

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN
DE AGUA DEL MUNICIPIO DE ZIPACON(CUNDINAMARCA)**

Fabian Camilo Alarcón Mariño

Nicolas Molina Cely

**Trabajo de grado
para optar para el título Ingeniero Civil**



Dirigido por:

Fabio Eduardo Diaz López

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.**

2021

Tabla de contenido

TABLA DE CONTENIDO.....	2
LISTA DE TABLAS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
5. MARCO REFERENCIAL.....	11
5.1. PROCESOS UNITARIOS.....	12
5.2. INFORME GENERAL DEL MUNICIPIO.....	14
5.3. CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y RELIEVE.....	15
5.4. VÍAS.....	16
5.5. SERVICIOS PÚBLICOS ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO.....	17
6. RESULTADOS.....	18
6.1. INFORMACIÓN ADQUIRIDA.....	18
6.2. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS UNITARIOS.....	20
6.3. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL ESTADO DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP.....	24
6.4. OBSERVACIONES GENERALES.....	32
6.5. ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP.....	37
6.6. EVALUACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE LA PTAP.....	43
6.7. PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA DETERMINAR PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA DE LA PTAP.....	57

6.8.	ANÁLISIS DEL AGUA.....	58
6.9.	FILTRO A UTILIZAR.....	61
6.10.	ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL MUNICIPIO	62
6.11.	DOTACIÓN.....	70
7.	CONCLUSIONES.....	75
8.	REFERENCIAS.....	76

Lista de Tablas

TABLA 1 PUNTOS GPS CONVERTIDOS, PTAP DE ZIPACÓN.....	19
TABLA 2 NOMENCLATURA, VARIABLES DE LOS FLOCULADORES.....	39
TABLA 3 NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS FLOCULADORES.....	39
TABLA 4 NOMENCLATURA, VARIABLES DEL SEDIMENTADOR	40
TABLA 5 DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR Y TUBERÍA EN FORMA DE PANAL	41
TABLA 6 DIMENSIONES DE LOS FILTROS	42
TABLA 7 NOMENCLATURA, VARIABLES DE LOS FILTROS.....	42
TABLA 8 DIMENSIONES DEL FONDO DE LECHO.....	42
TABLA 9 NOMENCLATURA, VARIABLES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	43
TABLA 10 DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	43
TABLA 11 DIMENSIONES DE CANALETA SEGÚN ANCHO DE GARGANTA.....	45
TABLA 12 VALORES DE N Y K SEGÚN GARGANTA (W).....	46
TABLA 13 RESULTADOS LABORATORIO CALIDAD DEL AGUA, PUNTO DE TOMA ENTRADA PTAP DEL 18 DE NOV DE 2020	59
TABLA 14 CENSOS POBLACIÓN DE ZIPACÓN	62
TABLA 15 PROYECCIÓN DE POBLACIÓN PARA EL AÑO 2043 POR LOS MÉTODOS ARITMÉTICO, GEOMÉTRICO Y EXPONENCIAL	66
TABLA 16 DINÁMICA POBLACIONAL CON RESPECTO AL SITIO DE TRABAJO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA	68
TABLA 17 POBLACIÓN FLOTANTE Y PROYECCIÓN DE POBLACIÓN POR MÉTODOS ARITMÉTICO GEOMÉTRICO Y EXPONENCIAL.....	69
TABLA 18 DOTACIÓN NETA MÁXIMA POR HABITANTE SEGÚN LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	71
TABLA 19 CAUDAL MEDIO DIARIO, MÁXIMO DIARIO Y MÁXIMO HORARIO PARA CADA UNO DE LOS AÑOS PROYECTADOS 2018- 2043.....	74

Lista de Figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZIPACÓN	14
FIGURA 2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS ZIPACÓN Y ALREDEDORES	15
FIGURA 3. CORTE TOPOGRÁFICO EJE OCCIDENTE-ORIENTE A PARTIR DE VISUALIZACIÓN DE GOOGLE EARTH	16
FIGURA 4. VÍAS PRINCIPALES DEL MUNICIPIO DE ZIPACÓN	17
FIGURA 5. ESQUEMA DE ABASTECIMIENTO ZIPACÓN	18
FIGURA 6. VISTA DE PUNTOS GPS PTAP DE ZIPACÓN	19
FIGURA 7. ESTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	21
FIGURA 8. PTAP LA VEDRA.....	22
FIGURA 9. TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y CÁMARA DE FILTROS.....	23
FIGURA 10. DESINFECCIÓN.....	24
FIGURA 11. CANALETA PARSHALL.....	25
FIGURA 12. ESTABILIZACIÓN.....	26
FIGURA 13. FLOCULADORES TIPO COX.....	27
FIGURA 14. SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	28
FIGURA 15. FILTRACIÓN	28
FIGURA 16. CLORACIÓN	29
FIGURA 17. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	30
FIGURA 18. TURBIDÍMETRO PTAP ZIPACÓN	30
FIGURA 19. COLORÍMETRO PTAP ZIPACÓN.....	31
FIGURA 20. PHMETER PTAP ZIPACÓN	32
FIGURA 21. ELEMENTOS CORROÍDOS PTAP ZIPACÓN	33
FIGURA 22. GRIETAS PTAP ZIPACÓN	34
FIGURA 23. GRIETAS Y MOHO.....	35
FIGURA 24. LIBRETA DE DATOS PTAP ZIPACÓN	36

FIGURA 25. LABORATORIO PTAP ZIPACÓN	37
FIGURA 26. ESQUEMA DE CANALETA PARSHALL.....	38
FIGURA 27. ESQUEMA SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	40
FIGURA 28. ESQUEMA FILTRO RÁPIDO.....	41
FIGURA 29. ESQUEMA CANALETA PARSHALL.....	44
FIGURA 30. CENSOS DE POBLACIÓN ZIPACÓN	63
FIGURA 31. PROYECCIÓN POBLACIÓN DE 2018 A 2043 PARA LOS MÉTODOS GEOMÉTRICO ARITMÉTICO Y EXPONENCIAL.....	67

1. Introducción

En Colombia existen gran cantidad de municipios que aún no cuentan con un sistema de potabilización de agua, como también hay una gran mayoría que cuenta con un sistema obsoleto o con gran cantidad de fallas. La calidad del agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra; por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la calidad del agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. (Romero Rojas ,1999, p.15)

Es por esto que el objetivo principal de este proyecto es realizar el diagnóstico y evaluación técnica de la planta de potabilización de agua del municipio de Zipacón (Cundinamarca), encontrando así los puntos críticos de esta y los diferentes factores que se podrían mejorar, para así poder brindar un excelente servicio a la comunidad.

Actualmente Zipacón cuenta con una PTAP que ha prestado un servicio oportuno, sin embargo, el sistema de tratamiento implementado podría ser optimizado, mejorando no solo la calidad de vida de los habitantes, sino también evitando gastos innecesarios haciendo un buen uso del recurso consiguiendo que cuenten con un sistema de agua potable que perdure en el tiempo y tenga la capacidad de abastecer el municipio con la mejor calidad de agua.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Hacer el diagnóstico y evaluación técnica de la planta de potabilización de agua “La Vedra” en el municipio de Zipacón (Cundinamarca), para determinar la eficiencia de procesos y operaciones, de acuerdo con las normas vigentes, y así dar cumplimiento al objetivo No.6 de los ODS (objetivos del Desarrollo sostenible) agua potable y saneamiento básico.

2.2. Objetivos Específicos

- Evaluar los procesos y operaciones existentes en la planta, de acuerdo al reglamento técnico sobre agua potable y saneamiento RAS 2000 Decreto 30
- Determinar la calidad del agua de acuerdo con los parámetros físicos-químicos y microbiológicos, del agua cruda y tratada (entrada y salida de la planta). Para comparar el grado de cumplimiento de los requisitos de tratamiento y determinar si es apta o no para consumo humano
- Verificar y revisar los planos y cálculos de diseño de la planta

3. Justificación

El agua es el elemento más importante para los seres humanos, ya que contribuye al bienestar y desarrollo del mismo. Por tal motivo es de vital importancia asegurar su calidad, evitando así la propagación de enfermedades que pueden ser un agravante para la salud, por otra parte, el agua que es para consumo humano debe pasar por distintos procesos que permitan mitigar los efectos dañinos que pueda causar.

La planta de tratamiento de agua potable “La Vedra” actualmente tiene una deficiencia en el programa de gestión de calidad del agua presentado por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios y EMPRESA DE ACUEDUCTO ALCANTARILLADO ASEO Y SERVICIOS COMPLEMENTARIOS DE ZIPACÓN SAS ESP, además, presenta condiciones estructurales críticas, que generan problemas para el desarrollo de los procesos de potabilización, de tal manera que se pretende evaluar su rendimiento, así como también comprobar la calidad del agua que se está proporcionando a la población, dando como resultado una mejora al servicio que presta la empresa.

4. Planteamiento del problema

Actualmente la planta de tratamiento de agua potable VEDRA (PTAP VEDRA) del municipio de Zipacón (Cundinamarca), se encuentra en condiciones poco favorables, ya que está incumpliendo en el reglamento de agua potable y saneamiento (RAS), esto generado por:

“condiciones estructurales muy críticas que ponen en riesgo su funcionamiento, además el tratamiento que se desarrolla en la misma no es el más adecuado puesto que la dosificación del cloro se hace en el canal de entrada y no en el vertedero de salida como debería ser, y el mantenimiento y lavado de los filtros no se hace desde hace varios años debido al deterioro del sistema de válvulas; por otra parte se requiere la optimización del sistema de coagulación y del sistema de floculación, de este último proceso es necesario redimensionar los oficios de interconexión entre las cámaras del floculador para garantizar gradientes que además de estar en el rango establecido por el RAS, tengan una disminución paulatina o lineal, garantizando la adecuada formación de flóculos” (López, 2018, p. 30).

