



**Plan de diagnóstico y mejora del sistema de filtración rápida de la planta de potabilización
de la Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela**

Sarita López Vera

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniera Sanitaria

Asesor:

Darío Naranjo Fernández

Ph.D Ingeniería Hidráulica y Saneamiento

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Ingeniería Sanitaria
Medellín, Colombia
2023

Cita	(López Vera, 2023)
Referencia	López Vera, S. (2023). <i>Plan de diagnóstico y mejora del sistema de filtración rápida de la planta de potabilización de la Corporación de Acueducto Multiveredal La Cuarela</i> . Semestre de Industria. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Julio Cesar Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A Dios y mi madre por darme la valentía y la fuerza para enfrentarme a este reto.

Agradecimientos

La gratitud es uno de los valores más importantes del ser humano, por eso en esta ocasión quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional, especialmente a mi madre por su paciencia y motivación; y a mi asesor, por guiarme de la mejor manera en las estrategias para el desarrollo de este informe.

A Liria Montoya que con su amoroso apoyo me ha impulsado en cada camino que emprendo.

También quiero agradecer a los compañeros de La Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela por permitirme poner en función mis conocimientos como ingeniera sanitaria.

Tabla de contenido

Resumen	7
Introducción	8
1 Objetivos	10
1.1 Objetivo general	10
1.2 Objetivos específicos.....	10
2 Marco teórico	10
3 Metodología	12
3.1 Etapa 1: Descripción	13
3.2. Etapa 2: Diagnóstico	13
3.3. Etapa 3: Alternativas de mejora	13
4 Resultados y análisis	13
4.1. Descripción.....	13
4.2. Diagnostico.....	21
6 Conclusiones	27
Referencias	28
Anexos.....	29
Anexo 1. Isométricos entregados a la PTAP.	29
Anexo 2. Memoria de cálculo desarenador.....	32
Anexo 3. Planos de desarenador.	36

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados promedio de los meses de junio y octubre.	20
--	----

Lista de figuras

Figura 1.	Tren de tratamiento de la PTAP de filtración rápida del Acueducto Multiveredal La Acuarela.....	11
Figura 2.	Rejilla de la bocatoma.	15
Figura 3.	Rejilla superficial creada por los operarios.	15
Figura 4.	Caja de derivación.	16
Figura 5.	Desarenador vista superior.	16
Figura 6.	Desarenador vista de perfil.	17
Figura 7.	PTAP de filtración rápida Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela.	17
Figura 8.	Bomba dosificadora de sulfato de aluminio.	18
Figura 9.	Bomba dosificadora de cal.	19
Figura 10.	Filtros vista superior.	20
Figura 11.	Macromedidor electromagnético de 6’’ vista superior.	22
Figura 12.	Macromedidor electromagnético de 6’’ vista de perfil.	22
Figura 13.	Clarificador vista superior.	23
Figura 14.	Lodo encontrado en clarificador.	24
Figura 15.	Mantenimiento de tuberías de distribución de clarificador.	25
Figura 16.	Clarificador después de mantenimiento.	25

Resumen

Este trabajo sobre diagnóstico y mejora del sistema de filtración rápida de la planta de potabilización de la Corporación de Acueducto Multiveredal La Cuarela se realizó a partir de la identificación de procesos sujetos a ser optimizados, además, se establecieron sugerencias para dicho fin. La metodología implementada giró en torno al cumplimiento de los objetivos específicos y constó de tres etapas: en la primera se llevó a cabo la descripción del sistema y recopilación de la información, en la segunda etapa se realizó la elaboración del diagnóstico de la planta de potabilización, en la tercera etapa se diseñaron alternativas de soluciones a las problemáticas encontradas. Lo anterior se realizó con el fin de garantizar la calidad del agua de acuerdo con las normas establecidas en el Decreto 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007.

Introducción

El agua es de vital importancia para los seres humanos, pues se utiliza para diferentes actividades siendo la más apremiante el consumo diario dentro de la dieta, por esta razón es fundamental contar con agua de calidad, que sea potable y apta para la ingesta según las normas vigentes para cada lugar.

En Colombia la normatividad declara que el agua es potable cuando cumple con las características microbiológicas y fisicoquímicas establecidas en la Resolución 2115 de 2007, teniendo en cuenta esto se hace necesario velar por que las condiciones del agua que llega a las diferentes poblaciones sean tratadas de manera adecuada, puesto que de no ser así se podría incurrir en un problema de salud pública, ya que el consumo de aguas contaminadas produce enfermedades que pueden llegar a ser mortales.

En ese sentido, cabe resaltar la importancia de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) que procesan el recurso hídrico para surtir a las comunidades con agua de calidad, apta para el consumo humano, como la PTAP de la Corporación Multiveredal La Acuarela que comenzó operación en el año 1995 con un sistema de filtración por múltiples etapas con un caudal de diseño de 26 L/s y un caudal de operación promedio de 24 L/s, con un máximo de suscriptores de 2600 aproximadamente.

Este acueducto recibió en sus inicios 1350 suscriptores de seis (6) veredas del corregimiento de San Cristóbal: La Palma, El Patio, Travesías, San José, Las Playas y Bellavista. Debido al incremento en demanda de agua a causa del crecimiento y expansión en las diversas veredas, en diciembre de 2018 el acueducto puso en funcionamiento una PTAP de filtración rápida la cual se encuentra conformada por el sistema de captación, aducción, desarenador y un sistema de tratamiento que consta de coagulación, un proceso de clarificación por manto de lodos (floculación-sedimentación), filtración, desinfección, almacenamiento y distribución; ésta tiene un caudal de diseño de 20 L/s y un caudal promedio de operación de 18 L/s, lo que permitió aumentar la capacidad del acueducto para abastecer a más población, alcanzando en la actualidad aproximadamente 4600 suscriptores.

Como en todas las PTAP, en este acueducto multiveredal se requiere hacer un seguimiento de los procesos y actividades que se hacen a diario, con el fin de identificar situaciones que puedan ser optimizadas y así mejorar el rendimiento y la calidad del funcionamiento del sistema.

De esta manera, este informe de práctica plantea la descripción, diagnóstico y sugerencias de posibles alternativas de mejora para los procesos que se llevan a cabo dentro de la PTAP La Acuarela.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Diagnosticar el sistema de filtración rápida de la planta de potabilización del Acueducto Multiveredal La Acuarela con el fin de sugerir mejoras en los procesos de tratamiento de agua.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar los inconvenientes técnicos y operativos que se presentan en la planta de filtración rápida.
- Proponer soluciones que se adapten al sistema de tratamiento de agua potable según las problemáticas identificadas.

2 Marco teórico

El agua potable es un bien vital escaso, se estima que tan solo el 0,4 % del agua del planeta es apta para el consumo humano, por lo cual es fundamental invertir en su potabilización, para asegurar que toda la población tenga acceso a este recurso. Una planta de potabilización son un conjunto de instalaciones que se encargan de efectuar procesos de tratamientos unitarios para purificar el agua de abastecimiento para una población, que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable (Ligardo Moreno, 2019).

En Colombia las PTAP deben garantizar el cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007, la cual estipula que el agua para consumo humano no podrá sobrepasar valores máximos aceptables para parámetros físicos, químicos y microbiológicos, como color aparente, turbiedad, pH, carbono orgánico total, entre otras.

