Vol \text{ cámara} = \frac{34,8 \text{ m}^3}{6} = 5,8 \text{ m}^3$$

Sí cumple

- Año 2044 (Año 25):

$$Vol\ total = \frac{0,156}{3} * 15 * 60sg = 46,8m^3$$

$$Vol\ cámara = \frac{46,8\ m^3}{6} = 7,8\ m^3$$

Sí cumple

Las ventanas son aquellas secciones por donde el agua entra o sale de cada cámara, en este caso ya que se cuenta con dos gradientes, se tienen dos dimensiones de ventanas.

$$A = \left( \frac{Q^3}{116 * G^2 * \mu} \right)^{\frac{2}{7}}$$

Donde:

A = Área de ventana

Q= Caudal para cada unidad [ $m^3$ ]

G = Gradiente [ $s^{-1}$ ]

$\nu$  = Viscosidad [ $m^2/s$ ]

$$A_1 = \left( \frac{\left(\frac{0,052}{2}\right)^3}{116 * 35,42^2 * 1,01x10^{-6}} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$A_1(sección\ 1) = 0,080\ m^2$$

$$A_2 = \left( \frac{\left(\frac{0,052}{2}\right)^3}{116 * 22,28^2 * 1,01x10^{-6}} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$A_2(sección\ 2) = 0,104\ m^2$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Nota: En esta ecuación  $Q = 0,052m^3/s$  ya que el caudal total es  $0,156 m^3/sy$  se divide por el número de flocladores (3). Además, este caudal obtenido se divide en dos (2) ya que es el número de ventanas por cámara.

La altura para las ventanas 1 y 2 se ha establecido en 0.3 m y 0.35m, respectivamente. Debido a que la altura de las ventanas debe ser 0.25 veces el ancho de la cámara. Por esta razón con el fin de cumplir el parámetro de área se determinan las medidas de los anchos de ventana

$$\text{Ancho ventana 1} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Ancho ventana 2} = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Área ventana 1} = 0,3\text{m} * 0,3 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Área ventana 2} = 0,35\text{m} * 0,3 \text{ m} = 0,105 \text{ m}^2$$

Se cumple el área mínima requerida.

En estas ventanas se presentan unas pérdidas de carga ( $h_f$ ), las cuales se calculan de la siguiente manera:

$$h_f = \frac{Q^2}{2 * g * C_d^2 * A^2}$$

Donde:

$h_f$  = Pérdida de carga

$Q$  = Caudal para cada unidad [ $m^3$ ]

$g$  = Fuerza gravitacional [ $m/s^2$ ]

$C_d$  = Coeficiente de descarga (0,71 para orificios con ángulos)

$A$  = Área de cada ventana

$$h_{f1} = \frac{\left(\frac{0,052}{2}\right)^2}{2 * 9,81 * 0,71^2 * 0,09^2}$$

$$h_{f1}(\text{sección 1}) = 0,0084 \text{ m}$$

$$h_{f2} = \frac{\left(\frac{0,052}{2}\right)^2}{2 * 9,81 * 0,71^2 * 0,105^2}$$

$$h_{f2}(\text{sección 2}) = 0,0062 \text{ m}$$

#### Pérdidas totales:

Para el cálculo de las pérdidas totales es necesario conocer el número de ventanas y el tipo de estas, en las dos (2) sección se encuentran seis (6) ventanas, una de entrada, una de salida y las cuatro (4) restantes son intermedias (paso entre cámaras). Y para cada ventana existe una pérdida, entonces la pérdida total en los floculadores será:

$$H_t = 3 \text{ cámaras} * 0,0084 \frac{\text{m}}{\text{Cámara}} + 3 \text{ cámaras} * 0,0062 \frac{\text{m}}{\text{Cámara}}$$

$$H_t = 0,0438 \text{ m}$$

#### **4.1.8 Sedimentación**

Como se mencionó en la sección 3.1.5, las unidades de sedimentación actuales no cuentan con tolva de lodos, por dicha razón los lodos se acumulan en la parte inferior del tanque y los encargados de realizar la limpieza de estos lodos son los operadores de la PTAP, sin embargo, constructivamente no sería muy viable realizar estas tolvas debido a que se debería remover bastante volumen de suelo, entonces la mejor opción será construir una tercera unidad de sedimentación con dicha tolva de lodos. Lo que se determinará a continuación es el caudal que actualmente son capaces de tratar los 2 sedimentadores que están en

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

funcionamiento, para así determinar el caudal que debe tratar el sedimentador que se diseñará.

Verificación de cumplimiento de sedimentadores:

Actualmente se trabaja un caudal de 110 Lt/s, no obstante, en la PTAP se han llegado a trabajar caudales de 120 Lt/s. Entonces, en teoría, cada sedimentador puede tratar (o ha llegado a tratar) 60 Lt/s. Por dicha razón se verificará el cumplimiento de los sedimentadores para 120 Lt/s.

$$Q_s = 120 \text{ lt/s} = 0,120 \text{ m}^3$$

$$\text{No. unidades de sedimentación} = 2$$

$$\text{Largo unidad} = 11,3 \text{ m}$$

$$\text{Ancho unidad} = 2,4 \text{ m}$$

Se debe conocer el gradiente, el cual corresponde al último gradiente de la zona de floculación

$$G_2 = 22,28 \text{ s}^{-1}$$

### Zona de entrada

El número de flautas de la zona de entrada:

$$\text{No. Flautas} = 2$$

Las distancias respectivas serán:

$$\text{Distancia entre flautas} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre flauta y pared} = 0,6 \text{ m}$$

La viscosidad cinemática que se presenta (20°C) es:

$$\nu = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Se asume inicialmente una velocidad de flujo de 0,1 m/s y el diámetro del orificio es de 2” pulgadas (0,0508m), para así obtener un radio hidráulico de:

$$Rh = \frac{d}{4}$$

$$Rh = \frac{0,0508}{4} = 0,0127 \text{ m}$$

El cálculo de gradiente para zona de entrada se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Gradiente}_{ZE} = \sqrt{\frac{0,03 * V^3}{\nu * 8 * Rh}}$$

Donde:

$\text{Gradiente}_{ZE}$  = Gradiente de zona de entrada [ $S^{-1}$ ]

$V$  = Velocidad de paso de orificio [m/s]

$\nu$  = Viscosidad cinemática [ $m^2/s$ ]

$Rh$  = Radio hidráulico [m]

$$\text{Gradiente}_{ZE} = \sqrt{\frac{0,03 * 0,1^3}{1,01 \times 10^{-6} * 8 * 0,0127}}$$

$$\text{Gradiente}_{ZE} = 17,09 \text{ S}^{-1}$$

Es recomendable que este parámetro de gradiente no supere el valor de  $20 \text{ S}^{-1}$ .

