



Propuesta de diseño de la PTAP Sosiego para surtir de agua a los barrios San José, Santa María, San Carlos del municipio de Madrid, Cundinamarca, mediante el rediseño de la planta existente

**Laura Valentina Guecha Chamorro - 1810609
Juan Esteban Alba Suquila - 1810084
Hermes Daniel Guarnizo Pinto - 1810942**

**Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá D.C Segundo semestre 2023**





Propuesta de diseño de la PTAP Sosiego para surtir de agua a los barrios San José, Santa María, San Carlos del municipio de Madrid, Cundinamarca, mediante el rediseño de la planta existente

Laura Valentina Guecha Chamorro - 1810609
Juan Esteban Alba Suquila - 1810084
Hermes Daniel Guarnizo Pinto - 1810942

Asesor: Felipe Santamaría Alzate

Trabajo de grado

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
Bogotá D.C Segundo semestre 2023



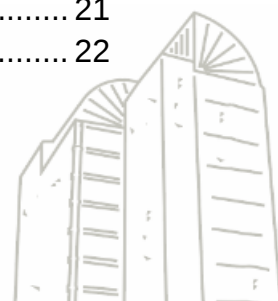
Dedicatoria

Queremos dedicar este trabajo de grado primeramente a Dios quien nos ha dado la posibilidad de estudiar una carrera profesional, a nuestros padres por la lucha diaria durante este tiempo de preparación sin pedirnos algo a cambio, también a nuestros amigos con los que empezamos esta aventura desde el año 2018 y hoy seguimos unidos para finalizar este proceso; ellos son el impulso para ser cada día mejores en lo que nos proponemos como personas y profesionales.

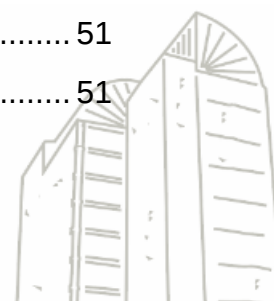


TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. GENERALIDADES	11
2.1. INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO	11
2.1.1. UBICACIÓN.....	11
2.1.2. POBLACIÓN.....	12
2.1.3. VÍAS DE ACCESO	12
2.1.4. ECONOMÍA.....	13
2.1.5. SALUD.....	14
2.1.6. EDUCACIÓN	15
2.1.7. SERVICIOS PÚBLICOS	15
2.1.7.1. ACUEDUCTO Y ALCANTRILLADO	16
2.1.7.2. GAS.....	17
2.1.7.3. LUZ	17
2.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	20
2.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
2.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	20
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. AGUA.....	20
3.1.1. AGUA POTABLE.....	20
3.1.2. CALIDAD DE AGUA.....	20
3.1.3. DOTACIÓN NETA	21
3.1.4. POBLACIÓN ATENDIDA O SERVIDA	21
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	21
3.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	21
3.2.1.1. TURBIDEZ:	21
3.2.1.2. COLOR	21
3.2.1.3. CONDUCTIVIDAD	21
3.2.1.4. TEMPERATURA	21
3.2.1.5. OLOR Y SABOR	21
3.2.1.6. SÓLIDOS	22



3.2.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	22
3.2.2.1. ALCALINIDAD.....	22
3.2.2.2. ACIDEZ	22
3.2.2.3. pH (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)	22
3.2.2.4. DUREZA TOTAL.....	22
3.2.2.5. DUREZA CÁLCICA.....	22
3.2.2.6. CLORUROS	23
3.2.2.7. NITRATOS	23
3.2.2.8. SULFATOS	23
3.2.2.9. OXÍGENO DISUELTO (OD)	23
3.2.2.10. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	23
3.2.2.11. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....	23
4. MARCO LEGAL.....	24
5. COMPONENTE HIDROLÓGICO.....	25
5.1. ACTUALIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL MUNICIPAL	30
6. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN	32
7. DOTACION NETA	33
8. DOTACION BRUTA.....	34
10. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD)	35
11. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH)	36
12. CAUDAL DE DISEÑO	36
13. FUENTE DE ABASTECIMIENTO	37
14. CALIDAD DEL AGUA.....	37
14.1. MUESTRA UNO (VEREDA BARRO BLANCO)	38
14.2. MUESTRA DOS (POZO 8, ACUEDUCTO DE MADRID, CUNDINAMARCA)..	41
15. ESTIMACIÓN IRCA:.....	49
16. REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA	51
16.1. CAPTACIÓN	51
16.2. TORRE DE AIREACIÓN	51