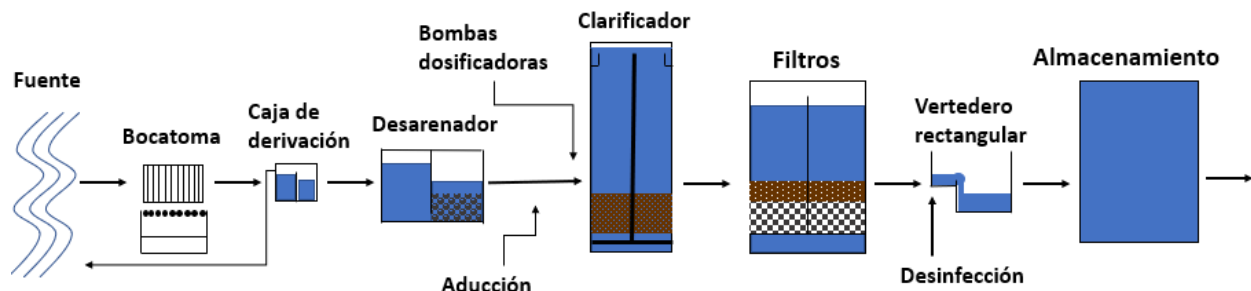
Acorde con el tipo de procesos que se llevan a cabo dentro de una planta de potabilización de agua, podría clasificarse en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta; según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), las plantas de filtración rápida se nombran de esta manera ya que los filtros que las componen funcionan con altas velocidades, es decir, entre 80 y 300 m³/m².d, con base en las características del agua, del

lecho filtrante y de los recursos que se tienen para operar y sostener la planta. Una de las consecuencias de las altas velocidades con las que funcionan estos filtros, es que se colmatan en un tiempo de 40 a 50 horas aproximadamente. En consecuencia, se debe realizar el retrolavado ascensional durante entre 5 a 15 minutos para descolmatar el medio filtrante, devolviéndole su porosidad inicial y reanudando el funcionamiento de la unidad (Canepa de Vargas, 2004).

Las PTAP poseen características tecnológicas que deben existir en consonancia a las necesidades de cada contexto, teniendo en cuenta los recursos humanos y económicos disponibles para su buen desempeño y mantenimiento, tal es el caso de las tecnologías importadas como la de manto de lodos, diferenciada por conjugar procesos como la mezcla rápida, floculación y sedimentación en un solo equipo (Canepa de Vargas, 2004).

Los componentes de la PTAP de filtración rápida del Acueducto Multiveredal la Acuarela, con tecnología de manto de lodos, se presentan en la Figura 1.

Figura 1. *Tren de tratamiento de la PTAP de filtración rápida del Acueducto Multiveredal La Acuarela.*



Las operaciones que componen el tren de tratamiento de la PTAP se describen a continuación:

- Bocatoma:** estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).
- Aducción:** es la tubería que conduce el agua sin tratar desde la cámara de derivación de la bocatoma hasta la planta de tratamiento. Su flujo siempre es por gravedad y va de una cota superior a una cota inferior (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

•**Desarenación:** proceso destinado a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

•**Coagulación:** se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. La coagulación comienza en el mismo instante que en que se agrega el agente coagulante al agua y dura solamente fracciones de segundo (Arboleda, 1992).

•**Clarificación:** en la clarificación se realizan los procesos de floculación y sedimentación en un solo compartimento mediante equipos de manto de lodos, un tipo de clarificadores de contacto de sólidos de flujo ascendente, que ofrecen una tasa de clarificación muy alta en comparación con los floculadores convencionales. Es una unidad de tratamiento que combina la floculación, mediante la aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada, y la sedimentación de sólidos suspendidos por gravedad. La remoción de partículas suspendidas se lleva a cabo mediante una combinación de floculación, adsorción y filtrado a medida que el agua se mueve hacia arriba a través de la capa de lodo (Brighu *et al.*, 2021).

•**Filtración:** proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso. La filtración se puede clasificar en lenta y rápida. El filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control, mientras que la filtración rápida consiste en dos etapas: 1) etapa de filtración, durante la cual las partículas se acumulan en el filtro y 2) etapa de retrolavado, en la cual el material acumulado es retirado del filtro (CONAGUA, 2016).

•**Desinfección:** proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2010).

3 Metodología

La metodología utilizada para el diagnóstico y mejora de la PTAP del Acueducto Multiveredal la Acuarela se llevó a cabo en tres etapas que se presentan a continuación:

3.1 Etapa 1: Descripción

Se realizó una descripción detallada de la PTAP donde va incluida la ubicación, características del tratamiento, operación y mantenimiento, así como información sobre la fuente de abastecimiento, calidad de esta y concesiones.

Además, se realizó la recopilación de toda la información acerca de la PTAP, manuales de operación y mantenimiento, planos, modificaciones en el sistema, químicos utilizados en el tratamiento, caudal tratado, tiempo de operación, suscriptores que abastece, entre otras.

Se elaboró una inspección inicial de la bitácora de los registros de los parámetros fisicoquímicos tomados por los operarios (temperatura, pH, turbiedad y cloro residual libre) con el fin de realizar análisis de la calidad del agua tratada para el cumplimiento de acuerdo con las normas establecidas en el Decreto 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007.

3.2. Etapa 2: Diagnóstico

Se hizo un diagnóstico en el cual se registraron los inconvenientes identificados, se hizo un informe detallado con la descripción de cada unidad del proceso actual de tratamiento de la PTAP de filtración rápida con las modificaciones en el sistema y operación diaria del personal encargado.

3.3. Etapa 3: Alternativas de mejora

Con las problemáticas encontradas en el diagnóstico de la PTAP, se diseñaron mejoras para la optimización de esta, tanto en el sistema operativo, tiempos de mantenimiento, como a nivel de infraestructura; se espera que a futuro dichas mejoras puedan ser aplicadas.

4 Resultados y análisis

Siguiendo las etapas que se establecieron en la metodología, se presentan a continuación los hallazgos obtenidos.

4.1. Descripción

En la recopilación de la información de la PTAP, como los manuales de operación y mantenimiento, planos y hojas de cálculo, se evidencia que, por parte de la empresa encargada en

la entrega de la PTAP a la Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela en el año 2018, únicamente se hizo entrega de manuales de operación y mantenimiento y vistas isométricas de la PTAP (Anexo 1); en estos últimos se muestran válvulas, ubicación de las bombas dosificadoras, tuberías y estructuras principales; sin embargo, no se reflejan las dimensiones. Al solicitar la documentación faltante a la empresa, la respuesta obtenida por parte del ingeniero encargado fue que ésta ya no se encuentra en su base de datos.

Luego de la entrega de la PTAP por parte de la empresa, se presentaron inconvenientes en los filtros, dado que en los tabiques de fibra de vidrio que separaba cada filtro empezaron a presentar fisuras, por lo cual se realizaron modificaciones a estos como la comunicación de los filtros con orificios de 2” y estructuras de refuerzo mediante listones metálicos revestidos en fibra de vidrio puestos de manera horizontal. Por lo anterior, la Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela en el año 2021, se encargó de realizar una actualización y revisión del manual de operación y mantenimiento.

Aspectos generales de la PTAP:

- Nombre de la PTAP: Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela, PTAP de filtración rápida.
- Ubicación de la PTAP: Vereda La Palma, corregimiento de San Cristóbal, municipio de Medellín.
- Veredas que abastece: Bellavista, San José y La Palma.
- Nombre de fuente de abastecimiento: Quebrada San Francisca.