Posteriormente se debe calcular el caudal que pasa por cada orificio ( $Q_o$ )

$$Q_o = \frac{\pi * d^2}{4} * V$$

Donde:

$Q_o$  = Caudal por cada orificio [ $m^3/s$ ]

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

$d$  = Diámetro del orificio [m]

$V$  = Velocidad de flujo [m/s]

$$Q_o = \frac{\pi * 0.0508^2}{4} * 0.1$$

$$Q_o = 0.00020 \frac{m^3}{s} = 0.20 \frac{L}{s}$$

Y el número de orificios será:

$$No. \text{ orificios} = \frac{\left(\frac{Q}{4}\right)}{Q_o}$$

Donde:

$Q$  = Caudal de trabajo [L/s]

$Q_o$  = Caudal por cada orificio [ $m^3/s$ ]

Nota: El caudal se divide entre dos ya que se reparte en cuatro (4) tuberías de entrada que tienen las dos unidades.

$$No. \text{ orificios} = \frac{\left(\frac{120}{4}\right)}{0.2}$$

$$No. \text{ orificios} = \frac{30}{0.2}$$

$$No. \text{ orificios} = 150$$

Y el espacio entre ejes (centros de los orificios) será:

$$a = \frac{Ls - 2 * d}{No. \text{ orificios}}$$

Donde:

$a$  = espacio entre ejes de orificios [m]

$Ls$  = Largo del sedimentador [m]

$d$  = Diámetro de tubo [m].

$$a = \frac{11,3 - 2 * 0,254}{150}$$

$$a = 0,072 \text{ m}$$

### Zona de sedimentación

Teniendo ya las medidas de las placas (las cuales fueron expuestas en el numeral 3.1.5) lo primero que se debe calcular en esta zona, es la longitud relativa

$$L_r = \frac{L}{E}$$

Donde:

Lr: Longitud relativa [m]

L: Longitud del sedimentador [m]

E: Espaciamiento [m]

$$L_r = \frac{1,2}{0,06}$$

$$L_r = 20$$

Posteriormente se debe asumir la velocidad entre placas, para Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015) "...Las velocidades más convenientes para lograr un flujo uniforme repartido en todos los módulos, evitando la generación de zonas muertas por bajas velocidades, deben oscilar entre 0,2 y 0,22 cm/s". Para este caso se asume una velocidad media entre placas ( $V_m$ ) de 0,002 m/s. Por otro lado, el sedimentador cuenta con una velocidad crítica, la cual se calcula con la siguiente expresión:

$$V_{cs} = \frac{S * V_m}{\text{Sen } \theta + (L_r * \text{Cos } \theta)}$$

Donde:

$V_{cs}$  = Velocidad crítica del sedimentador [m/s]

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

$S$  = Constante que depende del tipo de celda (placas)

$V_m$  = Velocidad media de flujo entre placas [m/s]

$\theta$  = Ángulo de inclinación de las placas con respecto a la horizontal

$L_r$  = Longitud relativa

La constante  $S$  depende del tipo de celda, a continuación, se muestran los parámetros para escoger dicho valor.

Tabla 23. Valor constante  $S$  con respecto al tipo de módulo

TIPO DE MÓDULO	$S$
Placas planas paralelas	1,0
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,3
Otras formas tubulares	1,33 - 1,42

*Nota:* Valor constante  $S$  con respecto al tipo de módulo. Modificado de: Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015). Potabilización del agua. p. 207. 2019.

Entonces:

$$V_{cs} = \frac{1 * 0,002}{\text{Sen } 60 + (20 * \text{Cos } 60)}$$

$$V_{cs} = 1,84 \times 10^{-4} \text{ m/s} = 15,9 \text{ m/d}$$

Ahora, se define el parámetro de número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_m * E}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,002 * 0,006}{1,01 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 118,81$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Este valor de 118,81 cumple en cuanto es menor a 250. Lozano Antonio & Lozano Guillermo (2015).

En función de seguir verificando parámetros, se calcula ahora el tiempo de retención hidráulica (oscila entre 10 y 20 minutos), de la siguiente manera:

$$t = \frac{l}{V_m}$$

Donde:

t: Tiempo de retención hidráulica [s]

l: Profundidad de las placas [m]

V<sub>m</sub>: Velocidad media [m/s]

$$t = \frac{1,04}{0,002}$$

$$t = 520 \text{ s} = 8,67 \text{ minutos}$$

Estos 8,67 minutos no son los “óptimos” ya que, como fue mencionado anteriormente, este valor no se encuentra en el rango en el cual debe oscilar.

Para finalizar con el cálculo de parámetros de la zona de sedimentación, se procede a determinar el área superficial y el largo necesario de las unidades de sedimentación, previo a esto se necesita calcular un factor  $\varepsilon$ , mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \frac{e}{E + e}$$

Donde:

e: Espesor de la placa

$$\varepsilon = \frac{0,002}{0,06 + 0,002}$$

$$\varepsilon = 0,032$$

Área superficial:

$$As = \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)}{Vm * Sen \theta * (1 - \varepsilon)}$$

$$As = \frac{\left(\frac{0,12}{2}\right)}{0,002 * Sen 60 * (1 - 0,032)}$$

$$As = 35,79 m^2$$

Nota: El caudal se divide entre dos (2) ya que son dos unidades de sedimentación.

Y el largo necesario de cada unidad de sedimentación será:

$$Lns = \frac{As}{Ancho}$$

$$Lns = \frac{35,79}{2,4}$$

$$Lns = 14,91m$$

De esto podemos deducir que el área superficial necesaria para una unidad de sedimentación ( $35,79 m^2$ ) es mayor que el área superficial con la cual se cuenta actualmente ( $27,12 m^2$ ).

Por otro lado, el largo necesario para la zona de sedimentación (14,91 m) también es mayor que el largo con el que cuentan actualmente (11,3m). Por dicha razón es necesario conocer cuál es el caudal máximo que pueden tratar los dos (2) sedimentadores, para así diseñar el nuevo sedimentador con el caudal restante. Por ejemplo, si cuantitativamente (por medio de cálculos) se demuestra que entre los dos (2) sedimentadores pueden tratar un caudal de 100 Lt/s (50 Lt/s cada uno), será necesario diseñar el otro sedimentador para que trate 56 Lt/s y así llegar a poder tratar la totalidad del caudal de diseño.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Asumiendo diferentes caudales y verificando el cumplimiento se llegó a la conclusión de que los sedimentadores son óptimos para tratar 90 Lt/s, a continuación, la demostración de área superficial y largo requerido.

$$As = \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)}{Vm * Sen \theta * (1 - \varepsilon)}$$

$$As = \frac{\left(\frac{0,09}{2}\right)}{0,02 * Sen 60 * (1 - 0,032)}$$

$$As = 26,85 m^2$$

Este parámetro cumple ya que el área superficial requerida ( $26,85 m^2$ ) es menor que el área superficial con la que se cuenta ( $27,12 m^2$ ).

Y el largo necesario de cada unidad de sedimentación será:

$$Lns = \frac{As}{Ancho}$$

$$Lns = \frac{26,85}{2,4}$$

$$Lns = 11,19m$$

Este parámetro cumple ya que el largo requerido ( $11,19 m$ ) es menor que el largo con el que se cuenta ( $11,3 m$ ).