En general presenta deficiencias en su administración: estructurales, de mantenimiento, de diseño y dirección, lo que puede causar a futuro: Enfermedades por contaminación química, física y biológica y que la población del municipio se pueda enfermar y en casos extremos morir. La pregunta principal que surge como estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, es ¿Cómo se puede mejorar el funcionamiento de la PTAP la Vedra, para poder cumplir con la reglamentación establecida por el RAS (resolución 0330 de 2017) y

así poder brindar un buen servicio de agua potable para toda la comunidad del municipio de Zipacón (Cundinamarca)?

5. Marco Referencial

Existen distintos tipos de equipos e instalaciones para la potabilización del agua, que se diseñan según las características de la fuente hídrica y de la población que se quiera abastecer, de tal manera que sus procesos y su capacidad estructural y operativa puede variar. Con respecto al cumplimiento de la normativa, en general “Se evalúa mediante el contraste del resultado de las muestras y análisis de calidad de agua y se cuantifica por el porcentaje de habitantes servidos que reciben agua en las condiciones establecidas en la normativa aplicable.” (Krause, 2015, p.29), así mismo la calidad del agua es determinada mediante parámetros físico químicos, microbiológicos y organolépticos.

Entre las propiedades físicas del agua tenemos la turbiedad, el color, la transparencia, el olor y el sabor y para las propiedades químicas encontramos la alcalinidad y la acidez las cuales tienen la capacidad amortiguadora al agua, el pH, la dureza, el cloro residual y los sulfatos. Los procesos comunes para la desinfección y potabilización del agua se encuentran como aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección la cual se hace por medio de cloración y por último la distribución.

5.1. Procesos unitarios

- **Coagulación**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. En consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos (Andía, 2000, p.9).

- **Floculación**

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar (Andía, 2000, p.33).

- **Aireación**

La aireación es un proceso de tratamiento en el que el agua entra en contacto con el aire con el propósito primordial de incrementar su contenido de oxígeno. Al tener un mayor contenido de oxígeno: se eliminan las sustancias volátiles, como el sulfuro de hidrógeno y el

metano, que afectan el sabor y el olor; se reduce el contenido de dióxido de carbono del agua, y se oxidan los minerales disueltos, como el hierro y el manganeso, para que formen precipitados, que se pueden retirar por decantación y filtración (OPS y OMS, 2009, p.1).

- **Sedimentación**

La sedimentación es el proceso por el cual se remueven las partículas sólidas contenidas por el agua, las cuales son asentadas por efecto de la gravedad. Se puede clasificar la sedimentación de dos formas, la sedimentación simple o sedimentación secundaria. La sedimentación simple es un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación, en cambio la sedimentación secundaria se usa para remover sólidos sedimentables producidos por el tratamiento químico, como es el caso de la remoción de color y turbiedad (Romero Rojas, 1999, p.119).

- **Filtración**

La filtración es ampliamente usada para remover las partículas suspendidas en el agua. Puede ser definida como el proceso de tratamiento para remover partículas sólidas de una suspensión mediante el paso del fluido a través de un medio poroso.

5.2. Informe general del municipio

El municipio de Zipacón (Cundinamarca) se encuentra ubicado en la Provincia de Sabana Occidente, a 50 km de Bogotá. Es una zona ondulada y está a una altura 2.652 metros sobre el nivel del mar, El municipio está dividido en 12 veredas, la mitad de ellas de clima medio, y la otra, frío. En Pueblo Viejo, El Chuscal, Rincón Santo, Paloquemao y El Chircal se conforma la zona fría. En la parte cálida, se conforma por la inspección de El Ocaso y las veredas de Laguna Verde, Cartagena, La Cabaña, San Cayetano y La Capilla. En las cuales su actividad productiva es el turismo y en segundo lugar la agricultura con cultivos de papa, arveja, hortalizas, café, cítricos, caña de azúcar, plátano, flores, y pastos para la ganadería. Limita al nororiente con el municipio de Facatativá, al sur con el municipio de La Mesa, al oriente con el municipio de Bojacá, al occidente con los municipios de Anolaima y Cachipay.

Figura 1. Ubicación del municipio de Zipacón



Nota: Recuperado de (Google Maps, 2020).

5.3. Cuencas hidrográficas y relieve



Nota: Recuperado de (Plan integral de manejo del itinerario cultural de la cuenca alta del río Apulo, Zipacón, 2011)

El municipio de Zipacón cuenta con la parte alta de la cuenca del río Apulo, el cual nace en el cerro Manjuy a 2600 m.s.n.m, cruza por el casco urbano del municipio y llega a una meseta a 1.400 msnm en donde se encuentra un asentamiento semi urbano llamado El Ocaso.

Figura 3. Corte topográfico eje occidente-orienta a partir de visualización de Google Earth

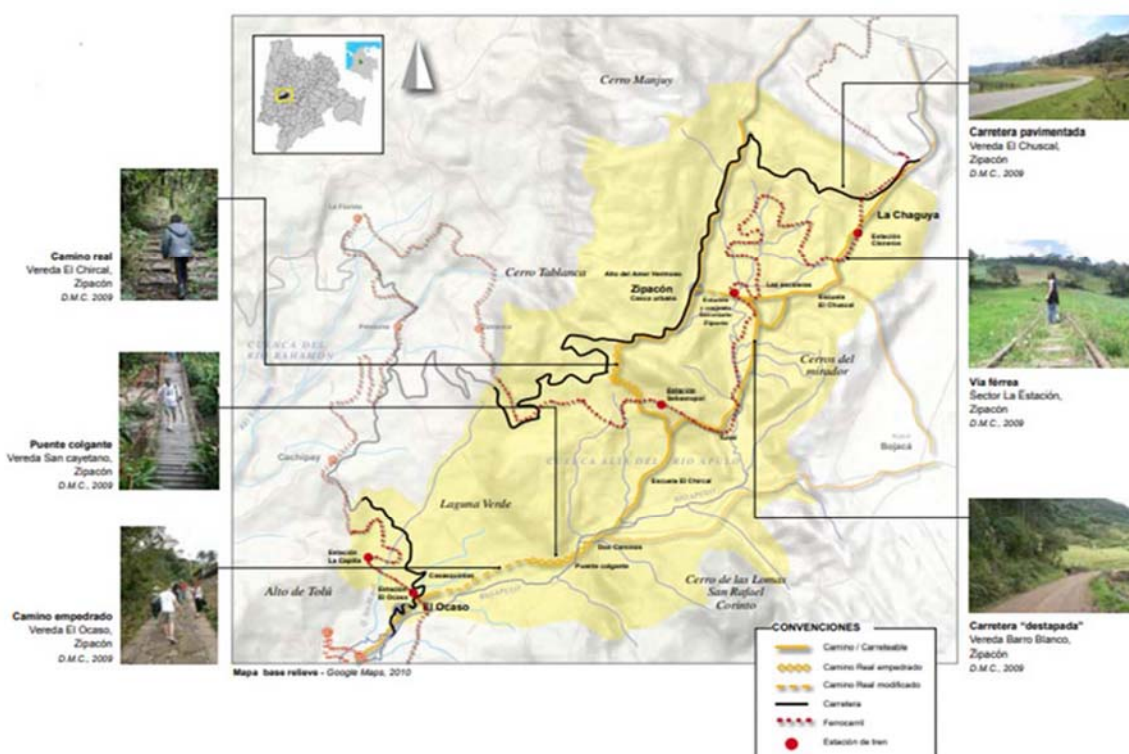


Nota: Recuperado de (Plan integral de manejo del itinerario cultural de la cuenca alta del río Apulo, Zipacón, 2011).

5.4. Vías

Zipacón cuenta con una vía pavimentada la cual pasa por el casco urbano del municipio, esta viene conectada desde la vía Bogotá-Facatativá la cual toma un desvío en el sector denominado Cartagenita. Como también se puede acceder al municipio en una vía que proviene directamente de Facatativá. Estas son las maneras de acceso más conocidas de Zipacón, por otro lado, el municipio cuenta con un tramo de la vía férrea Girardot- Facatativá-Bogotá, como también distintos tramos de carretera “destapada”.

Figura 4. Vías principales del municipio de Zipacón



Nota: Recuperado de (Plan integral de manejo del itinerario cultural de la cuenca alta del río Apulo, Zipacón, 2011)

5.5. Servicios públicos Acueducto y alcantarillado

La empresa encargada de estos servicios es la Empresa de acueducto, alcantarillado, aseo y servicio complementarios de Zipacón S.A.S E.S.P, dirigida a mejorar la calidad de la prestación del servicio público domiciliario de acueducto en el municipio de Zipacón – Cundinamarca.

6. Resultados

6.1. Información adquirida

Según información obtenida del municipio, el agua de la PTAP proviene de: nacedero Boca de Monte del río Cachipay (0,81 l/s), Hoyo de parra (0,4 l/s), la virgen (1,21 l/s) y el río Bahamón (3,1 l/s) la cual llega posteriormente a la estación de bombeo Goteras, hasta el tanque de almacenamiento El Tambo, sitio donde se encuentra otra estación de bombeo que conduce el agua hasta la PTAP.

La PTAP es de tipo Convencional (Floculación, sedimentación, cloración, filtración y estabilización) con una capacidad de 12 L/s, con un tanque de almacenamiento de 80 m³, se encuentra ubicada a la entrada del casco urbano de Zipacón en la vía Facatativá.