Descripción del tratamiento:

Captación: es un sistema hidráulico tipo presa en concreto, compuesta por una rejilla superior de 69 cm por 73 cm con 14 barras de 1” (Figura 2), además se utiliza una rejilla construida por los operarios para evitar que la hojarasca y las piedras de menor tamaño ingresen al sistema (Figura 3).

Caja de derivación: estructura construida en concreto, diseñada para regular el caudal proveniente de la bocatoma, cuyas dimensiones son 65 cm de ancho, 60 cm de largo y 143 cm de alto, con una tubería de rebose a 46 cm (Figura 4).

Figura 2. *Rejilla de la bocatoma.*



Figura 3. *Rejilla superficial creada por los operarios.*



Figura 4. *Caja de derivación.*



Desarenador: de flujo horizontal de 280 cm de largo, 150 cm de ancho y 180 cm de alto, construida en concreto, sus componentes son: cámara de entrada, pantalla de distribución y cámara de sedimentación (Figuras 5 y 6).

Figura 5. *Desarenador vista superior.*



Figura 6. *Desarenador vista de perfil.*



Aducción: el agua que sale del desarenador es conducida mediante tubería de PVC de 4" a la PTAP.

El sistema de potabilización actual es un sistema de filtración rápida el cual consta de coagulación (mezcla rápida), floculación - sedimentación (clarificación) por medio de la tecnología de manto de lodos, filtración, desinfección y almacenamiento (Figura 7).

Figura 7. *PTAP de filtración rápida Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela.*



La PTAP está diseñada para operar bajo los siguientes parámetros: el proceso de coagulación a partir de la administración de sustancias químicas mediante dos (2) bombas dosificadoras, una (1) bomba de diafragma para aplicación de sulfato de aluminio o agente

coagulante (Figura 8) y una (1) bomba peristáltica para la aplicación de cal o agente alcalinizante (Figura 9), aprovechando el punto de mayor turbulencia y la velocidad de los ductos de entrada.

Seguido de esto, el afluente mezclado con el coagulante ingresa en simultaneo a dos clarificadores a través de tuberías perforadas que conectan al inferior de cada uno de ellos, estas estructuras son circulares y utilizan la tecnología de manto de lodos de flujo ascendente, cada uno de 3 m de diámetro y 5 m de altura y un volumen de 35 m³ aproximadamente, fabricados en plástico reforzado de fibra de vidrio, ambos constan de tres (3) zonas, una inferior para acumulación de lodos decantados, otra intermedia para la formación de un manto de lodos en el cual se llevan a cabo los procesos de floculación y sedimentación; y una zona superior de recolección y salida del agua clarificada por medio de una canaleta periférica alimentada por pequeños vertederos triangulares.

Figura 8. *Bomba dosificadora de sulfato de aluminio.*



Figura 9. *Bomba dosificadora de cal.*



El efluente de los clarificadores se lleva a los filtros (Figura 10) por medio de una tubería de 4" de diámetro; allí las partículas no retenidas en las unidades de anteriores se remueven en el medio filtrante. La PTAP está compuesta por cuatro (4) filtros rápidos autolavantes de tasa declinante y flujo descendente, conformados por gravas de soporte y lechos de arena silíceo y antracita. Cada unidad es de 3,0 m de diámetro y 3,6 m de altura. Sus principales características son:

- Tasa de filtración: 250 m³/m².d
- Altura recta del filtro: 3,6 m
- Presión de diseño: 4 M.C.A.
- Colector de agua filtrada: cámara conectada a falso fondo.
- Lecho filtrante: arena silíceo y antracita.
- Material de soporte: grava y gravilla clasificada.
- Lavado del filtro: contracorriente con presión hidráulica.

El mantenimiento de los filtros se realiza mediante un retrolavado, se efectúa por gravedad invirtiendo el flujo en el lecho filtrante, lavándose una unidad con el agua que producen las otras tres unidades que se encuentran en operación. El objetivo es la eliminación de partículas retenidas en el lecho filtrante durante la carrera del filtro (Mora Bermúdez, 2021).

Figura 10. *Filtros vista superior.*



La dosificación del hipoclorito de sodio se realiza mediante una bomba de diafragma en un vertedero rectangular, allí se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua, que luego es dirigida al tanque de almacenamiento y posteriormente a las redes de distribución.

Diariamente los operadores de planta diligencian un formato en el cual se registran los parámetros fisicoquímicos analizados como lo son temperatura, pH, turbiedad de entrada y salida y cloro. Se realizan dos muestreos al día, una al inicio de la jornada laboral a las 7:30 a.m. y la otra al final del día a las 4:30 p.m. Estos documentos se recopilan en una carpeta llamada “Bitácora de planta”, para realizar una revisión se tomaron dos meses, junio y octubre, representativos de época seca y lluviosa respectivamente. Con estos resultados se hizo un promedio de todos los parámetros presentados en la Tabla 1 y se compararon con los valores permisibles establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 1. *Resultados promedio de los meses de junio y octubre.*

Resultados agua tratada (promedio)						
Mes	Cloro residual libre (mg/L)	Potencial hidrogeno pH	Turbiedad de entrada (UNT)	Turbiedad salida (UNT)	Temperatura (°C)	Caudal entrada (L/s)
Junio	1,07	7,90	1,9	0,56	16,9	19,56
Octubre	1,70	7,49	3,9	0,80	16,3	19,20
Valor admisible (Resolución 2115 de 2007)	0,3 – 2,0	6,5 – 9,0	-	< 2	-	-

Como se observa en la Tabla 1, los parámetros analizados en PTAP están contenidos en el intervalo admisible en la Resolución 2115 de 2007.

4.2. Diagnostico

La evaluación del sistema de potabilización comienza con una inspección inicial desde la captación del agua hasta el proceso de desinfección. Además, los empleados de la PTAP brindaron información del mantenimiento y operación diaria del sistema.

En los recorridos por la PTAP se evidencia que las estructuras, de manera general, están en buen estado, no se encuentran en funcionamiento las bombas dosificadoras de químicos dado que las turbiedades a la entrada son generalmente menores a 4,0 UNT, como se evidencia en la Tabla 1.

A continuación, se describe el estado en el que se encuentra cada componente del tren de tratamiento:

Bocatoma: se encuentra en correcto funcionamiento, aunque las barras se notan deterioradas por el óxido.

Desarenador: se evidencia que el desarenador únicamente tiene dos (2) zonas, las cuales son la cámara de entrada y la cámara de sedimentación con una pantalla deflectora. Se le realiza mantenimiento aproximadamente cada 10 días o cada que lo requiera por efectos ambientales.

En la entrada de la PTAP se encuentra el macromedidor electromagnético de 6’’ del caudal de entrada (Figuras 11 y 12), seguido de esto se encuentran las tuberías de entrada del agua a los clarificadores, las bombas dosificadoras no están en uso dado que no se presentan turbiedades superiores a 4,0 UNT y el pH se encuentra en el intervalo permitido en la normativa vigente. Como no se realiza dosificación de coagulante, no se da el desarrollo del manto de lodos en el clarificador,

por lo cual el agua en esta estructura solo circula, pero no se dan los procesos de floculación ni sedimentación.

Figura 11. *Macromedidor electromagnético de 6'' vista superior.*



Figura 12. *Macromedidor electromagnético de 6'' vista de perfil.*



Posteriormente, el efluente de los clarificadores es conducido a los filtros y luego a un vertedero rectangular en el cual se aprovecha la turbulencia de salida del agua para aplicar la

dosificación del hipoclorito de sodio utilizado como desinfectante; por último, el agua es conducida al tanque de almacenamiento.