Siendo así, entonces, el caudal que debe tratar el nuevo sedimentador será:

$$Qns = 156 Lt/s - 90 Lt/s = 66 Lt/s$$

Se debe diseñar un sedimentador que tenga capacidad para dar un tratamiento óptimo a 66 Lt/s.

$$Qs = 66 lt/s = 0,066 m^3$$

$$No. unidades de sedimentación = 1$$

$$Largo unidad = 11,3 m$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

$$\text{Ancho unidad} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Área superficial} = 39,55 \text{ m}^2$$

La unidad de sedimentación que se va a diseñar tendrá el mismo largo que las dos unidades existentes, con respecto al ancho se aumenta ya que el sedimentador debe ser de más capacidad para tratar esta cantidad de caudal.

$$G_2 = 22,28 \text{ s}^{-1}$$

Zona de entrada

$$\text{No. Flautas} = 2$$

$$\text{Distancia entre flautas} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre flauta y pared} = 0,6 \text{ m}$$

$$v = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Se asume inicialmente una velocidad de flujo de 0,1 m/s y el diámetro del orificio es de 2” pulgadas (0,0508m), se determinarán los mismos parámetros que fueron calculados anteriormente:

$$Rh = \frac{d}{4}$$

$$Rh = \frac{0,0508}{4} = 0,0127 \text{ m}$$

$$\text{Gradiente}_{ZE} = \sqrt{\frac{0,03 * V^3}{v * 8 * Rh}}$$

$$\text{Gradiente}_{ZE} = \sqrt{\frac{0,03 * 0,1^3}{1,01 \times 10^{-6} * 8 * 0,0127}}$$

$$\text{Gradiente}_{ZE} = 17,10 \text{ S}^{-1}$$

$$Q_o = \frac{\pi * d^2}{4} * V$$

$$Q_o = \frac{\pi * 0.0508^2}{4} * 0.1$$

$$Q_o = 0.00020 \frac{m^3}{s} = 0.20 \frac{L}{s}$$

$$No. orificios = \frac{\left(\frac{Q}{2 \text{ entradas}}\right)}{Q_o}$$

$$No. orificios = \frac{\left(\frac{66}{2}\right)}{0.20}$$

$$No. orificios = 163$$

Y el espacio entre ejes (centros de los orificios) será:

$$a = \frac{Ls - 2 * D \text{ tubo}}{No. orificios}$$

$$a = \frac{11,3 - 2 * 0,254}{163}$$

$$a = 0,07 \text{ m}$$

### Zona de sedimentación

Las características de las placas son las mismas que las que se encuentran actualmente, las cuales fueron expuestas anteriormente. Por la misma razón los valores de Longitud relativa, velocidad crítica, Número de Reynolds y factor  $\varepsilon$ , también serán los mismos.

En función de seguir verificando parámetros, se calcula ahora el tiempo de retención hidráulica, de la siguiente manera:

$$t = \frac{l}{Vm}$$

$$t = \frac{1,20}{0,002}$$

$$t = 600 \text{ s} = 10 \text{ minutos}$$

Área superficial:

$$As = \frac{Q}{Vm * \text{Sen } \theta * (1 - \varepsilon)}$$

$$As = \frac{0,066}{0,002 * \text{Sen } 60 * (1 - 0,032)}$$

$$As = 39,36 \text{ m}^2$$

Y el largo necesario de cada unidad de sedimentación será:

$$Lns = \frac{As}{\text{Ancho}}$$

$$Lns = \frac{39,36}{3,5}$$

$$Lns = 11,25 \text{ m}$$

Estos parámetros cumplen ya que el área superficial requerida ( $39,36 \text{ m}^2$ ) es menor que el área superficial con la que se cuenta ( $39,55 \text{ m}^2$ ) y el largo requerido ( $11,27 \text{ m}$ ) es menor que el largo con el que se cuenta ( $11,3 \text{ m}$ ).

#### Zona de lodos:

Para el manejo de los lodos se diseña el sedimentador con pendientes de fondo las cuales se dirigen hacia un canal, ubicado en la parte inferior del mismo, el cual será el encargado de transportar el agua con lodos hacia el lecho de secado cuando se deba hacer el lavado del sedimentador. Se realiza esto ya que es un método práctico y eficaz debido a que estas pendientes permiten que los lodos vayan cayendo hacia el canal por acción de la gravedad, no

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

obstante, algunos de estos lodos se quedarán adheridos a estas pendientes de fondo, por dicha razón el operario será el encargado de remover este volumen que se encuentra allí.

Las pendientes se diseñan transversalmente a  $\frac{1}{3}$  de un lado y a  $\frac{2}{3}$  del otro con ángulos de  $23^\circ$  y  $11^\circ$ , respectivamente, para así alcanzar una altura de 40 cm.

### Zona de salida

La tubería de recolección (salida) trabaja a descarga libre, se debe evitar que la tubería trabaje ahogada, por esta razón el caudal de servicio se debe calcular para el doble del caudal real de trabajo. Ya que para el diseño existen dos (2) sedimentadores que tratan 45 Lt/s y el restante trata 66 Lt/s, las tuberías de salida se calcularán para 90 Lt/s en los dos sedimentadores más pequeños y de 132 Lt/s para el nuevo sedimentador.

### Para el cálculo del diámetro de un sedimentador (66 Lt/s):

$$D = Q^{0,4}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería perforada o flauta [m]

Q = Caudal tratado [ $m^3/s$ ]

$$D = 0,132^{0,4}$$

$$D = 0,44 \text{ m} = 17,32'' \text{ pulgadas} \approx 18'' \text{ pulgadas}$$

Si se utilizara solamente una tubería para la salida del agua, se necesitaría un tubo de 18'' pulgadas (Área =  $0,16m^2$ ), ya que esto no es lo más viable, se propone la implementación de cuatro (4) tubos de 10'' pulgadas (Área =  $0,20 m^2$ ) los cuales cumplen con el área requerida.

### Para el cálculo del diámetro de un sedimentador (45 Lt/s):

$$D = 0,09^{0,4}$$

$$D = 0,38 \text{ m} = 15,02'' \text{ pulgadas} \approx 16'' \text{ pulgadas}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Se implementarán cuatro (4) tubos de 8'' pulgadas (Área =  $0,13 \text{ m}^2$ ), cumpliendo con el área necesaria (Área =  $0,13 \text{ m}^2$ ).

Considerando orificios de 1 1/2'' pulgada, el número de orificios necesario es:

$$n = \frac{0,46}{\left(\frac{d}{D}\right)^2}$$

$$n = \frac{0,46}{\left(\frac{0,0381}{0,254}\right)^2}$$

$$n = 21 \text{ orificios}$$

Cada tubo de 10'' pulgadas contará con 21 orificios de 1 1/2'' pulgadas. Se tiene un espacio disponible de 2.4 m de ancho, los orificios ocupan 0.8 m, quiere decir que para los espaciamientos se encuentran disponibles 1.6 m, al dividir este valor en 23 espaciamientos (teniendo en cuenta los laterales entre orificio - pared) se obtienen espaciamientos de 0,073 m, es decir, 7.3 cm.

Para la separación entre ejes de orificios:

$$S = \frac{L}{n + 1}$$

Donde:

S= Separación entre ejes de orificios [m]

L= Largo de flauta [m]

$$S = \frac{3,5}{46 + 1}$$

$$S = 0,074 \text{ m} = 7,4 \text{ cm}$$

Estos cálculos son para el año 2044, con lo cual se desea en un principio evaluar hasta qué año son útiles los sedimentadores que se encuentran actualmente. Anteriormente se mencionó que los sedimentadores cuentan con capacidad para 90 Lt/s, es decir, para el caudal que se

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

debería estar trabajando actualmente (84 Lt/s) sí cumpliría, sin embargo, para el año 2022 ( $Q = 91 \text{ Lt/s}$ ) ya no contarían con las medidas necesarias para trabajar dicho caudal.