Figura 5. Esquema de abastecimiento Zipacón



Nota: Adaptado de (Gobernación de Cundinamarca, portal web). Recuperado de <https://cundinamarcamap.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html>

Figura 6. Vista de puntos GPS PTAP de Zipacón



Nota: Adaptado de Google Earth

Con ayuda de un GPS se ubican puntos que corresponden a los límites del terreno donde se encuentra la PTAP y uno en el centro de la PTAP, estos puntos están dentro del sistema de coordenadas geográficas WGS 84, para lo que se deben convertir al sistema de coordenadas planas MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogotá zone como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1
Puntos GPS convertidos, PTAP de Zipacón

Puntos	Latitud	Longitud	Norte	Este	Altura
TERR 1	4,763324	-74,380141	1018488,17	966426,464	2475,31
TERR 2	4,763184	-74,380197	1018472,69	966420,244	2471,97
TERR3	4,763375	-74,380306	1018493,82	966408,161	2486,62
TERR4	4,763263	-74,38036	1018481,43	966402,165	2488,11
PTAP	4,763332	-74,3803	1018489,06	966408,825	2471,68

Nota: Fuente propia

6.2. Descripción de procesos unitarios

Se realizaron tres visitas técnicas, en las cuales se pudo recolectar información sobre el estado y funcionamiento de los procesos y operaciones unitarias presentes en la PTAP

La planta de potabilización de agua de Zipacón funciona las 24 horas del día, los 7 días de la semana, a excepción 1 día al mes en el cual se realiza la limpieza y mantenimiento de la misma. La planta cuenta con un solo operario (fontanero), el cual se hace cargo de la toma de datos periódicos del estado del agua, la limpieza y el mantenimiento.

El proceso de potabilización que se realiza en la planta es: Enseguida de que llega el agua a la PTAP se dosifica soda cáustica en escamas al agua, con el fin de estabilizar el pH y reducir la dureza carbonácea, se aplica al igual que el cloro con un tanque de polietileno de 500 L capacidad (Tanque de mezcla completa de contacto CSTR), de forma manual, y se dosifica según la variación del pH de acuerdo a la revisión que se realiza periódicamente de los parámetros fisicoquímicos del agua. Esto se hace sobre la canaleta parshall, como se observa en la imagen No.7, este proceso es manual y realizado por el fontanero designado en la planta.

Figura 7. Estabilización del agua



Nota: Fuente propia

La planta cuenta con los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, pero desde hace algún tiempo no se encuentran en funcionamiento, debido a la baja turbiedad (0,37 NTU) que presenta el agua, según la (resolución 2115 de 2007, p. 2), artículo 2 en el cual se establece un valor máximo aceptable de 2 NTU, por consiguiente, no se realizan estas operaciones y procesos unitarios, esto causa que muchos de los componentes y los accesorios se hayan deteriorado. De acuerdo a la información suministrada por el operario y el gerente de la empresa prestadora de servicio, para la limpieza de la planta se suspende el suministro una vez al mes entre 4 y 8 horas

Figura 8. PTAP La Vedra



Nota: Fuente propia

Luego, el agua es conducida hacia los filtros (cuyos medios son de grava, arena y antracita) y posteriormente al tanque de almacenamiento, para ser distribuida a la población de Zipacón.

Figura 9. Tanque de almacenamiento y cámara de filtros



Nota: Fuente propia

Enseguida hay un punto como se muestra en la imagen No. 10 en el cual se realiza el proceso de desinfección con el fin de eliminar los microorganismos y patógenos existentes. Se aplica una solución diluida de hipoclorito de sodio al 15% a través de un tanque de polietileno de 500 Litros de capacidad (Tanque de mezcla completa de contacto CSTR). Su aplicación es al final del proceso de filtrado, justo antes de pasar al tanque de almacenamiento.

Figura 10. Desinfección



Nota: Fuente propia

La empresa que presta el servicio al municipio de Zipacón no posee información ni registros detallados de cada una de las estructuras y accesorios del sistema de acueducto ni de la PTAP, en los que se especifique los materiales, tipo, marca, tamaños, modos de operación, año de instalación, etc. Además de no tener acceso a planos detallados de la PTAP actual. Información que es útil para que se pueda tener el seguimiento del sistema y facilitar el proceso de comunicación y capacitación de las personas que estén a cargo de su operación, además tener en cuenta que al no usar los floculadores ni el sedimentador evidencia que se hizo una mala inversión del dinero para la construcción de la planta

6.3. Diagnóstico actual del estado de las estructuras hidráulicas de la PTAP

Descripción -registro fotográfico

1. *Canaleta parshall*

- Material: Concreto
- Número de Unidades: Una unidad
- Función: Medir el caudal, mezclado rápido coagulante
- Registro fotográfico:

Figura 11. Canaleta parshall



Nota: Fuente propia

2. *Tanque de estabilización*

- Material: Polietileno
- Unidades: Una unidad
- Función: Estabilizar pH y reducir la dureza del agua mediante la dosificación de soda cáustica en escamas.
- Registro fotográfico:

Figura 12. Estabilización



Nota: Fuente propia

3. *Floculación tipo cox*

- Material: Concreto
- Unidades: Una unidad – Ocho cámaras
- Función: Mediante agitación lenta y con ayuda de un coagulante aglomerar las partículas diminutas para su posterior sedimentación.
- Registro fotográfico:

Figura 13. Floculadores tipo cox



Nota: Fuente propia

4. Sedimentación (alta tasa módulos hexagonales)

- Material: Concreto, Sedimentación (de alta tasa, tubos con módulos hexagonales, sedimentación laminar)
- Unidades: Una unidad
- Función: Asentar, precipitar, las partículas floculantes del proceso anterior(floculación)
- Registro fotográfico:

Figura 14. Sedimentador de alta tasa



Nota: Fuente propia

5. Filtración

- Material: Concreto
- Unidades: 5 unidades
- Función: Remover partículas sobrantes que vienen de la sedimentación a través de medios porosos
- Medio: Grava, arena y antracita
- Registro fotográfico:

Figura 15. Filtración



Nota: Fuente propia

6. Cloración, tanque de contacto (CSTR)

- Material: Polietileno
- Unidades: Una unidad
- Función: Desinfectar el agua de virus y parásitos mediante la dosificación de cloro al agua.
- Registro fotográfico:

Figura 16. Cloración



Nota: Fuente propia

7. Tanque de almacenamiento

- Material: Concreto
- Capacidad: 79 m³
- Unidades: Una unidad
- Función: Almacenar el agua para la distribución
- Registro fotográfico:

Figura 17. Tanque de almacenamiento



Nota: Fuente propia

Materiales y equipos de laboratorio presentes en la planta

1. Turbidímetro

Figura 18. Turbidímetro PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

- 2020 we La Motte
- Unidades de NTU, AU, ASBC, EBC
- 0-4000 NTU /0-500 ASBC /1-150 EBC

2. Colorímetro

Figura 19. Colorímetro PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

SMART 3 La Motte

- Rango fotométrico: -2a +2 AU
- Precisión fotométrica: +- 0.001 AU a 1.0 AU / +- 0.005 AU a 1.0 AU

3. pHmeter (potenciómetro)

Figura 20.pHmeter PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

pH 5 La Motte

- Rango de 0.00-12.00 pH/0.01pH
- Lectura de temperatura 0-100°C /0.1°C
- Reconocimiento de buffer a pH 4.01. 7.00 y 10.00

6.4. Observaciones generales

Algunas de las estructuras metálicas que se utilizan para transitar por la planta se encuentran deterioradas y con óxido, lo que puede representar un riesgo para el operario o para cualquiera que transite por la planta. Además de que es posible que se deposite óxido al agua que está siendo tratada. se recomienda lijar las superficies con una máquina escariadora para remover el óxido, aplicar una capa de pintura epóxica para proteger la estructura y por último aplicar una capa de pintura en esmalte del color deseado.

Figura 21. Elementos corroídos PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

Conjuntamente, se presentan grietas y desprendimientos en algunas partes de la estructura en concreto, como también se observan algunos parches con cemento, adicional a esto en algunas zonas del sedimentador se encuentra moho, esto debido a la humedad en las paredes del sedimentador cuando no se hace una limpieza constante. “Cuando se producen brotes de algas y bacterias en una fuente de agua, las concentraciones de los compuestos que alteran olor aumentan hasta niveles por encima de este umbral de 5 ppt, lo cual puede generar problemas en la calidad organoléptica del agua tratada.” (Castro,2013, p.21). De tal manera que en algunas plantas de tratamiento de agua potable se utiliza el proceso de pre cloración, lo que conlleva a más gasto de cloro.

Figura 22. Grietas PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

Figura 23. Grietas y moho

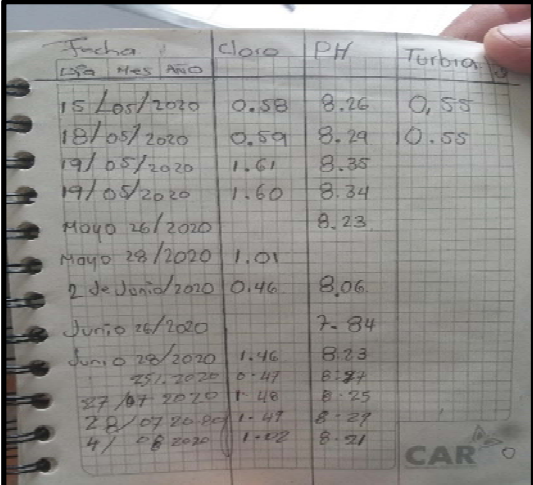


Nota: Fuente propia

Los registros periódicos que se llevan de los análisis físico-químicos del agua se toman en una libreta sin ningún tipo de formato o presentación de datos en particular, que facilite la lectura de estos, además que puede dificultar la búsqueda y orden de registros históricos. Estos datos deben ser tomados en bolígrafo negro, en hojas membretadas por la compañía prestadora de

servicio, además de estar al día, esto con el fin de prevenir futuras observaciones, o no conformidades por parte de la auditoría.

Figura 24. Libreta de datos PTAP Zipacón



Fecha	Cloro	pH	Turbidez
DÍA MES AÑO			
15/05/2020	0.58	8.26	0.55
18/05/2020	0.59	8.29	0.55
19/05/2020	1.61	8.35	
19/05/2020	1.60	8.34	
Mayo 26/2020		8.23	
Mayo 28/2020	1.01		
2 de Junio/2020	0.46	8.06	
Junio 26/2020		7.84	
Junio 28/2020	1.46	8.23	
25/06/2020	0.47	8.22	
27/07/2020	1.48	8.25	
29/07/2020	1.47	8.27	
4/08/2020	1.02	8.21	

Nota: Fuente propia

En las instalaciones de la PTAP, no hay baños, y se cuenta con una oficina en la que se guardan algunos equipos utilizados con los que se realiza el análisis del agua. Durante la visita preliminar se observó un equipo para test de jarras, pero este no se utiliza debido a que el personal a cargo de la planta no se encuentra capacitado, ni conoce de su funcionamiento, además que no se utiliza coagulante en el proceso de potabilización del agua.