En esta inspección, se realizó un vaciado por primera vez del clarificador B (Figura 13), con el objetivo de conocer su estructura interna, ya que no se cuenta con planos de este. Con la ayuda de los operarios de planta, se vació el agua en su totalidad y se encontró lodo muy compacto a una altura aproximada de 80 cm respecto al piso, a este lodo se le realizó un análisis visual y se evidenció que estaba compuesto en su mayoría por arenas de diferentes granulometrías (Figura 14).

Figura 13. *Clarificador vista superior.*



Figura 14. *Lodo encontrado en clarificador.*



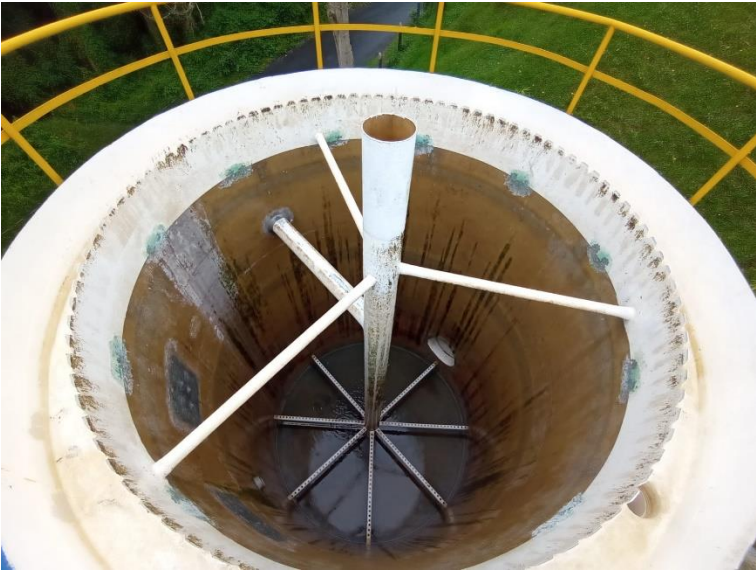
Respecto a los hallazgos a nivel de estructura del clarificador, se encontraron 8 tuberías de distribución de 2" con 26 orificios de ½" y una tubería de purga de lodos a 7,0 cm del fondo. Además, se llevó a cabo una inspección de las tuberías de distribución del agua dentro del mismo y se evidenció que dichas tuberías contaban con los orificios hacia arriba, lo que propicia que los orificios se obstruyan con el lodo y no se dé un flujo uniforme en esta estructura (Figuras 15 y 16). Con lo anterior se deduce que el desarenador existente no cumple a cabalidad con su función y, en consecuencia, las partículas suspendidas en el agua que no alcanzan a sedimentar en esta estructura y logran llegar al clarificador se decantan allí generando este lodo.

Respecto a los filtros, los operarios precisaron que realizan el retrolavado de 2 a 3 veces al día dado que se colmata con facilidad; sin embargo, esto no le aporta eficiencia al sistema, dado que se debe sacar de funcionamiento la planta aproximadamente una hora por cada mantenimiento, adicionalmente la pérdida del agua en esta operación es muy elevada.

Figura 15. *Mantenimiento de tuberías de distribución de clarificador.*



Figura 16. *Clarificador después de mantenimiento.*



Para la optimización del sistema de tratamiento se le sugiere a la Corporación de Acueducto Multiveredal La Cuarela tres (3) diferentes alternativas para la solución de las problemáticas encontradas.

Alternativa 1:

La construcción de un desarenador adecuado para el caudal captado y óptimo para el tratamiento de potabilización llevado a cabo, cuyas memorias de cálculo y diseño se dejan como anexos (Anexos 2 y 3), con el fin de que las arenas que no están quedando sedimentadas en el desarenador actual no lleguen a los clarificadores. Además, se recomienda la implementación coagulante para el desarrollo del manto de lodos. Para el desarrollo del manto de lodos se recomienda aprovechar las turbiedades que se presentan en época de lluvia, realizar una prueba de tratabilidad del agua con un test de jarras con los implementos que se tienen en el laboratorio de la PTAP para hallar la dosis óptima de este, posteriormente continuar con el adecuado uso del coagulante y la purga de lodos que se recomienda en el manual de operación y mantenimiento. Para los filtros se sugiere que se independice cada filtro desde el falso fondo incluidas las aberturas que realizó la empresa diseñadora, además, con el objetivo de que a la hora de realizar el retrolavado el lecho se pueda expandir y pueda seguir con su operación sin que se colmate.

Alternativa 2:

Como se evidencia en las bitácoras de los parámetros fisicoquímicos analizados en la PTAP, la turbiedad promedio es inferior a 4,0 UNT, por lo cual no se presentan condiciones favorables para el desarrollo del manto de lodos. Por lo anterior, se concluye que hubo una mala selección de tecnología por parte de la empresa diseñadora. En consecuencia, se recomienda el uso de las estructuras de clarificación como desarenadores para que las arenas que no alcanzan a sedimentar en el desarenador utilizado puedan decantar en esta estructura sin que pasen a los filtros y los colmate; es de gran importancia tener en cuenta que los a los clarificadores se les debe realizar mantenimiento periódico. Para los filtros se sugiere la modificación de la alternativa 1.

Alternativa 3:

Realizar la construcción del desarenador mencionado en la alternativa 1, sacar de funcionamiento las dos unidades de clarificación existentes, implementar una filtración directa y

realizar una evaluación del proceso para verificar si es necesario el uso de coagulante. Igualmente se recomienda realizar la modificación en los filtros mencionada en la alternativa 1 para su correcto funcionamiento.

6 Conclusiones

Con la realización de este informe de prácticas en La Corporación de Acueducto Multiveredal La Acuarela se puede establecer que la PTAP cumple con los parámetros legales vigentes para el suministro de agua potable a la población de las veredas La Palma, El Patio, Travesías, San José, Las Playas y Bellavista del corregimiento de San Cristóbal.

Aunque la PTAP está diseñada para trabajar con la tecnología de manto de lodos, esta no se utiliza, puesto que en primera instancia el agua que llega de la fuente de abastecimiento tiene muy buena calidad; por otro lado, utilizar este sistema representa un alto costo económico, ya que se necesitan sustancias químicas y energía eléctrica para las bombas dosificadoras y por último, el personal encargado de las operaciones no cuenta con la capacitación pertinente para el manejo de esta tecnología.

Por lo anterior, es de gran importancia una correcta selección de la tecnología que se va a implementar en el tratamiento del agua teniendo en cuenta el recurso humano, económico y las necesidades del contexto en el que se vaya a instalar la PTAP, puesto que se vuelve ineficiente sin los mantenimientos y operación adecuados, generando desgastes y problemáticas a futuro.

Referencias

- Arboleda Valencia, J. (1992). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill. <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/teoria.pdf>
- Brighu, U. & Choudhary, A. (2021). Experimental investigation and modelling the effect of humic acid on coagulation efficiency for sludge blanket clarifier. *Chemosphere*, 266, 128958. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128958>
- Cánepa de Vargas, Lidia (2004). *Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Plantas de Filtración Rápida*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú, 2004. www.bvsde.ops-oms.org.
- Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización* / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.
- Comisión Nacional De Agua: CONAGUA. (2016). https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202016.%20Dise%C3%B1o%20de%20plantas%20potabilizadoras.pdf
- Empresas Públicas de Medellín. (2010). EPM. https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/manuales/522201Manual_Referenciacion07_09_2010.pdf
- Ligardo Moreno, A. E. (2019). *Diagnóstico planta de tratamiento de agua potable, desde su punto de captación hasta la red de distribución, en el municipio de El Castillo, departamento del Meta*. [Trabajo de grado]. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Mora Bermúdez, E. (2021). *Manuales de operación y mantenimiento de las plantas de potabilización de La Corporación Acueducto Multiveredal La Acuarela*. Corporación Acueducto Multiveredal La Acuarela.
- Vargas, L. (s.f). Capítulo 3 - Procesos unitarios y plantas de tratamiento. p. 105. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf>

Anexos

Anexo 1. Isométricos entregados a la PTAP.