Ahora se verifica el cumplimiento del parámetro de área necesaria, para los años 2019, 2032 y 2044. Se debe tener en cuenta que se cuenta con un área superficial total de  $93,79 \text{ m}^2$ , debido a que son dos (2) unidades de  $27,12 \text{ m}^2$  y una unidad de  $39,55 \text{ m}^2$

### **Año 2019 (Año 0):**

$$\text{Área necesaria} = 50,11 \text{ m}^2$$

Sí cumple

### **Año 2032 (Año 13):**

$$\text{Área necesaria} = 69,21 \text{ m}^2$$

Sí cumple

### **Año 2044 (Año 25):**

$$\text{Área necesaria} = 93,07 \text{ m}^2$$

Sí cumple

### **4.1.9 Canal de conducción Sedimentación – Filtración.**

El canal de conducción será el encargado de transportar el agua de la salida de las unidades de sedimentación a las unidades de filtración. En este caso se posee un canal rectangular mencionado en el numeral 3.1.7

Para la verificación del canal se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- La relación entre ancho y alto usualmente según varios autores son 1:1 a 2:1, para el canal actual esta relación 0,8:1.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Respecto al Borde libre se tienen en cuentas los parámetros mencionados anteriormente en la imagen 51. En este caso ya que el alto (H) es 0,80 m se tiene un borde libre de 0,40 m.
- La pendiente (S) se tiene un valor de 0.5 %.
- Velocidad entre 0,6 y 1,4 m/s.

Para hallar la velocidad utilizamos la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{0.5}$$

Donde:

V: Velocidad [m/s]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (para este caso se asumió que el material del canal es hormigón y se presentan algunas irregularidades n=0.017)

R<sub>h</sub>: Radio hidráulico [m]

S: Pendiente [m/m]

Para calcular el radio hidráulico:

$$R_h = \frac{\text{Área mojada}}{\text{Perímetro mojado}}$$

$$\text{Área mojada} = B * (H - BL)$$

$$\text{Área mojada} = 0.85 \text{ m} * (0.7 \text{ m} - 0.4 \text{ m})$$

$$\text{Área mojada} = 0.26 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado} = B + 2 * (H - BL)$$

$$\text{Perímetro mojado} = 0.85 \text{ m} + 2 * 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro mojado} = 1.45 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.26m^2}{1.45 m}$$

$$R_h = 0.18 m$$

Ahora que se tienen todos los datos, se aplica la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{0.017} * 0.18^{\frac{2}{3}} * 0.005^{0.5}$$

$$V = 1.31 m/s$$

#### 4.1.10 Filtración

Como se mencionaba en el numeral 3.1.8, el proceso de filtración se realiza por medio de tres (3) unidades de filtración de alta tasa, las cuales con las dimensiones actuales cumplen con los parámetros de diseño y en particular con el área superficial necesaria para el caudal que trata actualmente la PTAP, para determinar el área superficial se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Área Superficial} = \frac{Qmd}{\text{Velocidad de filtración}}$$

Para la fórmula anterior se requiere definir la velocidad de filtración, para ello tendremos en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 24. Principales características de filtros

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5 (<12 m/d)	120 m/d	180 - 480 m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración carrera	20-60 días	12-36 horas	12 - 36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0,6 m final: 1,2 m	Inicial: 0,3 m final: 2,4-3 m	Inicial: 0,3 m final: 2,4-3 m
Agua de lavado	No usa	2-4% del agua filtrada	6% del agua filtrada
Profundidad del medio	0,6 - 1,0 m	0,60-0,75 m	Antracita 0,4 - 0,6 m arena 0,15 - 0,3 m
Profundidad de grava	0,30 m	0,30-0,45 m	0,30 - 0,45 m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Tubería perforada Falsos fondos

*Nota:* Características para filtros de alta tasa.

Fuente: “*Potabilización del Agua*” del Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

Los espesores de las capas que se encuentran actualmente (mencionados en la sección 3.1.8) no se encuentran dentro del rango especificado por Romero Rojas (Tabla 24) ni por Lozano Rivas (en su libro “Potabilización del agua”) por esta razón la altura de estas capas se ha adoptado de la siguiente manera:

Antracita: 0,30 m

Arena: 0,30 m

Grava: 0,30 m

Falso fondo: 0,20 m

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Para este caso el valor seleccionado de tasa de filtración es de 400 m/d. A continuación, se realizará los cálculos utilizando la fórmula antes mencionada para corroborar el cumplimiento del área de las unidades actuales, tanto para el caudal actual, como para el caudal de proyección, para así determinar si es necesaria alguna modificación.

Para la condición actual se verificará con un caudal de 120 lt/seg, para poder determinar el valor del área superficial se requiere ingresar el caudal en unidades m<sup>3</sup>/día, el cual corresponde a 10368 m<sup>3</sup>/día.

$$\text{Área Superficial} = \frac{10368 \text{ m}^3/\text{día}}{400 \text{ m/d}}$$

$$\text{Área Superficial} = 25.92 \text{ m}^2$$

Cada una de las tres (3) unidades actuales posee un área superficial de 12.24 m<sup>2</sup>, teniendo un área total de filtración de 36.72 m<sup>2</sup>, cumpliendo con lo requerido.

Para el caudal de proyección se realiza el mismo procedimiento, el caudal de proyección es de 156 lt/seg o 13478,4 m<sup>3</sup>/día, para el cual se requiere un área superficial de:

$$\text{Área Superficial} = \frac{13478,4 \text{ m}^3/\text{día}}{400 \text{ m/d}}$$

$$\text{Área Superficial} = 33,70 \text{ m}^2$$

Con este último resultado se asegura que las unidades de filtración actuales cumplen y están en la capacidad de tratar el caudal de proyección de manera óptima, por esta razón no es necesaria alguna modificación a las estructuras existentes.

### **Retrolavado**

Actualmente los filtros cuentan con un proceso de retrolavado que realiza una limpieza ascendente, el cual se explica en el numeral 3.1.8. Para este proceso encontramos que se

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

recomienda un gasto de agua para el retrolavado de 6% de agua filtrada, según la imagen antes mencionada. Este valor corresponde a un valor teórico, pero según el estado y tipo de planta este valor se considera como recomendado. El gasto necesario para una correcta limpieza del filtro se determina de manera experimental en la planta, donde la observación detallada de los operarios es fundamental para establecer dicho valor, teniendo en cuenta la correcta remoción y separación del material granular evitando la pérdida de este.

Para la limpieza actual de los filtros se realiza este proceso durante un periodo de tiempo de 20 minutos con un gasto de  $40 \text{ m}^3$ , este proceso fue establecido por los encargados de la planta, se procede a establecer el porcentaje actual comparando con el valor teórico.

$$Q \text{ actual} = 0,110 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ actual} = 396 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Se determina el 6% del caudal actual filtrado.

$$396 \text{ m}^3/\text{hora} * 0,06$$

$$X = 23,76 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Como podemos observar el valor teórico requerido para el retrolavado actual es de  $23,76 \text{ m}^3/\text{hora}$ , inferior a lo que se está implementando actualmente, por esta razón se recomienda volver a calcular de manera experimental el gasto necesario ya que existe un gasto de más.

Para el caudal de proyección realizaremos el mismo procedimiento.

$$Q \text{ proyección} = 0,156 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q \text{ proyección} = 561,60 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Se determina el 6% del caudal actual filtrado.

$$561,60 \text{ m}^3/\text{hora} * 0,06$$

$$X = 33,69 \text{ m}^3/\text{hora}$$

**DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ**

Para el caudal de proyección se obtiene un valor teórico necesario de 33,69 m<sup>3</sup>/hora. Se recomienda verificar este valor de manera experimental cuando se esté trabajando con el caudal de proyección.

El proceso de filtración culmina con la recolección del agua que atraviesa el lecho filtrante pasando por el falso fondo, el cual canaliza el agua hacia una tubería de 12 pulgadas en cada una de las tres unidades. Los tubos en posición vertical descienden a un nivel inferior donde desembocan en un canal de recolección para continuar el proceso de la PTAP con destino al tanque de almacenamiento.