Figura 25. Laboratorio PTAP Zipacón



Nota: Fuente propia

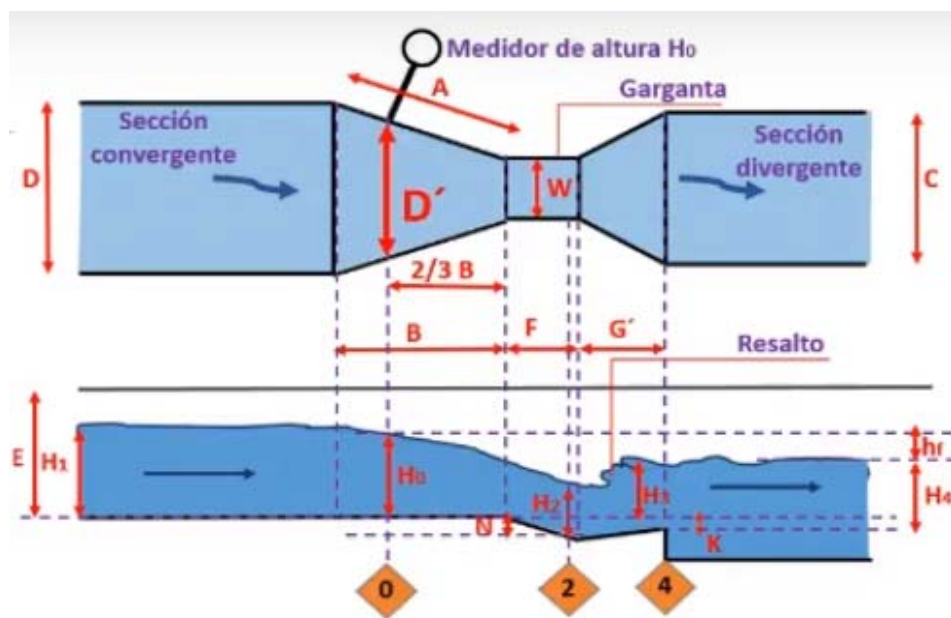
6.5. Análisis de las estructuras hidráulicas de la PTAP

Dimensiones actuales de las estructuras hidráulicas de la planta. Estas dimensiones fueron obtenidas manualmente en una de las visitas realizadas, ya que la planta no cuenta con planos.

Canaleta parshall:

- ❖ Variables de la canaleta parshall

Figura 26. Esquema de canaleta parshall



Nota: Vanegas Carlos. (23 de agosto de 2020). Diseño de mezcla rápida-canaleta parshall [Video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=DUzIxyoo_Ec

❖ Dimensiones de la canaleta parshall

$$A = 0,44$$

$$B = 0,43$$

$$C = 0,16$$

$$D = 0,26$$

$$F = 0,11$$

$$G' = 0,38$$

$$W = 0,07$$

$$N = 0,0068$$

Floculadores tipo cox:

Esta consiste en una unidad de floculadores tipo cox, con 8 cámaras, las cuales se comunican por ventanas inferiores.

Tabla 2

Nomenclatura, variables de los floculadores

Variables de los floculadores	
N	Número de cámaras
L	Longitud de cámaras
A	Ancho de cámara
H	Profundidad de cámara

Nota: Fuente propia

Tabla 3

Número y dimensiones de los floculadores

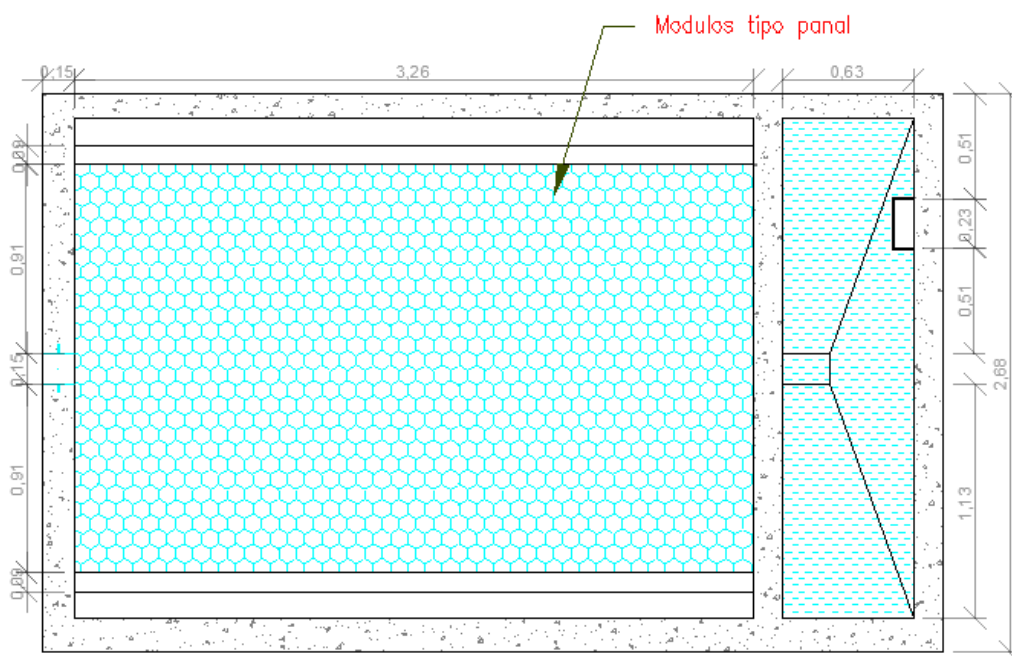
Dimensiones de los floculadores	
N	8 cámaras
L	0,89 m
A	0,89 m
H	1,85 m

Nota: Fuente propia

Sedimentador:

Está compuesto por un sedimentador de alta tasa con módulos hexagonales. El agua llega desde una canal rectangular en concreto por parte de los floculadores y la salida es por medio de dos canales laterales en concreto.

Figura 27. Esquema sedimentador de alta tasa



Nota: Fuente propia

Tabla 4
Nomenclatura, variables del sedimentador

Variables sedimentador	
L	Longitud de sedimentador
A	Ancho de sedimentador
H	Profundidad de sedimentador

Nota: Fuente propia

Tabla 5
Dimensiones del sedimentador y tubería en forma de panal

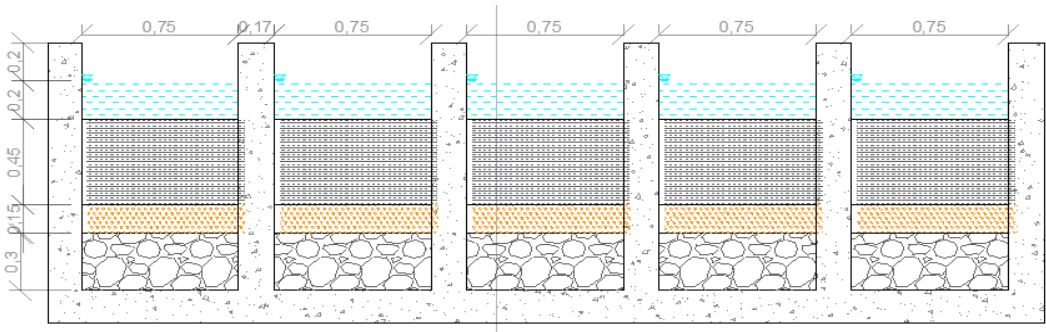
Dimensiones del sedimentador	
L	3,26 m
A	2,4 m
H	2,65 m
Angulo de tubos	60°
Separación de tubos	0,08 m
Longitud de tubos	0,6 m

Nota: Fuente propia

Filtros:

Este es un filtro rápido y están compuestos por 5 módulos, con un medio de arena, grava y antracita.

Figura 28. Esquema filtro rápido



Nota: Fuente propia

Tabla 6
Dimensiones de los filtros

Variables filtros	
A	1,2m
H	0,75m

Nota: Fuente propia

Tabla 7
Nomenclatura, variables de los filtros

Variables filtros	
A	Ancho de filtro
H	Profundidad de filtro

Nota: Fuente propia

Tabla 8
Dimensiones del fondo de lecho

Dimensión fondo de lecho	
Antracita	0,45m
Arena	0,15 m
Grava	0,3 m

Nota: Fuente propia

Tanque de almacenamiento

Tabla 9

Nomenclatura, variables del tanque de almacenamiento

Variables del tanque de almacenamiento	
L	Longitud del tanque de almacenamiento
A	Ancho del tanque de almacenamiento
H	Profundidad del tanque de almacenamiento

Nota: Fuente propia

Tabla 10

Dimensiones del tanque de almacenamiento

Dimensiones tanque de almacenamiento	
L	6 m
A	6 m
H	2,22 m

Nota: Fuente propia**6.6. Evaluación de las estructuras hidráulicas de la PTAP****Canaleta parshall**

La canaleta parshall cumple dos funciones principales (aforador y mezclador hidráulico) por las cuales se les hace la evaluación técnica, esta evaluación se compara con valores

recomendados en la literatura encontrada para verificar si cumple con las especificaciones de diseño según sus dimensiones y el caudal que manejan.