Figura A1. Vista isométrico 1.

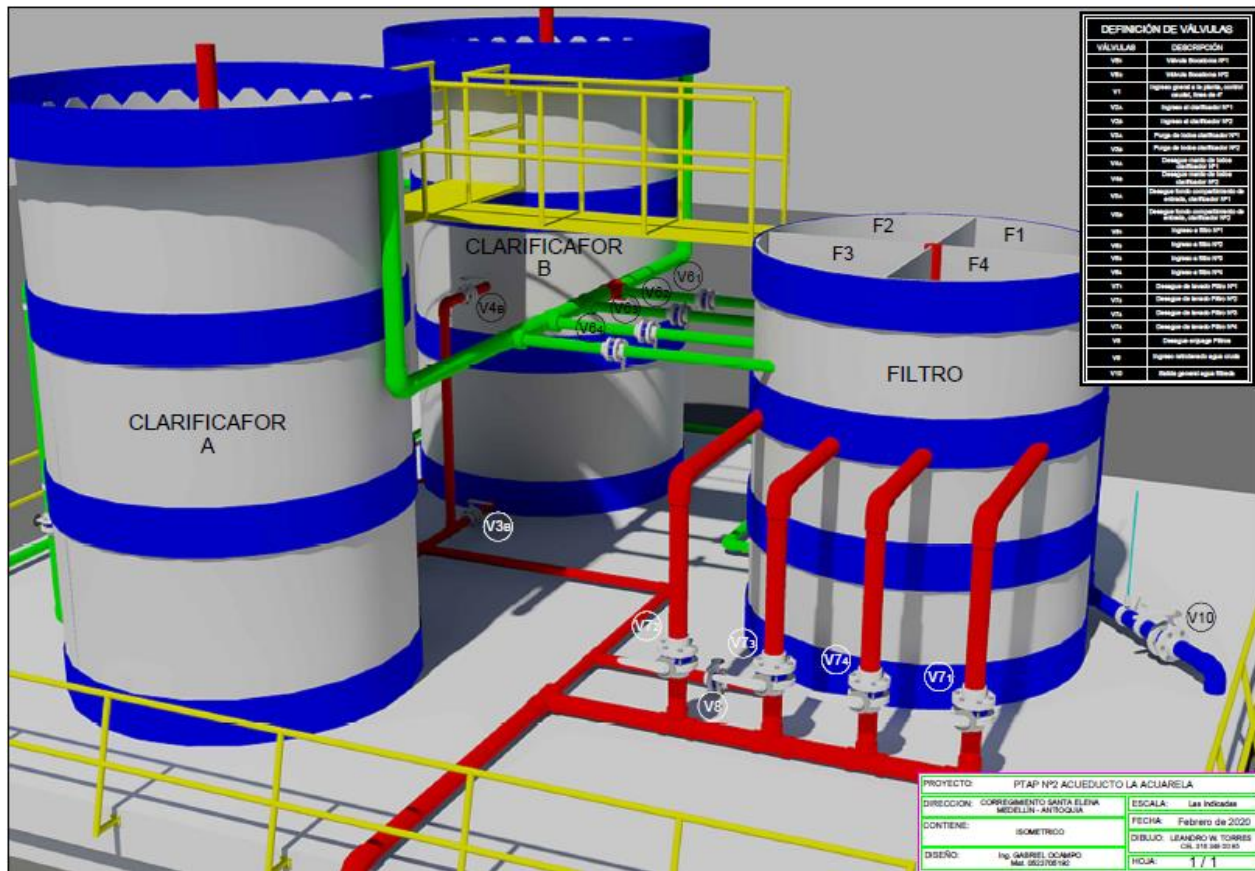


Figura A2. Vista isométrico 2.