A continuación, se muestra el cumplimiento del parámetro de área requerida para los años 2019, 2032 y 2044.

**Año 2019 (Año 0):**

$$\text{Área necesaria} = 18,14 \text{ m}^2$$

Sí cumple

**Año 2032 (Año 13):**

$$\text{Área necesaria} = 25,06 \text{ m}^2$$

Sí cumple

**Año 2044 (Año 25):**

$$\text{Área necesaria} = 33,70 \text{ m}^2$$

Sí cumple

#### 4.1.11 Canal de conducción de filtros a tanque de almacenamiento.

Para continuar el proceso de la PTAP posterior a los filtros, se utiliza un canal de conducción el cual se abastece de tres tubos mencionados en el proceso de filtración, este canal conduce el agua filtrada por una distancia de 11,30 metros en donde desemboca a una tubería de 16 pulgadas que se encarga de conducir el caudal hasta el tanque de almacenamiento para el proceso de desinfección y posteriormente a su distribución, el tanque se encuentra ubicado a algunos metros de la PTAP.

Para la verificación del canal se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- La relación entre ancho y alto usualmente según varios autores son 1:1 a 2:1, para el canal actual esta relación 1,6:1.
- Respecto al Borde libre se tienen en cuentas los parámetros mencionados anteriormente en la imagen 51. En este caso ya que el alto (H) es 0,80 m se tiene un borde libre de 0,40 m.
- La pendiente (S) se tiene un valor de 0.5 %.
- Velocidad entre 0,6 y 1,4 m/s.

Para hallar la velocidad utilizamos la fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{0.5}$$

Donde:

V: Velocidad [m/s]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (para este caso se asumió que el material del canal es hormigón y se presentan algunas irregularidades n=0.017)

R<sub>h</sub>: Radio hidráulico [m]

S: Pendiente [m/m]

Para calcular el radio hidráulico:

$$R_h = \frac{\text{Área mojada}}{\text{Perímetro mojado}}$$

$$\text{Área mojada} = B * (H - Bl)$$

$$\text{Área mojada} = 0.5 \text{ m} * (0.8 \text{ m} - 0.4 \text{ m})$$

$$\text{Área mojada} = 0.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado} = B + 2 * (H - Bl)$$

$$\text{Perímetro mojado} = 0.5 \text{ m} + 2 * 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Perímetro mojado} = 1.3 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{0.2 \text{ m}^2}{1.3 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.15 \text{ m}$$

Ahora que se tienen todos los datos, se aplica la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{0.017} * 0.15^{\frac{2}{3}} * 0.005^{0.5}$$

$$V = 1.19 \text{ m/s}$$

#### 4.1.12 Cloración

Como se mencionó en el numeral 3.1.11 la capacidad del tanque de distribución debe asegurar un mínimo de 20 minutos de retención del agua dentro de él para el proceso de aplicación de cloro, para esto se realiza el siguiente proceso:

Ya que:

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \quad \text{Entonces} \quad \text{Volumen} = \text{Caudal} \times \text{Tiempo}$$

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

El caudal (156 Lt/s) y el tiempo (20 min = 1200 seg) son datos conocidos, se halla el volumen necesario para el tanque elevado

$$Volumen = 156 \frac{Lt}{s} * \frac{1 m^3}{1000Lt} * 1200 sg = 187 m^3$$

Se puede deducir que se cumple con esto ya que los tanques de distribución cuentan con aproximadamente 1700 m<sup>3</sup>.

### 4.1.13 Tanque de Almacenamiento

Teniendo en cuenta que el último proceso de la PTAP finaliza en la cloración, pero considerando que este proceso se efectúa en los tanques de almacenamiento, se realiza la verificación de estos. Como se mencionó en el numeral 3.1.11, los dos tanque actuales tiene una capacidad de 1700 m<sup>3</sup>, se determinará la capacidad necesaria para el año de proyección, para ello se realiza una curva de masa, en la cual se establecerá el porcentaje del caudal diario necesario para determinar el volumen requerido.

A continuación, teniendo en cuenta el libro de López Cualla “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” (2003), se realizan los cálculos correspondientes para establecer el método gráfico y analítico de la curva de masa.

Para comenzar es importante tener en cuenta que la curva integral de masa se basa en el consumo y suministro presente el pueblo, para este caso el municipio de Ubaté presenta un consumo horario estándar, por esta razón los valores de consumo se deducirán del libro de López. Respecto al suministro de agua, la planta presta servicio sin interrupciones, por lo cual se deduce que el pueblo no posee problemas de abastecimiento de agua. De lo anterior obtenemos lo siguiente:

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Tabla 25. Resultados analítico curva de masa

Hora	C (%)	SUM C	S (%)	$\Sigma S$	S - C	$\Sigma (S - C)$	V (%)
0 - 1	1	1	4,17	4,17	3,17	3,17	11,1
1 - 2	1	2	4,17	8,34	3,17	6,34	14,27
2 - 3	1	3	4,17	12,51	3,17	9,51	17,44
3 - 4	1	4	4,17	16,68	3,17	12,68	20,61
4 - 5	2	6	4,17	20,85	2,17	14,85	22,78
5 - 6	4	10	4,17	25,02	0,17	15,02	22,95
6 - 7	9,5	19,5	4,17	29,19	-5,33	9,69	17,62
7 - 8	8	27,5	4,17	33,36	-3,83	5,86	13,79
8 - 9	7	34,5	4,17	37,53	-2,83	3,03	10,96
9 - 10	4	38,5	4,17	41,7	0,17	3,2	11,13
10 - 11	3	41,5	4,17	45,87	1,17	4,37	12,3
11 - 12	5,5	47	4,17	50,04	-1,33	3,04	10,97
12 - 13	9	56	4,17	54,21	-4,83	-1,79	6,14
13 - 14	5	61	4,17	58,38	-0,83	-2,62	5,31
14 - 15	3	64	4,17	62,55	1,17	-1,45	6,48
15 - 16	2,5	66,5	4,17	66,72	1,67	0,22	8,15
16 - 17	3	69,5	4,17	70,89	1,17	1,39	9,32
17 - 18	3,5	73	4,17	75,06	0,67	2,06	9,99
18 - 19	5	78	4,17	79,23	-0,83	1,23	9,16
19 - 20	9	87	4,17	83,4	-4,83	-3,6	4,33
20 - 21	8,5	95,5	4,17	87,57	-4,33	-7,93	0