$$A = 0,44$$

$$B = 0.43$$

$$C = 0.16$$

$$D = 0.26$$

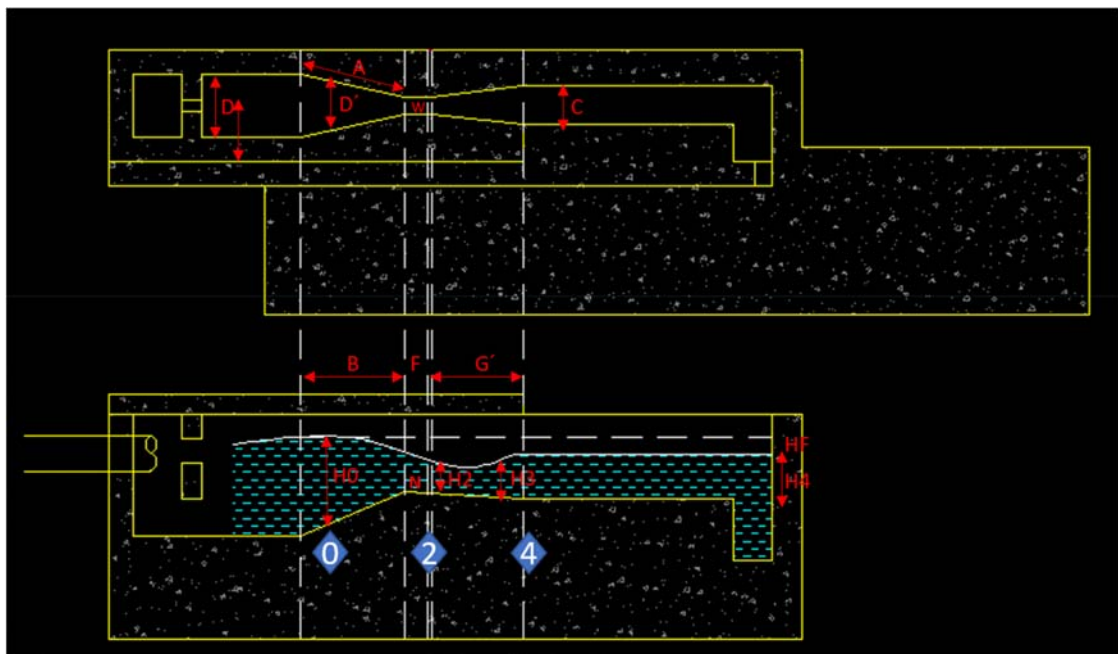
$$F = 0.11$$

$$G' = 0.38$$

$$W = 0.07$$

$$N = 0.0068$$

Figura 29. Esquema canaleta parshall



Nota: Fuente propia

Se puede apreciar que tiene errores de construcción en el perfil longitudinal en el resalto (2-4), si se compara con la figura original de una canaleta parshall mostrada anteriormente, por este motivo no se pudo encontrar K y es posible que el valor de N no sea correcto.

- Sección de la canaleta

Según el caudal se elige un ancho de garganta y las demás secciones, de las mediciones que se hicieron en campo de la canaleta se puede verificar que se acercan a las que están en la siguiente tabla. Por esto se decide a realizar los cálculos con las dimensiones que se construyó la canaleta.

Tabla 11
Dimensiones de canaleta según ancho de garganta

W	(Cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4
9"	22,9	88	86,4	38	57,5	61	61	45,7	7,6	22,9
1'	30,5	137,2	134,4	1	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9
1 1/2'	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9
2'	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9
4'	122	183	179,5	152,2	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6'	183	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9
8'	244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9
10'	305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3

Nota: Recuperado de (Arboleda Valencia, 2004)

En segundo lugar, se encuentran los valores de coeficiente K y del exponente n en función del ancho de la garganta W.

Tabla 12
Valores de n y K según garganta (W)

Unidades métricas		
W	n	K
3"	1,547	0,176
6"	1,580	0,381
9"	1,530	0,535
1'	1,522	0,69
1 1/2'	1,538	1,054
2'	1,550	1,426
3'	1,566	2,182
4'	1,578	2,935
5'	1,587	3,728
6'	1,595	4,515
7'	1,601	5,306
8'	1,606	6,101

Nota: Recuperado de (Arboleda Valencia, 2004)

- Cálculo de altura de agua (H_0) en la sección convergente

Se halla H_0 con la ayuda de la fórmula de flujo, que será la altura de la lámina de agua en D'

$$Q = K H a^n$$

$$H_0 = \left(\frac{Q}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$H_0 = \left(\frac{0,012}{0,1762} \right)^{\frac{1}{1,574}}$$

$$H_0 = 0,1762 \text{ m}$$

- Ancho del canal (D') en H_0

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

$$D' = \frac{2}{3} (0,26 - 0,07) + 0,07$$

$$D' = 0,197 \text{ m}$$

- velocidad (V0) en H0

$$V0 = \frac{Q}{D' * H0}$$

$$V0 = \frac{0,012}{0,197 * 0,1762}$$

$$V0 = 0,346 \text{ m/s}$$

- Caudal(q) especifico en la garganta(W)

$$q = \frac{Q}{W}$$

$$q = \frac{0.012}{0.07}$$

$$q = 0.171 \frac{m^3}{s * m}$$

- Carga hidráulica(E0) en la garganta (W)

$$E0 = \frac{V0^2}{2g} + H0 + N$$

$$E0 = \frac{0.346^2}{2 * 9.81} + 0.176 + 0.0068$$

$$E0 = 0.189 \text{ m}$$

- Altura de agua (H_2) en la garganta(W)

Asumiendo que no existen pérdidas de energía, $E_0 = E_2$, se procede a hallar H_2

$$E_0 = E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + H_2$$

Se sustituye para simplificar con la ecuación de caudal específico ($q = \frac{Q}{W}$)

$$V = \frac{Q}{A} = V_2 = \frac{Q}{W + H_2};$$

Se reemplaza la ecuación anterior en V_2

$$E_2 = \frac{q^2}{2g * H_2^2} + H_2$$

$$0.189 = \frac{0.171^2}{2 * 9.81 * H_2^2} + H_2$$

$$0.189 = \frac{0.001}{H_2^2} + H_2$$

$$0.189 = \frac{0.001 + H_2^3}{H_2^2}$$

$$0.189H_2^2 = 0.001 + H_2^3 -$$

$$0 = H_2^3 - 0.189H_2^2 + 0.001$$

Se resuelve la ecuación y se hallan los posibles resultados seleccionando el valor positivo menor

$$H_{21} = 0.125m$$

$$H22 = 0.127m$$

$$H23 = -0.063m$$

- Velocidad(V2) en la garganta(W)

$$V2 = \frac{q}{H2}$$

$$V2 = \frac{0.171}{0.125}$$

$$V2 = 1.371 \frac{m}{s}$$

- Sumergencia(S) en la canaleta

para determinar si la canaleta trabaja con descarga libre o ahogada

$$S = \frac{H2}{H0}$$

$$S = \frac{0.125}{0.176}$$

$$S = 0.71$$

- Numero de froude

$$Nf = \frac{V2}{\sqrt{g * H2}}$$

$$Nf = \frac{1.371}{\sqrt{9,81 * 0,125}}$$

$$Nf = 1.24$$

- Altura de agua (H3) en el resalto

$$H3 = \frac{H2}{2} [(1 + 8Nf^2)^{0.5} - 1]$$

$$H3 = \frac{0.125}{2} [(1 + 8 * 1.24^2)^{0.5} - 1]$$

$$H3 = 0.165m$$

- Velocidad(V3) en el resalto

$$V3 = \frac{q}{H3}$$

$$V3 = \frac{0.171}{0.165}$$

$$V3 = 1.038 \frac{m}{s}$$

- Altura de agua(H4) en la sección de salida

Debido a que la canaleta quedo mal construida en la parte del resalto, no se puede obtener el valor de K para hallar la altura de agua en la sección final, por esto se decide usar el K que tiene la tabla de dimensiones de secciones (K=0.025)

$$H4 = H3 - (N - K)$$

$$H4 = 0.165 - (0.0068 - 0.025)$$

$$H4 = 0.183m$$

- Velocidad(V4) en la sección de salida

$$V4 = \frac{Q}{C * H4}$$

$$V4 = \frac{0.012}{0.16 * 0.183}$$

$$V4 = 0.409 \frac{m}{s}$$

- Pérdida de carga en el resalto

$$Hf = H0 + K - H4$$

$$Hf = 0.176 + 0.025 - 0.183$$

$$Hf = 0.019m$$

- Tiempo de mezcla en el resalto

$$T = \frac{2G}{V3 + V4}$$

$$T = \frac{2 * 0.38}{1.038 + 0.409}$$

$$T = 0.53 s$$

- Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} * \sqrt{\frac{Hf}{T}}$$

$$G = 3.266.96 * \sqrt{\frac{0.018}{0.53}}$$

$$G = 602.190 s^{-1}$$

Como resultado de la verificación como aforador y como mezclador se tuvo que:

Según los valores recomendados por (Arboleda Valencia, 2004, p.110), la sumergencia trabaja ahogada según su ancho de garganta W, debido a que $0,71 > 0,60$. Por otra parte, el número de Froude debe estar comprendido entre los valores de 1,7 a 2,5 o 4,5 a 9,0. De esta manera la canaleta parshall no cumple como mezclador ya que el valor está en un intervalo en el que se genera un resalto inestable el cual dificulta la aplicación del químico.

Floculador tipo Cox

N= 8 cámaras

L= 0,89 m

A= 0,89 m

H= 1,85 m

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

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

$$A^{\frac{7}{2}} = \frac{Q^3}{116 * G^2 * V}$$

$$G^2 = \frac{Q^3}{116 * V * A^{\frac{7}{2}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{Q^3}{116 * V * A^{\frac{7}{2}}}}$$

Análisis orificio de cámara 1-2

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,710 * (0,017)^2}} = 0,183 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 2-3

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,533 * (0,023)^2}} = 0,128 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 3-4

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,533 * (0,023)^2}} = 0,128 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 4-5

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,415 * (0,029)^2}} = 0,094 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 5-6

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,415 * (0,029)^2}} = 0,094 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 6-7

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,332 * (0,036)^2}} = 0,071 \text{ s}^{-1}$$

Análisis orificio de cámara 7-8

$$G = \sqrt{\frac{(0,012)^3}{116 * 0,332 * (0,036)^2}} = 0,071 \text{ s}^{-1}$$

Como menciona (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015), entre los criterios recomendados para un floculador tipo Cox se encuentra que el número de cámaras debe estar entre 8 y 10 de tal manera que cumple con este parámetro, por otra parte, se menciona que el gradiente de mezcla debe estar entre un intervalo de 20 a 60 s^{-1} , de tal manera que no se cumple con los requerimientos en esta medida.