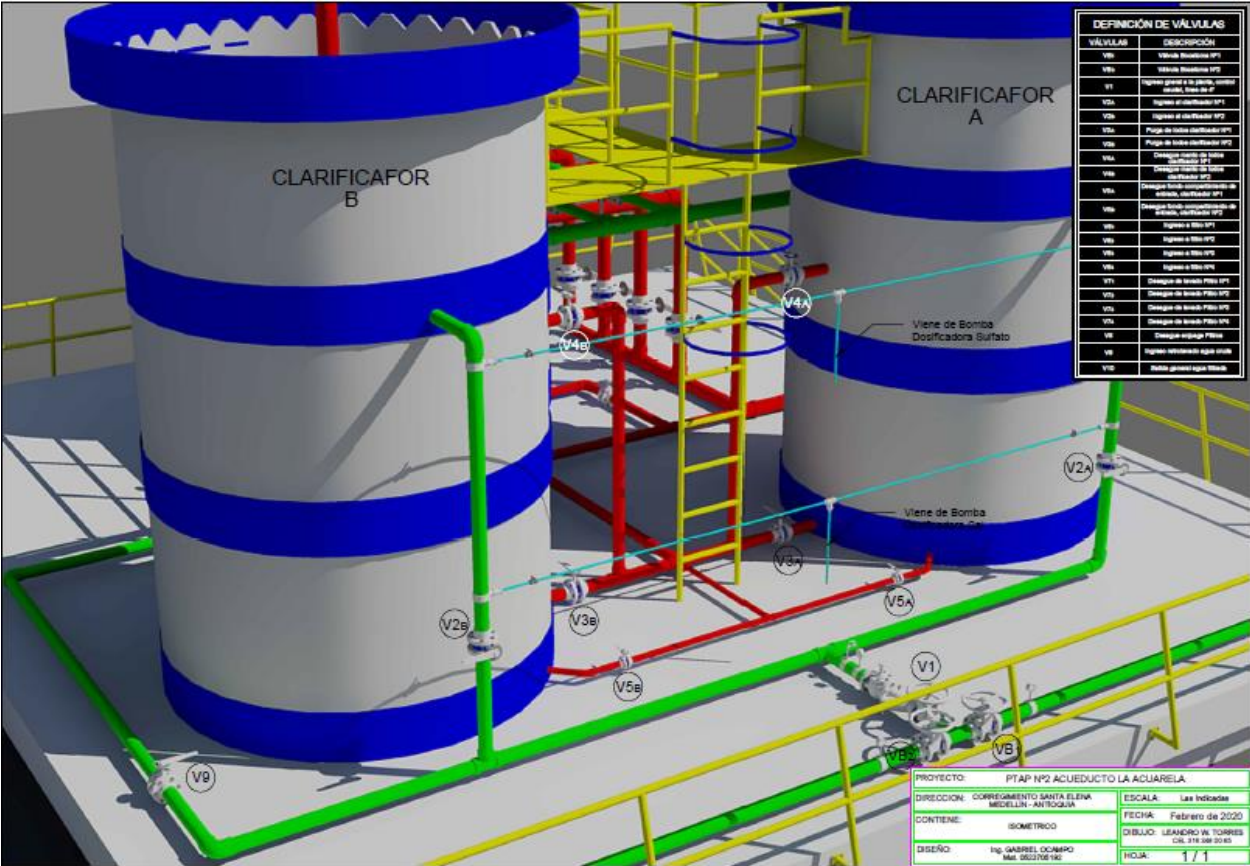
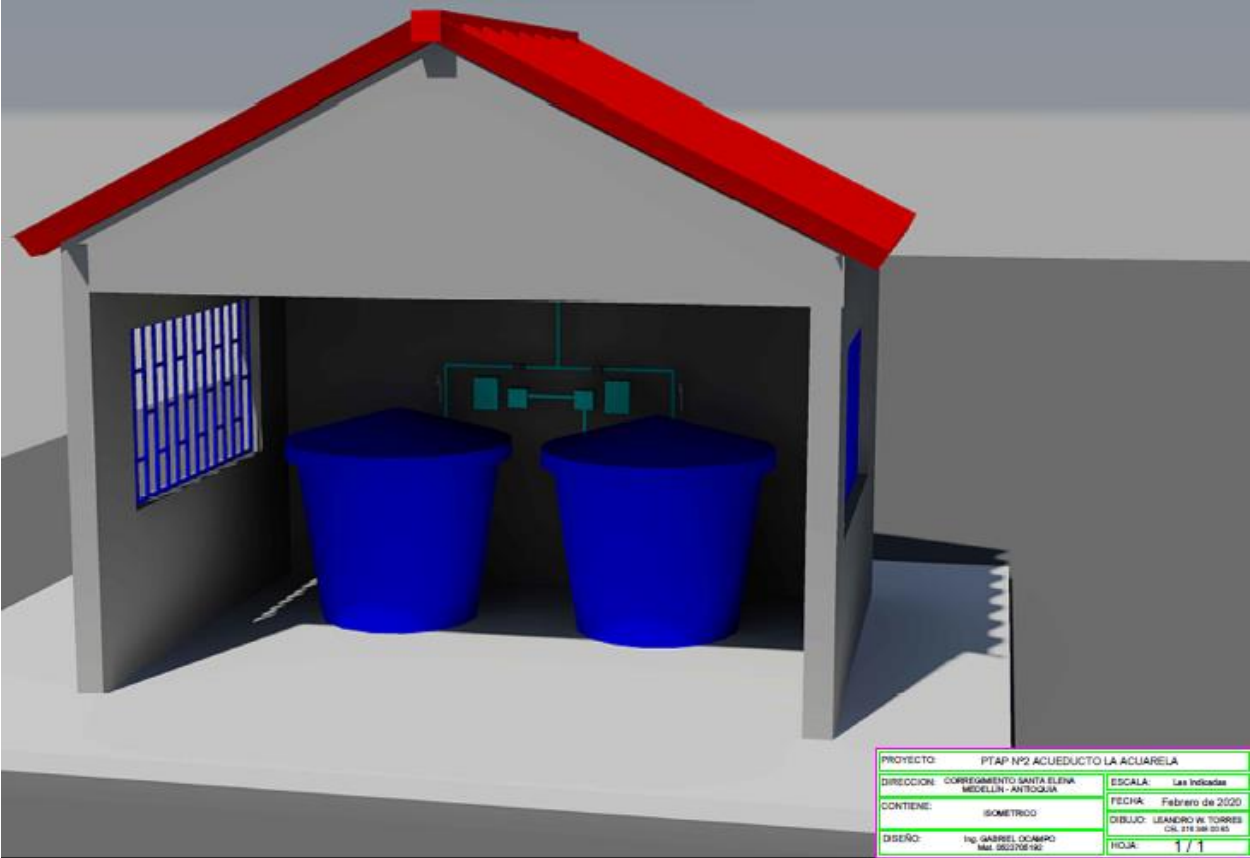


Figura A3. Vista isométrico 3.



Anexo 2. Memoria de cálculo desarenador.

Tabla A1. *Datos iniciales y observaciones.*

Datos iniciales		Unidades	Observaciones
Caudal de diseño	20	L/s	Caudal de diseño de la PTAP
	1728	m ³ /día	
Diámetro de la partícula a remover	0,00010	m	Tomado de Resolución 0330 de 2017 (RAS)
Sedimentar el 87,5% de la partícula			-
Viscosidad del agua a 10 °C	1,31x10 ⁻⁶	m ² /s	-
Peso específico de la partícula	2.65	g/cm ³	Tomado de Resolución 0330 de 2017 (RAS)
Temperatura del agua	15	°C	-
Viscosidad del agua a 18 °C	1,14 x10 ⁻⁶	m ² /s	-
Aceleración de gravedad	9,81	m/s ²	-

Tabla A2. *Cálculos para la zona de sedimentación observaciones.*

Cálculos zona de sedimentación		Unidades	Observaciones
Velocidad de sedimentación V _s	0,007895	m/s	-
Reynolds	0,693	< 1	Flujo laminar dado que es <10
Profundidad sedimentador	1,50	m	Se encuentra entre 1,5 y 4,0
Tiempo teórico de sedimentación T _{ts}	190,0	s	-
a/T _{ts}	2,75	-	Coefficiente para buenos deflectores y una remoción del 87.5%
Tiempo de detención hidráulico TDH	522,5	s	Cumple RAS articulo 55 pero se toma 10 min como mínimo por RAS Rural para que se pueda adaptar al sistema
	8,7	min	
Tiempo de detención hidráulico adoptado TDH	10,0	min	Asumido
Volumen zona de sedimentación	12,0	m ³	-
Área superficial	8,0	m ²	-
Relación B/L	0,20	-	Puede estar entre 1/3 - 1/5
Ancho	1,27	m	-

Longitud	6,30	m	-
Carga hidráulica superficial (CHS)	216	m ² /día	<80
Velocidad horizontal V _h	0.010499	m/s	Debe cumplir: 1. < 0.25 m/s 2. <a 20V _s 3. < V _r V _h cumple condición 1
Chequeo velocidad horizontal	0.157904	m/s	V _h cumple condición 2
K arena	0.04	-	-
F arena	0.024	-	-
Velocidad de arrastre V _r	0.146908	m/s	V _h cumple condición 3

Tabla A3. Cálculos para el canal de entrada y observaciones.

Cálculos canal de entrada		Unidades	Observaciones
Profundidad, h	0,50	m	-
Ancho, b	0,64	m	-
Cd	0,61	-	-
Altura lámina de agua H	0,10	m	Asumido
Longitud vertedero de excesos	1,04	m	Considerando que vierte por un solo lado
Longitud 1 solo vertedero de excesos	0,52	m	Considerando que verte por ambos lados
Longitud de vertedero a pantalla deflectora	1,57	m	-
Ancho	1,27	m	-

Tabla A4. Cálculos para la pantalla deflectoras y observaciones.