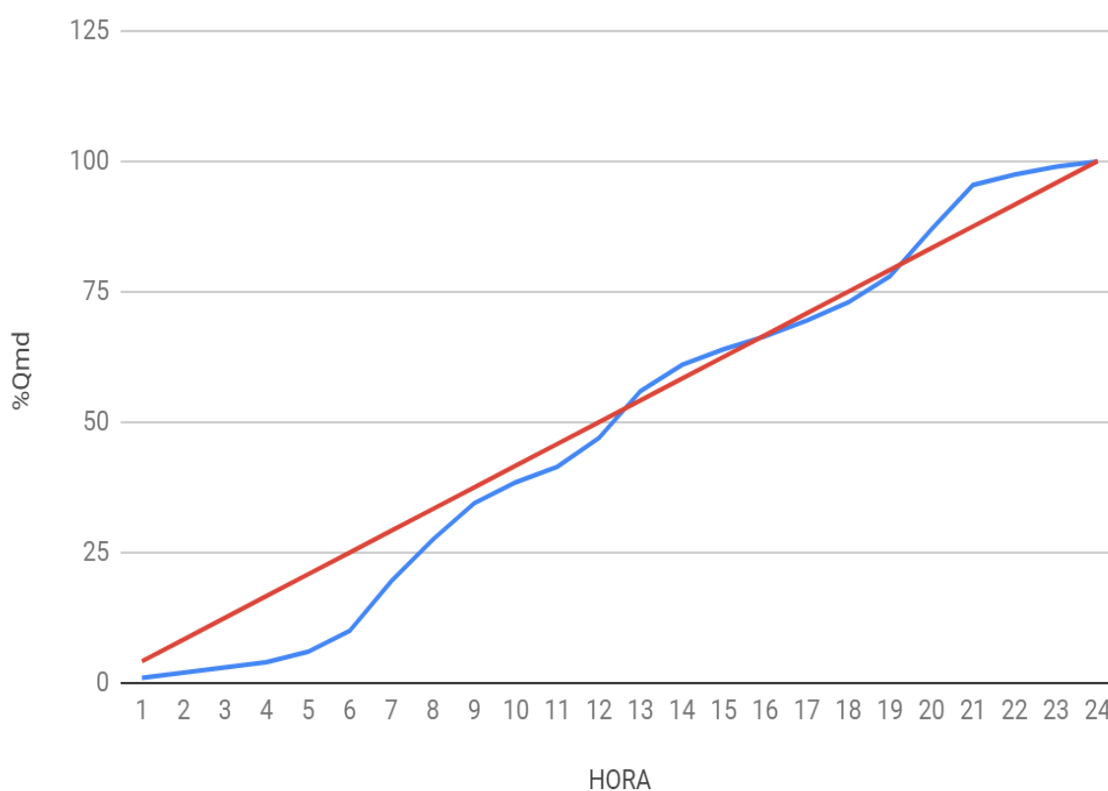
## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

21 – 22	2	97,5	4,17	91,74	2,17	-5,76	2,17
22 – 23	1,5	98	4,17	95,91	2,67	-3,09	4,84
23 - 24	1	100	4,17	100	3,17	0,08	8,01

*Nota:* Resultados analíticos de la curva de masa.

Fuente: “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” López Cualla

Gráfica 6. Curva de Masa



*Nota:* Curva de masa. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

De los datos obtenidos mostrados anteriormente, podemos evidenciar que el valor máximo en la última columna de la tabla corresponde a 22,95, este valor es el porcentaje del agua total

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

tratada por la PTAP por día, por consiguiente, se calcula el valor para este porcentaje, y así definir la capacidad del tanque para el año 2044.

$$Q \text{ proyección} = 0,156 \text{ m}^3/\text{seg} = 13478,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Volumen Necesario} = 13478,4 \text{ m}^3/\text{día} * 0,2295$$

$$\text{Volumen Necesario} = 3093,3 \text{ m}^3 \approx 3100 \text{ m}^3$$

Obtenemos que para el año de proyección el tanque de almacenamiento requiere tener una capacidad de  $3100\text{m}^3$  para satisfacer el consumo de la población futura, es decir es necesaria una futura ampliación o construcción de un nuevo tanque que supla el déficit de los tanques actuales.

### 4.1.14 Lecho de Secado

Teniendo en cuenta que todas las plantas potabilizadoras tienen como objetivo la remoción de diferentes partículas a lo largo de su proceso, es necesario un manejo adecuado de estos materiales removidos denominados lodos. Para esto podemos encontrar diferentes métodos para el correcto tratamiento, tanto de lodos como del agua utilizada para realizar lavados o mantenimiento a las unidades de la PTAP.

En la actualidad uno de los procesos ideales para realizar esta remoción se hace por medio de lechos de secado, estos consisten en diferentes tanques generalmente de sección rectangular, los cuales tienen un funcionamiento tipo filtro, poseen diferentes capas de arena y grava con la finalidad de retener los lodos y permitir la filtración del agua que llega con los mismos.

Estos lodos retenidos por dicha capas son retirados manualmente por el operario, respecto al agua filtrada es captada por tuberías ubicadas al fondo de los lechos, para posteriormente transportar el agua a una cámara para luego ser bombeada al inicio de la PTAP.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Actualmente la PTAP de Ubaté no cuenta con un sistema de tratamiento de lodos óptimo, puesto que estos son removidos por medio de la apertura de los desagües al momento del lavado de las unidades, depositándose en el sistema de pozos y alcantarillado con el que cuenta la planta de tratamiento con destino a una quebrada aledaña. Por esta razón se propone el siguiente diseño de un lecho de secado.

Para el correcto funcionamiento de este proceso se necesita solamente de una unidad, la cual estará dividida en dos secciones, una para los filtros y la otra para los sedimentadores, estas deben estar cubiertas para evitar su exposición a factores externos.

Para diseñar estos lechos es necesario conocer el volumen aproximado de lodos que se presentan en los sedimentadores y de los filtros, ya que de estas unidades es de donde provienen.

En cuanto al sedimentador, como se mencionó anteriormente, este cuenta con una zona de lodos, al momento de realizar el lavado, se realiza la apertura del desagüe correspondiente liberando la salida de un aproximado de  $5,93 m^3$  de lodos, este valor se calculó teniendo en cuenta una altura de 0,15m (capa de lodos acumulados en el fondo del nuevo sedimentador,) por el área superficial de  $33,55 m^2$

Para el diseño del lecho de secado en los filtros se tiene en cuenta que al ser el último proceso de remoción de lodos no tratan la misma cantidad que otras unidades, no obstante, se diseña teniendo en cuenta una altura capa de lodos de 0,10m, junto con el área superficial de  $12,06 m^2$  de los filtros, obtenemos un volumen de lodos de  $1,2 m^3$ .

Se debe calcular el volumen del lecho en base a obtener una buena distribución de los lodos en una capa de 30 cm, es decir, se sabe que de cada sedimentador llegarán aproximadamente  $33,55 m^2$ , quiere decir que si se divide esto por los 0,3 m de capa de lodos en el lecho obtenemos un área superficial de  $19,77 m^2$ , la cual podemos cumplir adoptando unas medidas de  $L = 5 m$  y  $B = 4 m$ . Los filtros requieren menos área superficial, sin

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

embargo, se utilizará la misma que requieren los sedimentadores, con el fin de diseñar un solo lecho dividido en dos secciones exactamente iguales.

Para la altura del lecho se establece un valor de 1,45m, distribuido de la siguiente manera: 0,30m de grava, 0,15m de arena, 0,30m de lodos, 0,40m de lámina de agua, y un borde libre de 0,30m.

Con los valores mencionados anteriormente, determinamos:

- Una sección de lecho de secado

Volumen Total:  $29m^3$

Altura: 1,45 m      Ancho: 4 m      Largo: 5 m

Entonces el lecho de secado tendrá en total  $58 m^3$ .

El agua proveniente de las seis (6) unidades se recolectan en un solo tubo de 12 pulgadas, este tubo lleva al lecho de secado donde por medio de una “T” se bifurca en dos (2) tubos, y cada uno de estos llega a una sección diferente.

Como se mencionó anteriormente el agua filtrada en el lecho se bombea al inicio de la PTAP, por esta razón es indispensable la recolección del agua mediante pendientes en el fondo que canalice el agua en tubo longitudinal de 10 pulgadas con orificios en el fondo del lecho, donde posteriormente llega a una cámara en la cual se encuentra una motobomba, y esta será la encargada de llevar el agua nuevamente a la cámara de quietamiento.