Sedimentador

L= 3,26 m

A= 2,4 m

H= 2,65 m

Angulo 60°

Longitud del módulo de panal 0.6 m

Se halla la carga superficial

$$Q = 0,012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ dia}} = 1036,8 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$Cs = \frac{Q}{A}$$

$$Cs = \frac{1036,8}{3,26 * 2,4}$$

$$Cs = 132,52 \frac{m^3}{m^2 * dia}$$

Se halla el Área horizontal

$$Ah = An * L$$

$$Ah = (2,4 - 0,6 * \cos(60^\circ)) * 3,26$$

$$Ah = 6,85 \text{ m}$$

Se halla la velocidad de sedimentación

$$Vo = \frac{Q}{As * \sin(60)}$$

$$Vo = \frac{0,012}{3,26 * 2,4 * \sin(60)}$$

$$Vo = 0,0018 \frac{m}{s} * \frac{100 \text{ cm}}{1m} = 0,18 \frac{cm}{s}$$

Se halla el tiempo de retención

$$t = \frac{As * H}{Q}$$

$$t = \frac{3,26 * 2,4 * 2,65}{Q * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}} = 28,8 \text{ min}$$

Según lo que se establece en el título C del (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016) y no se encuentra ninguna modificación en la resolución 0330 del 2017, un sedimentador de este tipo debe tener un tiempo de retención en un rango de entre 15 y 20 minutos, incumpliendo así este parámetro, por otro lado, la carga superficial debe estar entre $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ y $300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, lo que quiere decir que cumple en esta medida.

Filtros

Datos

H= 1,2

A= 0,75

Se hallan las unidades de filtro necesarias con la ecuación que describe (Silva Garavito, 2002, p.92), recomendando de mínimo 2 unidades de filtros.

$$Q = 12 \frac{L}{s} * \frac{m^3}{1000 L} * \frac{86400 s}{1 \text{ día}} * \frac{\text{miles de } m^3}{1000 m^3} = 1,0368 \frac{\text{miles de } m^3}{\text{día}}$$

$$\#Unidades = 1,4 * \sqrt{Q \left(\frac{\text{miles de } m^3}{\text{día}} \right)}$$

$$\#Unidades = 1,4 * \sqrt{1,0368 \frac{\text{miles de } m^3}{\text{día}}}$$

$$\#Unidades = 1,426 = 2 \text{ unidades}$$

Se halla la carga superficial

$$Cs = \frac{Q}{As} = \frac{0,012 \frac{m^3}{s} * \frac{86400 s}{1 día}}{1,2 * 0,75}$$

$$Cs = 230,4 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

De acuerdo a lo que recomienda (Arboleda Valencia, 2004), la carga superficial para los filtros debe estar entre un rango de $235 m^3/m^2 * día$ y $350 m^3/m^2 * día$, de tal manera que no se cumple este parámetro.

6.7. Pruebas de tratabilidad para determinar parámetros fisicoquímicos del agua de la PTAP

Según lo observado, las pruebas de tratabilidad que se realizan en la PTAP del municipio de Zipacón no son adecuadas dado a que el plomero de la PTAP falla en la manera en que realiza el mantenimiento para el adecuado funcionamiento de la planta de potabilización:

- La limpieza que se realiza mensualmente, no se hace con el adecuado cuidado de los filtros, entre esto encontramos que no se posee con una manera de hacer retro lavado de filtros. Además de no contar con una piscina de decantación para los lodos que son expulsados (estos son arrojados al terreno natural).
- Falta de conocimiento al momento de realizar la dosificación del hipoclorito de sodio (miligramos por litro utilizados).

- Algunos de los equipos para la determinación de parámetros físico-químicos del agua se encuentran descalibrados como lo es el pHmeter. Además de la falta de conocimiento del operario para realizar la calibración del mismo.

6.8. Análisis del agua

Por cuestiones de imprevistos (pandemia), sólo se puede basar el análisis para un solo muestreo en época seca, la planta estuvo cerrada varios meses y solo se permitió la entrada 7 meses después del inicio de la pandemia. Cabe aclarar que normalmente para este tipo de análisis se deben hacer 2 muestreos en épocas de lluvia y 2 más en época seca como establece la (Resolución 0330 de 2017) en el artículo 105. Dado el régimen de lluvia en la región de Cundinamarca (bimodal), es decir se tienen dos picos de temporada de lluvia y temporada seca, los resultados como la turbiedad pueden variar conforme la época del año en la que se tomen las muestras.

Se midieron los siguientes parámetros in-situ con ayuda de los equipos que se tenían en la PTAP y con equipos proporcionados por la universidad:

- pH: 6,6 (medido con multiparámetro Hanna HI 9828).
- Turbiedad: 0,18 NTU
- Cloro residual: 1,5 ppm (mg/L)

Además, se hizo un muestreo de agua cruda antes de ser tratada para medir los demás parámetros

Tabla 13

Resultados laboratorio calidad del agua, punto de toma Entrada PTAP del 18 de Nov de 2020

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS					
PARÁMETRO	UNIDADES	TÉCNICA	MÉTODO ANALÍTICO	RESULTADOS	VALORES MÁX
					Ref.: Resolución n 2115/07
pH	UNIDADES	COMPARACIÓN VISUAL	potenciómetro	6,6	6,5 - 9,0
ALCALINIDAD TOTAL	mg CaCO ₃ /L	VOLUMÉTRICO	SM 2320-B	46,33	200
CALCIO	mg Ca/L	TITULOMÉTRICO - EDTA	SM 3030 E, 3111 D	24,27	60
CLORUROS	mg Cl/L	TITULOMÉTRICO - ARGENTOMÉTRICO	SM 4500 - Cr B	53,25	250
DUREZA	mg CaCO ₃ /L	TITULOMÉTRICO	SM 2340 - C	131,44	300

TOTAL		RICO - EDTA			
MAGNESIO	mg Mg/L	CÁLCULO	SM 3030 E,	17,21	36
			3120 B		
TURBIEDAD	UNT	NEFELOMÉT	SM 2130 - B	0,37	2
			RICO		

Nota: Fuente propia

En la tabla anterior, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de parámetros físico-químicos realizados en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás, junto con los valores máximos permitidos en la (Resolución 2115 de 2007), y al compararlos junto a los valores del (Decreto 1594 de 1984) artículos 37 y 38, se observa que las fuentes se encuentran en un nivel de calidad aceptable, por tal motivo es recomendable utilizar solo los procesos de desinfección y estabilización, por otro lado, es indispensable el proceso de filtrado para asegurar la calidad de agua brindada a la población, además “de acuerdo con las investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, el filtro debe producir un efluente con una turbiedad menor o igual a 0,10 UNT para garantizar que esté libre de huevos de parásitos (Giardia, Cryptosporidium, etcétera)”(Cenpa de Vargas , 2004,p.111).

De esta manera es evidente que los procesos de floculación y sedimentación, no son necesarios en la planta de potabilización de agua del municipio de Zipacón, encontrando así un sobredimensionamiento en la estructura existente.

6.9. Filtro a utilizar

Según (Cenpa de Vargas, 2004, p.111) cuando la fuente de abastecimiento es confiable —caso de una cuenca virgen o bien protegida—, en la que la turbiedad del agua no supera de 10 a 20 UNT el 80% del tiempo, y no supera 30 UNT ni 25 UC el 90% del tiempo, puede considerarse la alternativa de emplear filtración directa descendente. De esta manera los parámetros para la potabilización del agua en Zipacón que mejor se ajustan son los de una planta de filtración directa que comprende los procesos de mezcla rápida (canaleta parshall), estabilización, desinfección y filtración directa descendente; con un lecho filtrante dual o mixto el cual hacen posible la filtración directa del agua de baja turbidez sin operaciones de asentamiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, el filtro ideal consistiría en un medio clasificado uniformemente, en la parte superior de grande a pequeño en la parte inferior respectivamente. Esto se puede lograr utilizando tres o más tipos de medios. Una instalación típica puede consistir en una cama de 0,75 m con 60 por ciento de antracita, 30 por ciento de arena de sílice y 10 por ciento de arena granate, con densidades específicas de 1.6, 2.6 y 4.2, respectivamente. Tamaños efectivos que van desde un máximo de 1,0 mm para la antracita hasta un mínimo de 0,15 mm para el granate, junto con coeficientes de uniformidad cuidadosamente seleccionados. (Peavy, Rowe & Tchobanoglous, 1987, p.179).

6.10. Análisis de la proyección de la población en el municipio

Proyección de la población según censos

Para hallar la cantidad de habitantes se debe tener en cuenta el periodo de diseño (25 años) para los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo que establece el RAS (Resolución 0330 del 2017) en el título 2 del capítulo 1 artículo 40.

Primeramente, se debe realizar una proyección de la población para los 25 años con ayuda de los datos censales como se muestran a continuación en la tabla No.6, estos datos son aportados por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística).

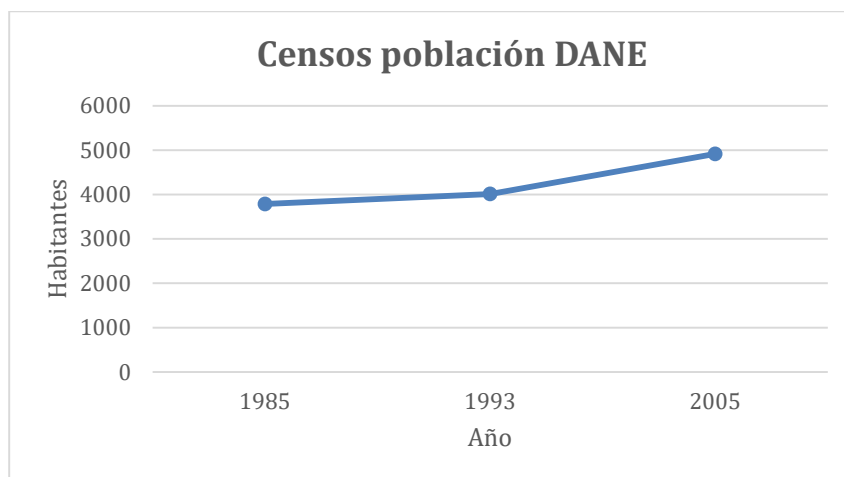
Tabla 14
Censos Población de Zipacón

AÑOS	Habitantes (Urbano-Rural)
1985	3787
1993	4012
2005	4916

Nota: Recuperado de (Departamento Nacional de Estadística 2005)

En la siguiente gráfica No.26 se muestra el comportamiento de la población en el tiempo según los censos del DANE de la tabla No.6.