Cálculos pantalla deflectora		Unidades	Observaciones
Espesor	0,15	m	Asumido
Número de columnas	7,44		
Número de filas	4,2		Considerando que la distancia entre cada orificio es de 0.25 m
Número de orificios totales	32		Se toman 8 columnas y 4 filas
Diámetro orificios	0,09	m	-
Área de orificios	0,20	m ²	-
Velocidad de paso	0,098	m/s	Cumple < 0,10 m/s
Distancia entre pared y primer orificio	0,11	m	-

Tabla A5. *Cálculos para la zona y pantalla de salida y observaciones.*

Cálculos zona de salida		Unidades	Observaciones
Longitud del vertedero, L_v	1,27	m	-
Lámina de agua, H_v	0,087	m	-
Distancia zona de salida (a vertedero)	1,310	m	Esta longitud es de 15 H_v
Velocidad	0,180	m/s	-
Proyección chorro después del vertedero, X_s	0,264	m	-
Longitud zona de salida	0,50	m	-
Cálculos pantalla de salida		Unidades	
Profundidad	0,75	m	-
Ubicación	1,31	m	-

Tabla A6. *Cálculos para la zona de lodos y observaciones.*

Cálculos zona de lodos		Unidades	Observaciones
Longitud zona de lodos	7,89	m	-
Longitud desde la entrada, L_1	2,63	m	Esta longitud es igual a $L/3$
Longitud desde la entrada, L_2	5,26	m	Esta longitud es igual a $2L/3$
Pendiente losa fondo	8%		Esta pendiente puede variar entre 5% y 8%
Profundidad zona L_2 , H_2	0,21	m	-
Profundidad zona L_1 , H_1	0,42	m	-
Área	1,66	m^2	Se calcula con la altura más baja, en este caso con H_1
Volumen zona de lodo	2,11	m^3	Este volumen debe ser mayor al 10% del volumen de la zona Cumple
Volumen sedimentador	12,00	m^3	-
10% Volumen sedimentador	1,20	m^3	Volumen zona de lodos > 10% volumen sedimentador (cumple)

Tabla A7. *Calculo de las perdidas en el desarenador y observaciones.*

Pérdidas desarenador		Unidades	Observaciones
K	0.2	-	-
V1	10.19	m/s	-
V2	0.47	m/s	-
H _{f1}	1.06	m	Pérdidas a la entrada
K	0.2	-	-
V1	0.472	m/s	-
V2	0.010	m/s	-
H _{f2}	0.0023	m	Pérdidas entre zona de entrada y de sedimentación)
H _{f3}	0.00107	m	Pérdidas pantalla deflectora
H _{f4}	0.08735	m	Pérdidas pantalla de salida
H _{f5}	0.100	m	Pérdidas vertedero de salida

Anexo 3. Planos de desarenador.

Figura A4. Plano desarenador vista en perfil.

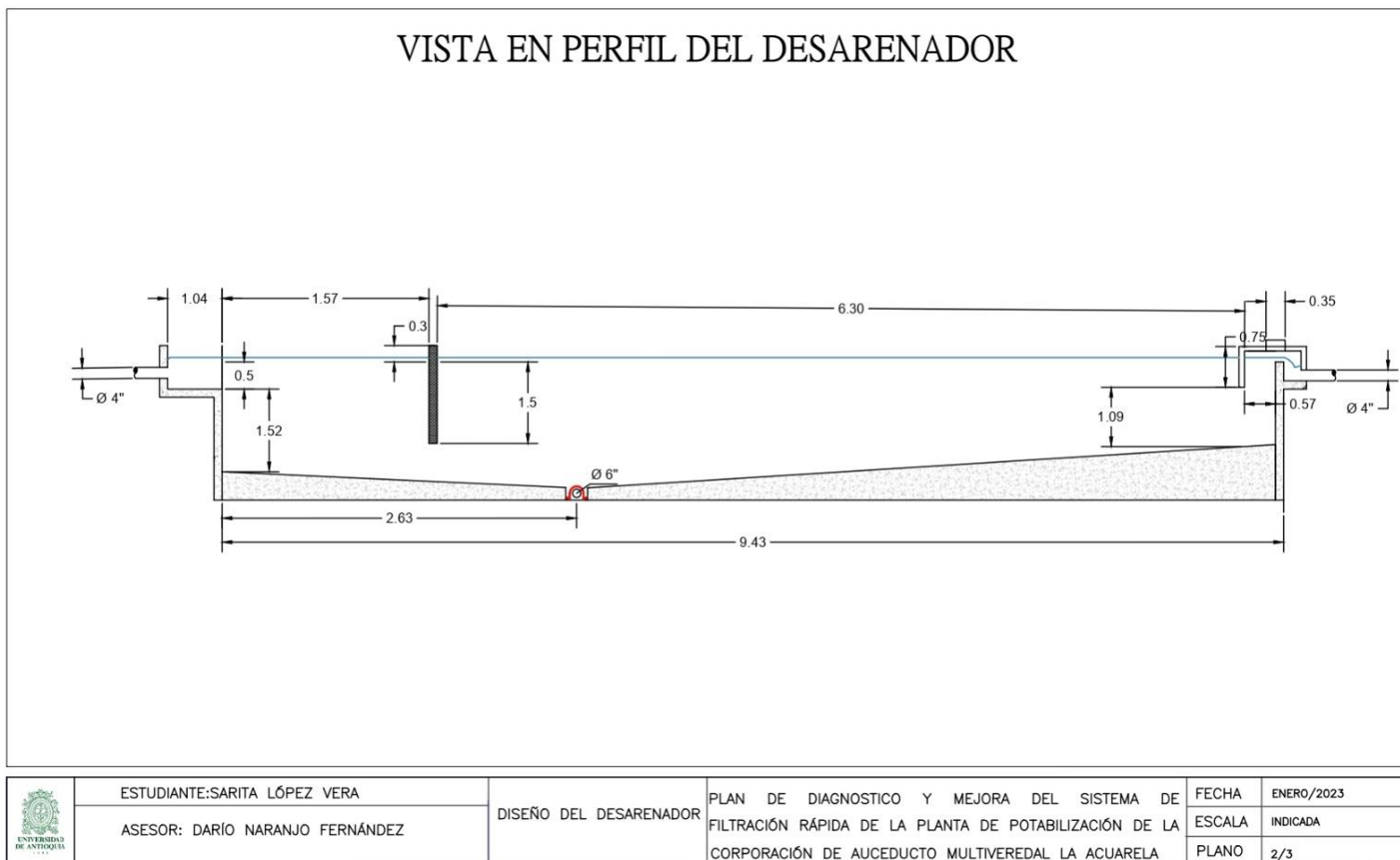
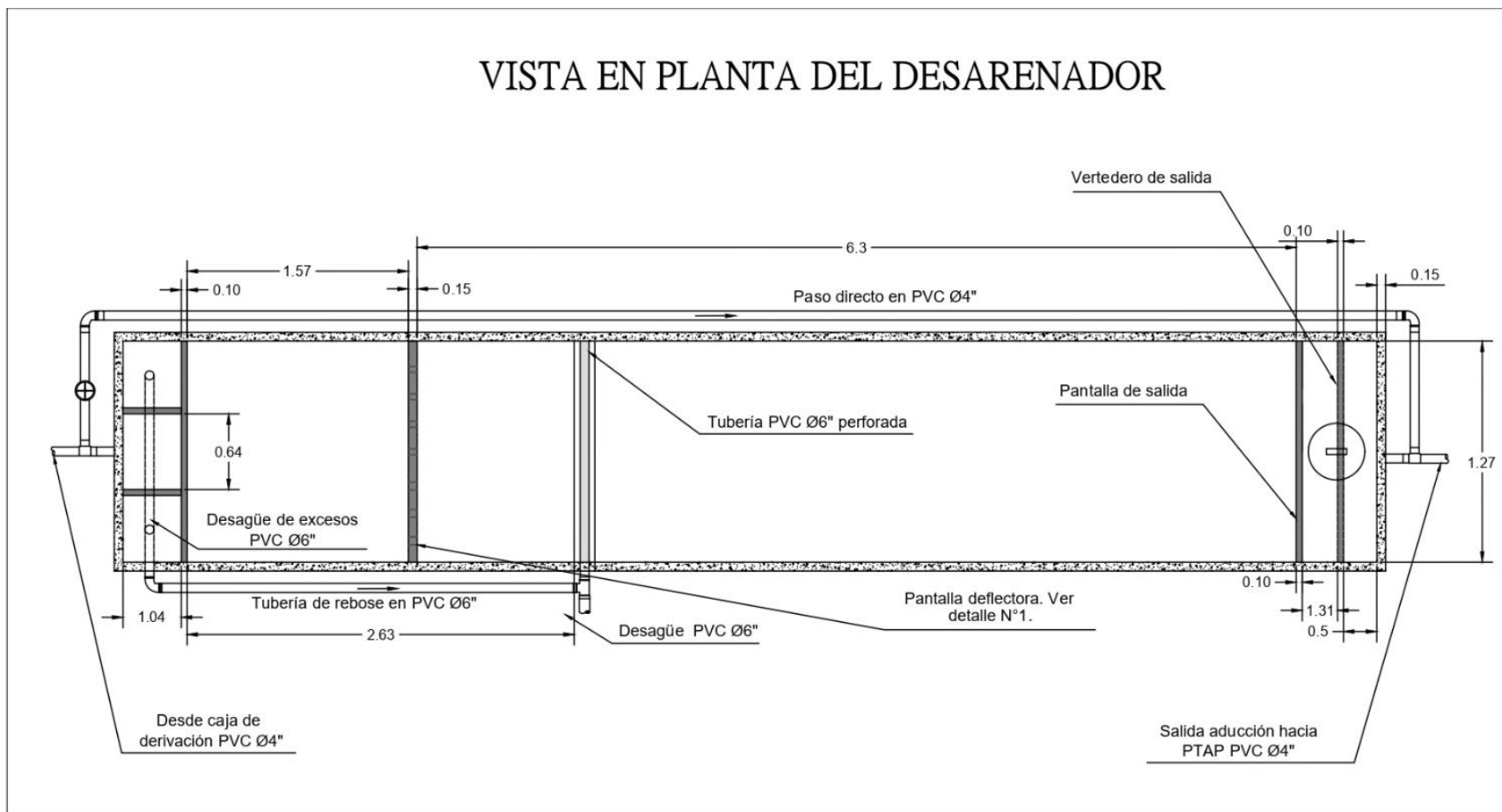