### **5. Manual de operación**

. A continuación, se presenta el manual de operación de cada una de las unidades de la planta de tratamiento, que sirva como guía para la operación y funcionamiento de la planta siga siendo el adecuado. Para cada una de las operaciones se deben tener en cuenta los factores que influyen en las mismas.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Todas las operaciones de mantenimiento y limpieza dependen directamente de la turbiedad del agua.

### **Recomendaciones Generales**

- Revisión semanal visual y detallada de todas las estructuras de concreto, observando si hay algún indicio de fracturas, grietas, desprendimientos, etc. Si es así reportar para pronta solución.
- Revisión diaria de cantidad de insumos, suministros, o algún otro elemento requerido para la purificación de agua y el correcto funcionamiento de la PTAP.
- Verificar cada 2 semanas el estado de las múltiples conexiones entre unidades, equipos o demás sistemas relacionados a la PTAP.
- Chequear el estado de las estructuras metálicas existentes (barandas, válvulas, compuertas, etc.) que no presenten fisuras, oxidación.
- Comprobar cada 2 meses la velocidad en las unidades, se recomienda el uso de trazadores no colorantes.
- Mensualmente se debe realizar un lavado total a la PTAP, para ello se requiere de una cuadrilla de limpieza de mínimo 3 personas.
- Para el funcionamiento continuo de la planta se requiere de tres operarios, los cuales trabajarán en turnos diferentes de 8 horas.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

A continuación, se muestran los cuidados de operación y mantenimiento de las unidades de cada una de las operaciones que se presentan en la PTAP:

- Cámara de aquietamiento

Tabla 26. Recomendaciones para cámara de aquietamiento

Unidad/Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta
Cámara de aquietamiento	Realizado por:	Operario	Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas. Un indicador clave es la acumulación de lama que se acumula en las paredes.
	Herramienta menor:	Cepillo	Se debe lavar promedio cada semana. Un indicador clave es la acumulación de lama que se acumula en las paredes.

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de la cámara de aquietamiento. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

- Mezcla rápida:

Tabla 27. Recomendaciones para mezcla rápida y dosificación.

Unidad / Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta
Mezcla rápida Canaleta Parshall Dosificación	Realizado por:	Operario	Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas.
	Herramienta menor:	Cepillo	Se debe lavar promedio cada semana.
		Verificar semanalmente que las medidas especificadas en el medidor de caudal (regleta ubicada en la zona corvengente) se observen claramente.	Verificar semanalmente que las medidas especificadas en el medidor de caudal (regleta ubicada en la zona corvengente) se observen claramente.
		Chequear diariamente que la dosis y aplicación del coagulante sea correcta.	Chequear que la dosis y aplicación del coagulante sea correcta.
		Registrar en cada turno (8 horas) la dosis óptima aplicada y el caudal manejado	Registrar en cada turno (8 horas) la dosis óptima aplicada y el caudal manejado

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de la canaleta mezcla rápida.

Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Canales:

Tabla 28. Recomendaciones para canales

Unidad / Proceso	Especificaciones		Turbiedad baja	Turbiedad alta
Canales: Mezcla rápida - Mezcla lenta Sedimentación - Filtración Filtración - Distribución	Realizado por:	Operario	Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas. Un indicador clave es la acumulación de lama que se acumula en las paredes.	Se debe lavar promedio cada semana. Un indicador clave es la acumulación de lama que se acumula en las paredes.
	Herramienta menor:	Cepillo		

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de canales. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

- Mezcla lenta - Floculación:

Tabla 29. Recomendaciones para floculación

Unidad / Proceso	Especificaciones		Turbiedad baja	Turbiedad alta
Floculación	Realizado por:	Operario	Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas. Verificación cada turno (8 horas) de buena formación de floc (tamaño).	Se debe lavar promedio cada semanas. Verificación cada turno (8 horas) de buena formación de floc (tamaño).
	Herramienta menor:	Cepillo Hidrolavadora		

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de los floculadores. Autores:

Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Sedimentación:

Tabla 30. Recomendaciones para sedimentación

Unidad / Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta	
Sedimentacion	Realizado por:	Operario. Cuadrillo de limpieza	Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas.  Inspección visual por turno (8 horas) de las placas	Se debe lavar promedio cada semanas.  Inspección visual por turno (8 horas) de las placas.
	Herramienta menor:	Cepillo Hidrolavadora Pala Palustre	Inspección detallada de los tubos, placas, estructura en cada lavado.  Verificar que la altura de lodos no obstruya el ingreso de agua a los tubos de entrada.  Por cada turno (8 horas) se debe observar que todos los canales de salida de sedimentación extraigan la misma cantidad de agua	Inspección detallada de los tubos, placas, estructura en cada lavado.  Verificar que la altura de lodos no obstruya el ingreso de agua a los tubos de entrada.  Por cada turno (8 horas) se debe observar que todos los canales de salida de sedimentación extraigan la misma cantidad de agua

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de los sedimentadores.

Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Filtración:

Tabla 31. Recomendaciones para filtración.

Unidad / Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta
Filtración	Realizado por:	Operario	Operario
	Herramienta menor:	Pala Cepillo Hidrolavadora	Pala Cepillo Hidrolavadora
		Se debe lavar promedio cada dos (2) semanas. Un indicador es cuando el nivel del agua sube hasta interrumpir el normal funcionamiento de los canales que se encuentran en por encima de los lechos.	Se debe lavar promedio cada semana. Un indicador es cuando el nivel del agua sube hasta interrumpir el normal funcionamiento de los canales que se encuentran en por encima de los lechos.
		Realizar el retrolavado de manera oportuna para evitar la colmatación del filtro, evitando la pérdida de material granular.	Realizar el retrolavado de manera oportuna para evitar la colmatación del filtro, evitando la pérdida de material granular.

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento de los filtros. Autores: Roa

Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Tanque de almacenamiento / Cloración:

Tabla 32. Recomendaciones para cloración y tanque de almacenamiento.

Unidad / Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta
Tanque de almacenamiento Cloración	Realizado por: Operario. Cuadrilla limpieza.	Se debe lavar cada mes cuando se hace el lavado general de la PTAP	Se debe lavar cada mes cuando se hace el lavado general de la PTAP
		Las pipetas de cloro gaseoso se deben manejar con cuidado (no recibir golpes fuertes, almacenarse en un área techada, seca y ventilada).	Las pipetas de cloro gaseoso se deben manejar con cuidado (no recibir golpes fuertes, almacenarse en un área techada, seca y ventilada).
	Herramienta menor: Pala Cepillo Hidrolavadora	Por cada turno (8 horas) revisar equipos de dosificación.	Por cada turno (8 horas) revisar equipos de dosificación.
		Verificar que las compuertas de los tanques de almacenamiento permanezcan cerradas	Verificar que las compuertas de los tanques de almacenamiento permanezcan cerradas
		Chequear que en el inicio de las horas de mayor consumo el tanque de almacenamiento presente un volumen de agua mínimo del 80% de su capacidad	Chequear que en el inicio de las horas de mayor consumo el tanque de almacenamiento presente un volumen de agua mínimo del 80% de su capacidad

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento del tanque de almacenamiento. Autores: Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Tanque elevado:

Tabla 33. Recomendaciones para tanque elevado

Unidad / Proceso	Especificaciones	Turbiedad baja	Turbiedad alta
Tanque Elevado	Realizado por:	Cuadrilla de limpieza	
		Se debe lavar cada mes cuando se hace el lavado general de la PTAP.	Se debe lavar cada mes cuando se hace el lavado general de la PTAP
	Herramienta menor:	Cepillo Hidrolavadora	

Nota: Recomendaciones de operación y mantenimiento del tanque elevado. Autores:

Roa Aponte, Sandoval Téllez.