Figura 30. Censos de población Zipacón



Nota: Fuente propia

El RAS recomienda hacer la proyección de la población mediante los métodos aritmético, geométrico y exponencial

Método aritmético:

Según el RAS la siguiente ecuación se usa para el cálculo de la proyección de la población del año que se quiere conocer.

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \cdot (Tf - Tuc)$$

Donde:

Pf: Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes)

Puc: Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes)

Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes)

Tuc: Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información

Tf: Año al cual se quiere proyectar la información

Método Geométrico:

Según el RAS la siguiente ecuación se usa para el cálculo de la tasa de crecimiento anual es

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal

Puc: Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes)

Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes)

Tuc: Año correspondiente al último año proyectado por el DANE

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información

Y la siguiente ecuación se usa para el cálculo de la proyección de la población del año que se quiere conocer.

$$Pf = Puc(1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Pf: Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

Puc: Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

r: Tasa de crecimiento anual en forma decimal

Tf: Año al cual se quiere proyectar la información.

Tuc: Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Método exponencial:

Según el RAS la siguiente ecuación se usa para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional

$$K = \frac{\ln \cdot P_{cp} - \ln \cdot P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde:

K: Tasa de crecimiento poblacional

P_{cp}: Población del censo posterior (proyección del DANE)

P_{ca}: Población del censo anterior (habitantes)

T_{cp}: Año correspondiente al censo posterior

T_{ca}: Año correspondiente al censo anterior

ln: Logaritmo natural

Y la siguiente ecuación se usa para el cálculo de la proyección de la población del año que se quiere conocer.

$$Pf = Pci \cdot e^{Kx \cdot (Tf - Tci)}$$

P_f: Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes)

P_{ci}: Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes)

T_f: Año al cual se quiere proyectar la información

T_{ci}: Año correspondiente al censo inicial con información

La tabla No.7 muestra los resultados de la proyección de población durante 25 años por los métodos aritmético, geométrico y exponencial

Tabla 15

Proyección de población para el año 2043 por los métodos aritmético, geométrico y exponencial

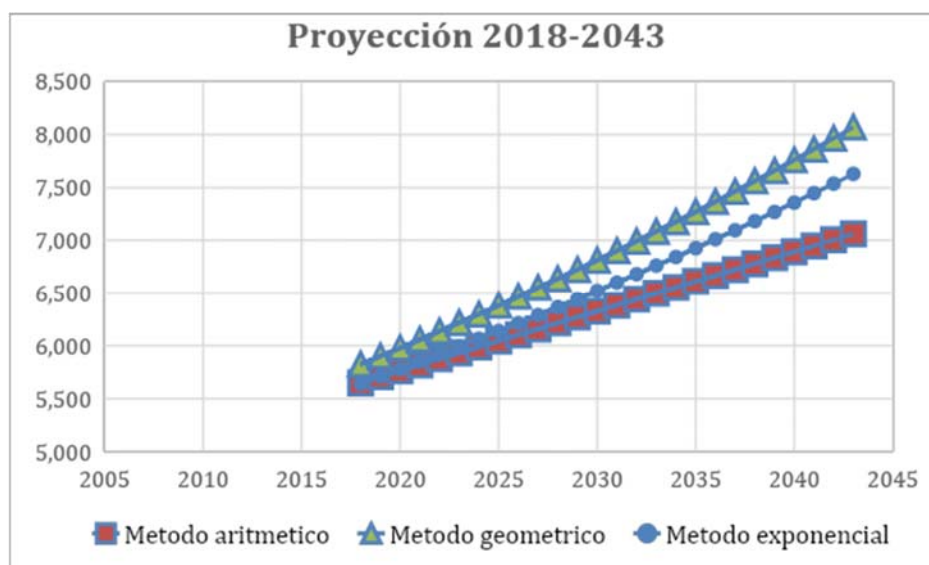
Año	Aritmética	Geométrica		Exponencial	
	Pf	r	pf	k	Pf
2018	5650	0,013	5825	0,012	5641
2019	5707	0,013	5902	0,012	5710
2020	5763	0,013	5979	0,012	5779
2021	5820	0,013	6058	0,012	5849
2022	5876	0,013	6137	0,012	5920
2023	5933	0,013	6218	0,012	5992
2024	5989	0,013	6299	0,012	6065
2025	6045	0,013	6382	0,012	6139
2026	6102	0,013	6466	0,012	6213
2027	6158	0,013	6551	0,012	6289
2028	6215	0,013	6637	0,012	6365
2029	6271	0,013	6724	0,012	6442
2030	6328	0,013	6812	0,012	6521
2031	6384	0,013	6902	0,012	6600
2032	6441	0,013	6992	0,012	6680
2033	6497	0,013	7084	0,012	6761
2034	6554	0,013	7177	0,012	6843
2035	6610	0,013	7271	0,012	6926
2036	6666	0,013	7367	0,012	7011
2037	6723	0,013	7464	0,012	7096
2038	6779	0,013	7562	0,012	7182
2039	6836	0,013	7661	0,012	7269
2040	6892	0,013	7761	0,012	7357

2041	6949	0,013	7863	0,012	7447
2042	7005	0,013	7967	0,012	7537
2043	7062	0,013	8071	0,012	7629

Nota: Fuente propia

La gráfica No.27 muestra el comportamiento de la proyección de población para los 25 años con los 3 métodos aritmético, geométrico y exponencial.

Figura 31. Proyección población de 2018 a 2043 para los métodos geométrico aritmético y exponencial



Nota: Fuente propia

Población flotante

La siguiente tabla No.9 se obtuvo de un estudio de población flotante proveniente de un proyecto de la empresa epm proyecto nueva esperanza (epm,2012, p.63), que consistía en diseño y construcción de líneas de transmisión de energía para el departamento de Cundinamarca.

Tabla 16

Dinámica poblacional con respecto al sitio de trabajo en el Área de influencia directa

Lugar de trabajo según residencia	En el municipio	En otro municipio
Bojacá	1214	887
Funza	12472	10119
Soacha	64373	79196
Facatativá	30061	13443
Madrid	16750	4740
Tenjo	2511	423
Zipacón	337	156

Nota: Recuperado de (EPM, 2004, p.63). Recuperado de https://www.epm.com.co/site/portals/0/documentos/Nueva%20Esperanza/CAP_3.4.pdf

Las dos últimas columnas refieren a habitantes de otros municipios que llegan a trabajar y radicarse temporalmente hasta el fin de su contrato laboral y a habitantes de otros municipios que siguen viviendo en sus respectivos municipios y solo se transportan para ir a trabajar. De acuerdo a estos datos se concluye que la población flotante en el 2012 era la suma de estos dos tipos de trabajadores que laboraban allí (493 habitantes). La tasa de crecimiento poblacional se calcula por el método exponencial de la siguiente manera:

$$Pf = p1(1 + r)^n$$

Donde:

Pf: Población futura flotante

p1: Población actual flotante

r: Tasa de crecimiento poblacional

n: Periodo de diseño

En la siguiente tabla se presentan las proyecciones de la población flotante junto con las proyecciones anteriores para 25 años.

Tabla 17

Población flotante y proyección de población por métodos aritmético geométrico y exponencial

Año	Población final			Población flotante
	Aritmética	Geométrica	Exponencial	
2018	5650	5825	5641	534
2019	5707	5902	5710	541
2020	5763	5979	5779	548
2021	5820	6058	5849	555
2022	5876	6137	5920	562
2023	5933	6218	5992	570
2024	5989	6299	6065	577
2025	6045	6382	6139	585
2026	6102	6466	6213	592
2027	6158	6551	6289	600
2028	6215	6637	6365	608
2029	6271	6724	6442	616
2030	6328	6812	6521	624
2031	6384	6902	6600	632
2032	6441	6992	6680	640
2033	6497	7084	6761	649
2034	6554	7177	6843	657
2035	6610	7271	6926	666
2036	6666	7367	7011	675
2037	6723	7464	7096	684
2038	6779	7562	7182	693
2039	6836	7661	7269	702
2040	6892	7761	7357	711
2041	6949	7863	7447	720
2042	7005	7967	7537	730
2043	7062	8071	7629	739

Nota: Fuente propia

Según lo que se establece en los parámetros definidos por el título B del (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2016), se eligió la proyección exponencial ya que el municipio muestra apreciable desarrollo, aunque lento como se menciona en el eot en el cual menciona “en el conjunto municipal la tendencia general se orienta hacia un crecimiento demográfico lento, determinado por la reducción de las tasas de natalidad y la emigración de los jóvenes, que en los últimos años se ha visto disminuida por las nuevas posibilidades de trabajo que introdujeron los cultivos de flores” (Esquema de Ordenamiento Territorial, Zipacón Cundinamarca, 2020, p.64), el municipio posee abundantes zonas de expansión y nuevas posibilidades de trabajo tanto en el cultivo de las flores como en otros campos.

El resultado de la suma de la población flotante y la proyección exponencial para el año 2043 es de 6368 habitantes.

6.11. Dotación

Dotación Neta máxima

Con base en la (Resolución 0330, 2017), en el artículo 40 se estipula que el periodo de diseño para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, es de 25 años, así como se tomó en cuenta la proyección de la población.