Figura A5. Plano desarenador vista en planta.




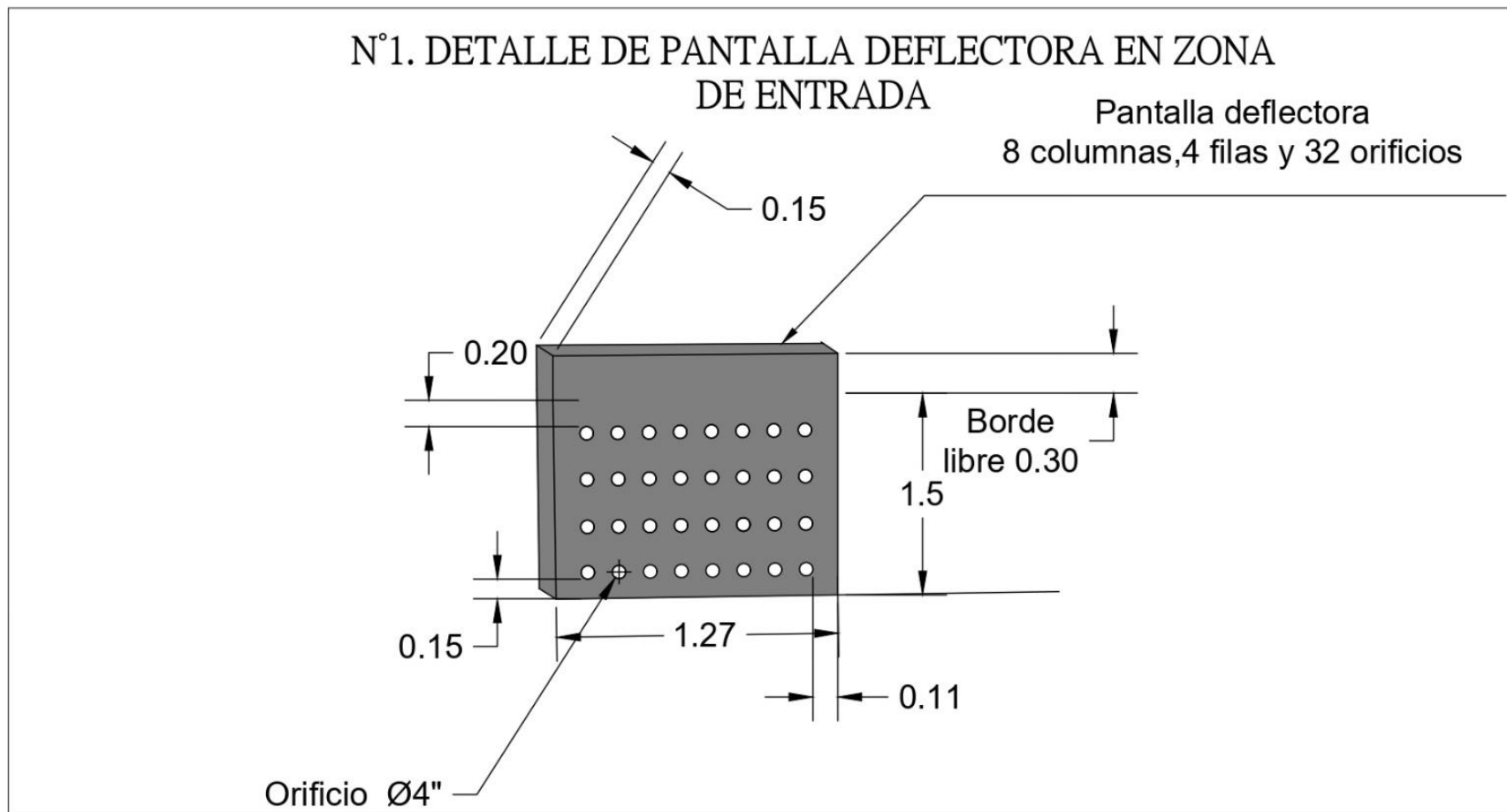

 UNIVERSIDAD DE ANTOQUIA	ESTUDIANTE: SARITA LÓPEZ VERA	DISEÑO DEL DESARENADOR	PLAN DE DIAGNOSTICO Y MEJORA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN RÁPIDA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CORPORACIÓN DE AUCEDUCTO MULTIVEREDAL LA ACUARELA	FECHA	ENERO/2023
	ASESOR: DARÍO NARANJO FERNÁNDEZ			ESCALA	1:91
				PLANO	1/3

Figura A6. Plano detalle de la pantalla deflectora en la zona de entrada.



	ESTUDIANTE: SARITA LÓPEZ VERA	DISEÑO DEL DESARENADOR	PLAN DE DIAGNOSTICO Y MEJORA DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN RÁPIDA DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DE LA CORPORACIÓN DE AUCCEDUCTO MULTIVEREDAL LA ACUARELA	FECHA	ENERO/2023
	ASESOR: DARÍO NARANJO FERNÁNDEZ			ESCALA	INDICADA
				PLANO	3/3