## 6. Conclusiones

- Se realizó el levantamiento topográfico de las unidades que actualmente se encuentran en la PTAP, estableciendo las dimensiones para el posterior análisis del funcionamiento general de las mismas.
- Actualmente la cámara de aquietamiento no cuenta con las dimensiones necesarias para cumplir con ciertos parámetros, por dicha razón se optó por la construcción de una nueva cámara con las mismas dimensiones que la existente junto a la misma, para así finalmente remover el muro que las separa, obteniendo solamente una cámara de aquietamiento con las medidas necesarias.
- La canaleta Parshall de 6" que se encuentra actualmente presenta fallas estructurales en cuanto a sus medidas, por tal razón es necesario que sea reemplazada inmediatamente por una canaleta prefabricada de 9" debido a que esta cuenta con la capacidad necesaria para tratar el caudal de diseño (caudal del año 2044).
- Se determinó que el caudal necesario actualmente es de 84 Lt/s, más sin embargo año tras año este irá aumentando, en base a esto se calculó el caudal necesario para cada uno de estos, concluyendo así que las unidades actuales de floculación y sedimentación son útiles hasta el año 2035 y 2021, respectivamente. Por otro lado, los filtros que se encuentran actualmente cumplen con los parámetros necesarios para trabajar hasta el año de diseño (2044). Para controlar la entrada de este caudal se recomienda la instalación de macromedidores en las tuberías de entrada de la PTAP.
- Los reactivos que se te utilizan actualmente para los procesos de coagulación y cloración cumplen con los parámetros establecidos

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Para la proyección del funcionamiento de la PTAP a 25 años es necesaria la construcción de otra unidad de floculación de las mismas dimensiones que las actuales. y además una unidad de sedimentación de 1.1 metros más ancha que las que se encuentran en este momento.
- El sedimentador que se debe construir contará con una zona de lodos, las dos unidades de sedimentación que se encuentran hoy en día no cuentan con dicha zona y no se diseñó puesto que se incurriría en pérdidas económicas debido al cierre parcial de esta unidad.
- Los canales con los que cuenta la PTAP son apropiados puesto que las velocidades que se manejan en los mismos se encuentran en rangos aceptables.
- Se recomienda la modificación de la altura de las capas de los filtros que se encuentran actualmente, debido a que no cumplen los espesores recomendados según diferentes autores.
- Para el retrolavado hoy por hoy se están utilizando alrededor de 40 m<sup>3</sup> cuando solamente son necesarios 23,76 m<sup>3</sup>. Sin embargo, esta medida también debe probarse experimentalmente para así comprobar que es la cantidad necesaria.
- Se diseñó un lecho de secado, dividido en dos (2) secciones, con un volumen total de 58 m<sup>3</sup> con el fin de dar mayor aprovechamiento al agua, al no desperdiciar la misma. Para el nuevo tratamiento de esta agua se plantea la colocación de una bomba para llevarla nuevamente hasta la cámara de quietamiento.
- Realizando la curva de demanda se estima que para el año 2044 sea necesario contar con 3100 m<sup>3</sup> en uno o varios tanques de distribución, actualmente se cuentan con 1700 m<sup>3</sup>, es decir, dentro de 25 años deberían implementarse los 1400 m<sup>3</sup> restantes.

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- La cloración que se maneja actualmente está bien, puesto que las dosificaciones de cloro residual cumplen los parámetros establecidos, además el tiempo de contacto de esta sustancia con el agua es más que el necesario para un óptimo tratamiento.
- Se estableció un manual de operación y mantenimiento general de la PTAP, puesto que es necesario que se sigan estas recomendaciones para el correcto funcionamiento a corto, mediano y largo plazo de todo el sistema.
- El proceso de dosificación del coagulante se realiza de manera incorrecta puesto que no es aplicado en el resalto hidráulico que se genera en la canaleta Parshall, por esta razón se recomienda que el punto de aplicación se ejecute en dicho resalto. Por otro en el proceso de desinfección se realiza de manera correcta debido a que el cloro cuenta con el tiempo de contacto necesario para cumplir su objetivo.
- Las recomendaciones propuestas en este proyecto se tomaron en base a la viabilidad de planeación y ejecución, teniendo en cuenta que la restructuración o construcción no afecte el funcionamiento de la planta actual.

## 7. Bibliografía

- Lozano, Guillermo & Lozano, William. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Romero Jairo (1999). Potabilización del agua. 3ª ed. México: Alfaomega.
- Villón Máximo (2007). Hidráulica de canales. 2ª ed. Lima, Perú: Villón.
- López Ricardo (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2017). Resolución 0330 del 2017.
- Meléndez, Dustin. Sánchez Angela. (2016). Diagnóstico y recomendaciones para la optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Corinto, Cauca. Trabajo de grado. Recuperado de:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4469/Mel%C3%A9ndezdustin2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Loaiza Juan. (2018). Diagnóstico del sistema operativo de la planta de tratamiento de agua potable (ptap) guacavía en el municipio de Cumaral, departamento del Meta. Trabajo de grado. Recuperado de:  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12021/2018juanloaiza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

- Carreño, Erika. Castiblanco, Cristopher. (2016). Optimización del floculador tipo Alabama en la planta de tratamiento de Acuanamay con la incorporación de mallas en cada una de sus cámaras. Trabajo de grado. Recuperado de:  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/DOCUMENTO\\_OPTIMIZACION%20DEL%20FLOCULADOR%20TIPO%20ALABAMA%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20ACUANAMAY%20CON%20L.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14031/4/DOCUMENTO_OPTIMIZACION%20DEL%20FLOCULADOR%20TIPO%20ALABAMA%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20ACUANAMAY%20CON%20L.pdf)
- Pulido, Harry. Carrillo Manuel. (2016). Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la vereda de San Antonio de Anapoima. Trabajo de grado. Recuperado de:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14039/4/DISEÑO%20HIDRÁULICO%20DE%20UNA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACIÓN%20DE%20AGUA%20EN%20LA%20VEREDA%20DE%20SAN%20ANTONIO%20DE%20ANAPOIMA.pdf>
- López, Angie. Jiménez, Fernando. (2016). Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable San Antonio – Asociación Sucuneta. Trabajo de grado. Recuperado de:  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4195/2/Anexo%20-%20Manual%20de%20operaciones%20PTAP%20San%20Antonio%20-%20Asociacion%20Sucuneta.pdf>
- Valbuena, Yesid. Velásquez, Andrea. (2015). Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable del municipio de Chocontá,

## DIAGNÓSTICO Y OPTIMIZACIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE UBATÉ

Cundinamarca. Recuperado de:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4836/3/BenitoVel%C3%A1squ ezAndreaCatalinaAnexo-2.pdf>

- Cámara de comercio (SF). Ubaté: Caracterización económica y empresarial.

Recuperado de:

[https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2889/6233\\_caracteriz\\_ empresarial\\_ubate.pdf?sequence=1](https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2889/6233_caracteriz_ empresarial_ubate.pdf?sequence=1)

- Maldonado Víctor (SF). Sedimentación. Recuperado de:

<http://www.ingenieroambiental.com/4014/siete.pdf>

## **8. Anexos**

# **8.1 PLANTA PTAP CONDICION ACTUAL**

## **8.2 CORTES Y DETALLES PTAP CONDICION ACTUAL**

## **8.3 PLANTA PTAP PROYECCION**

## **8.4 CORTES Y DETALLES PTAP PROYECCIÓN**