Además de esto, y teniendo en cuenta el artículo 43 en la (Resolución 0330, 2017), al no contar con información histórica y detallada de los consumos de agua potable de los suscriptores del municipio de Zipacón, se optó por utilizar la siguiente tabla No. 9, en la cual se obtiene el valor de la dotación neta máxima basado en la altura sobre el nivel del mar, que modifica la (Resolución Número 2320, 2009) que adopta el RAS eliminando los niveles de complejidad.

Tabla 18

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

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

Recuperado de (Resolución Número 0330, 2017, pp. 32)

El municipio de Zipacón se encuentra a una altura de 2652 metros sobre el nivel del mar, de tal manera que la dotación neta máxima correspondiente es de **120 L/hab*día**.

Dotación bruta

La dotación bruta tiene en cuenta la cantidad máxima de agua que requiere un habitante para satisfacer sus necesidades, y es calculada según el porcentaje de pérdidas máximas

admisibles ocurridas en el sistema, las cuales no deberán superar el 25%, como se indica en la (Resolución 0330, 2017), y está dada por la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = d_{neta} (1 - \%p)$$

Dónde:

d_{bruta} = Dotación bruta.

d_{neta} = Dotación neta.

$\%p$ = Porcentaje de pérdidas máximas admisibles.

La dotación bruta para la PTAP del municipio de Zipacón es de **160 L/hab*día**.

Caudal medio diario

El caudal medio diario (Q_{md}) es el que corresponde al promedio de consumos diarios de caudal, proyectado al horizonte de diseño, está dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{No. habitantes * d_{bruta}}{86400}$$

Donde:

Q_{md} : Caudal medio diario

d_{bruta} : Dotación bruta en L/hab/día

Caudal máximo diario

El caudal máximo diario (QMD) corresponde al consumo máximo registrado en un lapso de 24 horas. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k_1 , como se indica en la siguiente ecuación:

$$QMD = Qmd * k_1$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario

Qmd: caudal medio diario

k_1 : coeficiente de consumo máximo diario.

Caudal máximo horario

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k_2 , según la siguiente ecuación:

$$QMH = QMD * k_2$$

Donde:

QMH: caudal máximo horario

QMD: caudal máximo diario

k_2 : coeficiente de consumo máximo horario

En la siguiente tabla encontramos el cálculo de los caudales medio diario, máximo diario y máximo horario para cada uno de los años proyectados hasta el 2043

Tabla 19

Caudal medio diario, máximo diario y máximo horario para cada uno de los años proyectados 2018-2043

Año	Exponencial	D neta L/s	P%	D bruta L/s	Qmd L/s	K1	QMD L/s	K2	QMH L/s
2018	6175	120	0,25	160	11,44	1,2	13,72	1,6	21,96
2019	6251	120	0,25	160	11,58	1,2	13,89	1,6	22,23
2020	6327	120	0,25	160	11,72	1,2	14,06	1,6	22,50
2021	6404	120	0,25	160	11,86	1,2	14,23	1,6	22,77
2022	6482	120	0,25	160	12,00	1,2	14,40	1,6	23,05
2023	6562	120	0,25	160	12,15	1,2	14,58	1,6	23,33
2024	6642	120	0,25	160	12,30	1,2	14,76	1,6	23,62
2025	6724	120	0,25	160	12,45	1,2	14,94	1,6	23,91
2026	6805	120	0,25	160	12,60	1,2	15,12	1,6	24,20
2027	6889	120	0,25	160	12,76	1,2	15,31	1,6	24,49
2028	6973	120	0,25	160	12,91	1,2	15,50	1,6	24,79
2029	7058	120	0,25	160	13,07	1,2	15,68	1,6	25,10
2030	7145	120	0,25	160	13,23	1,2	15,88	1,6	25,40
2031	7232	120	0,25	160	13,39	1,2	16,07	1,6	25,71
2032	7320	120	0,25	160	13,56	1,2	16,27	1,6	26,03
2033	7410	120	0,25	160	13,72	1,2	16,47	1,6	26,35
2034	7500	120	0,25	160	13,89	1,2	16,67	1,6	26,67
2035	7592	120	0,25	160	14,06	1,2	16,87	1,6	26,99
2036	7686	120	0,25	160	14,23	1,2	17,08	1,6	27,33
2037	7780	120	0,25	160	14,41	1,2	17,29	1,6	27,66
2038	7875	120	0,25	160	14,58	1,2	17,50	1,6	28,00
2039	7971	120	0,25	160	14,76	1,2	17,71	1,6	28,34
2040	8068	120	0,25	160	14,94	1,2	17,93	1,6	28,69
2041	8167	120	0,25	160	15,12	1,2	18,15	1,6	29,04
2042	8267	120	0,25	160	15,31	1,2	18,37	1,6	29,39
2043	8368	120	0,25	160	15,50	1,2	18,60	1,6	29,75

Nota: Fuente propia

7. Conclusiones

- El agua que proviene de las fuentes de abastecimiento llega a la planta de potabilización con muy bajos niveles contaminantes, además de esto la turbiedad que presenta es bastante baja, por tal motivo no se justifica el uso de los procesos unitarios tales como floculación y sedimentación, gastando así tiempo y recursos en el mantenimiento de estos.
- Al encontrar que no es necesario los procesos unitarios de floculación y sedimentación, se deduce que la PTAP de Zipacón presenta un sobredimensionamiento en el diseño inicial planteado.
- El pH del agua cruda se encuentra al límite del rango establecido por el RAS, junto a esto no se tiene clara la dosificación de soda caustica que se está utilizando en la PTAP (se hace de forma empírica), lo que podría llegar a generar un riesgo para la salud.
- Los parámetros fisicoquímicos del agua cruda cumplen de manera correcta según lo establecido por la autoridad colombiana.
- Al realizar el análisis de las estructuras hidráulicas, se encontró que la canaleta parshall cumple como aforador, en cambio en la mezcla hidráulica falla. Además de esto la canaleta no tiene un diseño típico, lo que impide su correcto funcionamiento.
- En la floculación como en la sedimentación se encontró que no cumplen con algunos de los parámetros establecidos, aun sin ser utilizados estos procesos.

- Se debe realizar una laguna de lodos para la limpieza y mantenimiento de la PTAP ya que estos se están vertiendo directamente al terreno natural.
- Se debe realizar una limpieza de filtros mas detallada, ya que no se poseen las canales para realizar un retro lavado.
- Es primordial realizar limpiezas de la PTAP mas frecuentemente, ya que en la canal de salida del sedimentador se encuentran formaciones de moho. Lo que puede generar más consumo de cloro.
- Se debe construir un baño en las instalaciones de la planta de potabilización.
- Es necesario hacer un mantenimiento a las estructuras metálicas, eliminando el óxido y evitar accidentes.
- Las estructuras hidráulicas de concreto presentan un deterioro notable, es recomendable realizar un ensayo de patologías para verificar posibles daños que se están presentando.
- Se debe realizar una capacitación al personal de la PTAP para la correcta utilización de los equipos (calibración y toma de parámetros periódicos).
- Se debe tener un correcto seguimiento y orden de los parámetros periódicos tomados, ya que se encontró que los datos son tomados en una libreta común.

8. Referencias

Arboleda Valencia, J. (2004). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua (Tercera edición ed.). (M. G. Hill, Ed.) México: Acodal- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Esquema de Ordenamiento Territorial, Zipacón Cundinamarca. (2020). Alcaldia municipal de Zipacón Cundinamarca. Obtenido de https://zipaconcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/zipaconcundinamarca/content/files/000392/19594_zipacon-documento-tecnico.pdf

Silva Garavito, L. F. (2002). Diseño de acueductos y alcantarillados. Universidad Santo Tomas.

Lozano Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). Potabilización del Agua. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2016). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Título C "Sistemas de Potabilización". Bogotá, Colombia.

Castro Aguilera, E. (2013). Sistema de abatimiento de olor planta de tratamiento de agua potable Concón-Esval. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Cenpa de Vargas, L.(2004). Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida. Manual 1: Capítulo 3. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Peavy, H. S., Rowe, D. R., & Tchobanoglous, G. (1987). Cited in environmental engineering. McGraw-Hill International Editions, New Delhi.

Resolución Número 2115. (22 de 06 de 2007). Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

Resolución Número 0330. (08 de 06 de 2017). Ministerio de Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Colombia.

Decreto 1594 (26 de 06 de 1984). Ministerio de Agricultura. Colombia. 1984.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). DANE. Censo Municipio Zipacón, Cundinamarca. Bogotá, Colombia.

EPM. (s.f.). Empresas Públicas de Medellín Obtenido de https://www.epm.com.co/site/portals/0/documentos/Nueva%20Esperanza/CAP_3.4.pdf

Krause, M., Cabrera, E., Jr., Cubillo, F., Diaz, C., & Ducci, J. (2015). Aqua Rating: Un estándar internacional para evaluar los servicios de agua y alcantarillado saneamiento. London: IWA Publishing. Obtenido de. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecausta-ebooks/detail.action?docID=4354918>

DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (2000). http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_a_.pdf

López, R., Granados, J., Pérez, N., Bello, J., Gualdrón, L. (2018). INFORME DE AUDITORÍA GUBERNAMENTAL CON ENFOQUE INTEGRAL MODALIDAD INTEGRAL MUNICIPIO DE ZIPACON CUNDINAMARCA. Obtenido de <http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/003%20auditorias/002%20sector%20municipal/005%20informes%20de%20auditoria/2018/INFORME%20ZIPACON%20INTEGRA L.pdf>

Martínez, D., Palau, F., & Pardo, A. (2011). Plan integral de manejo del itinerario cultural de la cuenca alta del río Apulo (Zipacón), territorio de tránsitos y pausas. Obtenido de http://openarchive.icomos.org/1342/1/Itinerario_cultural_zipacon.pdf.

Andía, Y. (2000). TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. Lima. SEDAPAL.

Organización panamericana de la salud [OPS] y Organización mundial de la salud [OMS]. (2009). Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo (Guía técnica No. 5). Obtenido de https://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&alias=762-tratamiento-emergencia-agua-potable&category_slug=temporada-invernal&Itemid=688