16.3. MEZCLA RÁPIDA POR VERTEDERO RECTANGULAR	55
16.4. FLOCULADOR FLUJO HORIZONTAL	59
16.5. SEDIMENTADOR LAMELAR PLACAS ANGOSTAS PLANAS.....	64
16.6. FILTRACIÓN RÁPIDA CON LECHO MIXTO	72
17. DESINFECCIÓN Y CLORACIÓN.	80
18. CONCLUSIONES.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 POBLACIÓN MUNICIPIO DE MADRID. FUENTE: DANE " PERIODO 2020-2035"	12
TABLA 2 PUESTOS DE SALUD DE MADRID. FUENTE: TABLA 2 PUESTOS DE SALUD DE MADRID. FUENTE: HTTPS://MADRIDCUNDINAMARCA.MICOLOMBIADIGITAL.GOV.CO/SITES/MADRIDCUNDINAMARCA/CONTENT/FILES/001290/64461_64456_DOCUMENTODIAGNOSTICOSUJETOAMODIFICACIONESA.PDF HTTPS://MADRIDCUNDI	14
TABLA 3: NORMATIVIDAD APLICADA AL USO Y PARÁMETROS DE DISEÑO DEL AGUA POTABLE. FUENTE: POT MADRID CUNDINAMARCA.....	24
TABLA 4: TABLA 61 HABITANTES Y NÚMERO DE VIVIENDAS POR BARRIO. FUENTE: POT MADRID (2021)	33
TABLA 5: DOTACIÓN NETA POR ALTURA DE ZONA ATENDIDA.....	34
TABLA 6: COEFICIENTES DE MAYORACIÓN. FUENTE: DECRETO 0330 DE 2017.	35
TABLA 7: CAUDALES DE DISEÑO. FUENTE: RESOLUCIÓN 0330 2017	36
TABLA 8: PARÁMETROS FÍSICOS AGUA CRUDA “MUESTRA UNO”: FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	38
TABLA 9: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS AGUA CRUDA Y TEST DE JARRAS “MUESTRA DOS”. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	42
TABLA 10: CÁLCULO DEL IRCA. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	49
TABLA 11: CLASIFICACIÓN IRCA %. FUENTE: RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	50
TABLA 12: PARÁMETROS DE REFERENCIA DE DISEÑO DE AIREADORES DE BANDEJAS MÚLTIPLES. FUENTE: RESOLUCIÓN 0330 DE 2017	51
TABLA 13: EFICIENCIA CRÍTICA DEL SEDIMENTADOR. FUENTE: (LOZANO W Y BRAVO G, (2015). "POTABILIZACIÓN DE AGUA: PRINCIPIOS DE DISEÑO, CONTROL DE PROCESOS Y LABORATORIO)	64

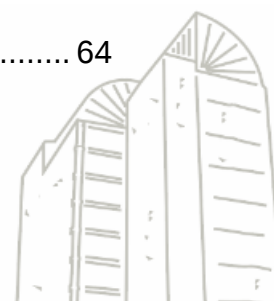


TABLA 14: ITERACIÓN DE DIÁMETROS EN FUNCIÓN DE GRADIENTE. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	68
TABLA 15: DIÁMETRO DE LA TUBERÍA MÚLTIPLE. FUENTE POTABILIZACIÓN DEL AGUA: PRINCIPIOS DE DISEÑO, CONTROL DE PROCESOS Y LABORATORIO (LOZANO. W Y BRAVO. G, 2015)	71
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS DE FILTRACIÓN CONVENCIONAL. FUENTE: RESOLUCIÓN 0330 DE 2017.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 " UBICACIÓN MUNICIPIO DE MADRID". AUTORÍA PROPIA	11
FIGURA 2 " PLANO VIAL DEL MUNICIPIO DE MADRID". AUTORÍA PROPIA	13
FIGURA 3 FUENTES HÍDRICAS PRINCIPALES DE MADRID. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	26
FIGURA 4: TRAMO RÍO BOJACÁ. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	26
FIGURA 5: TRAMO RÍO SUBACHOQUE. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	27
FIGURA 6: POZO DE ABASTECIMIENTO LUSITANIA. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	28
FIGURA 7: POZO DE ABASTECIMIENTO SOCIEGO. FUENTE: DIVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO 2017	29
FIGURA 8: POZO "8" ACUEDUCTO DE MADRID. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	29
FIGURA 9: TANQUE DE ALMACENAMIENTO EMPRESA DE ACUEDUCTO. FUENTE: ELESPECTADOR.COM/BOGOTA/CUNDINAMARCA-MADRID-YA-CUENTA-CON-UNO-DE-LOS-TANQUES-DE-ALMACENAMIENTO-DE-AGUA-MAS-GRANDE-DEL-PAIS/	30
FIGURA 10 DELIMITACIÓN BARRIOS. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	33
FIGURA 11: ENSAYO CONO DE IMHOFF. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	39
FIGURA 12: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO. FUENTE: CONFIAR S.A.S	47



ÍNDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1: DISTRIBUCIÓN DE ACCESO A SERVICIOS PÚBLICOS.....	15
GRAFICA 2: DISTRIBUCIÓN SERVICIO DE ALCANTARILLADO. FUENTE: DANE 2018	16
GRAFICA 3: DISTRIBUCIÓN SERVICIO DE ACUEDUCTO. FUENTE: DANE 2018...	16
GRAFICA 4: DISTRIBUCIÓN SERVICIO DE GAS. FUENTE: DANE 2018	17
GRAFICA 5: DISTRIBUCIÓN SERVICIO DE ENERGÍA. FUENTE: DANE 2018	18
GRAFICA 6: GRÁFICA DE TURBIEDAD EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	43
GRAFICA 7: GRÁFICA DE CONDUCTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	44
GRAFICA 8: GRÁFICA DE PH EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	45
GRAFICA 9: GRÁFICA DE PH Y ALCALINIDAD EN FUNCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	46



RESUMEN

En el barrio del Sosiego se encuentra la estructura de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) la cual dejó de funcionar hace 5 años aproximadamente, esto ha generado que los barrios San Carlos, San José y Parques de Santa María, presente problemas con el servicio de agua potable como lo son: el no contar con una presión y calidad óptima para el consumo, esto llegando a generar que los ciudadanos del sector no confían totalmente en el agua que llega a sus hogares, por esta razón se hará un propuesta de trabajo de investigación donde se realizó el rediseño de la PTAP del Sosiego, junto a los estudios de laboratorio físico-químicos y microbiológicos del punto que suministra esta planta, se presentó la propuesta con la finalidad de poder ayudar con la calidad de vida de las personas y así mismo contribuir con la confianza de ellos.

ABSTRACT

In the neighborhood of El Sosiego is the structure of a drinking water treatment plant (PTAP) which stopped working about 5 years ago, this has generated that the neighborhoods of San Carlos, San José and Parques de Santa María, present problems with the drinking water service as they are: not having a pressure and optimal quality for consumption, this coming to generate that the citizens of the sector do not fully trust in the water that reaches their homes, for this reason will be made a proposal of research work where was carried out the redesign of the PPA del Sosiego, together with the physical-chemical and microbiological laboratory studies of the point that supplies this plant, presented the proposal with the aim of being able to help with the quality of life of people and also contribute to their confidence.



1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que siempre ha sido un insumo fundamental no solo para los seres vivos, sino que también para el crecimiento y desarrollo en todos los ámbitos como lo son la economía, la cultura y el desarrollo industrial a nivel mundial, por esta razón es de suma importancia contar con controles y tratamientos adecuados de este recurso para evitar cualquier tipo de amenazas a los consumidores, principalmente las enfermedades de carácter gastrointestinal que pueden llegar a ocasionar la muerte.

El siguiente proyecto investigación fue realizada en el municipio de Madrid que hace parte del departamento de Cundinamarca, donde se realizó una propuesta de rediseño de la Planta de tratamiento de agua potable del Sosiego, esta PTAP abastecía a los barrios San Carlos, San José y Parques de Santa María, una de las principales causas por las que dejó de funcionar debido a la caída de la bomba que transportaba el agua hacia la planta, en el cual con ayuda del municipio intentaron recuperar la bomba, en donde con las diversas intervenciones se ocasionó el colapso del pozo generando la pérdida de este punto de captación.

Se realizarán diferentes estudios para poder llegar al objetivo de esta investigación, como lo son análisis de resultados de los laboratorios físico-químicos y microbiológicos de los cuales se realizarán a dos puntos de captación diferentes, buscando el más óptimo, en el cual se propondrá un comparativo y conclusión de decisión del punto que cumple con parámetros establecidos por la normatividad vigente, dejando una propuesta de infraestructura que conlleve al tratamiento de agua potable de dicho punto y así la apertura la planta del Sosiego.

Este proyecto se realizará en base a los lineamientos que se encuentran estipulados en la resolución 0330 del 2017, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS 2000), ayudando con establecer el cumplimiento de los parámetros y memorias de cálculos basándose en libros como Lozano William y Bravo Guillermo (Lozano W y Bravo G, (2015), Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio) y Romero Jairo (Romero J, (1999) 3ª edición, Potabilización del agua).

Finalizando esta propuesta de rediseño se espera poder dar a conocer al municipio de Madrid, Cundinamarca en donde acojan esta idea con el fin de generar un mayor beneficio para la población afectada.



2. GENERALIDADES

2.1. INFORMACIÓN DEL MUNICIPIO

2.1.1. UBICACIÓN

El municipio de Madrid está ubicado en el departamento de Cundinamarca, Colombia aproximadamente a 25 km de Bogotá D.C. en la subregión occidental de la sabana con un área superficial de 121 kilómetros cuadrados a una altura de 2554 m.s.n.m, de los cuales presenta límites políticos administrativos con los municipios de Mosquera, Subachoque, Funza, Bojacá, Zipacón, Tenjo.

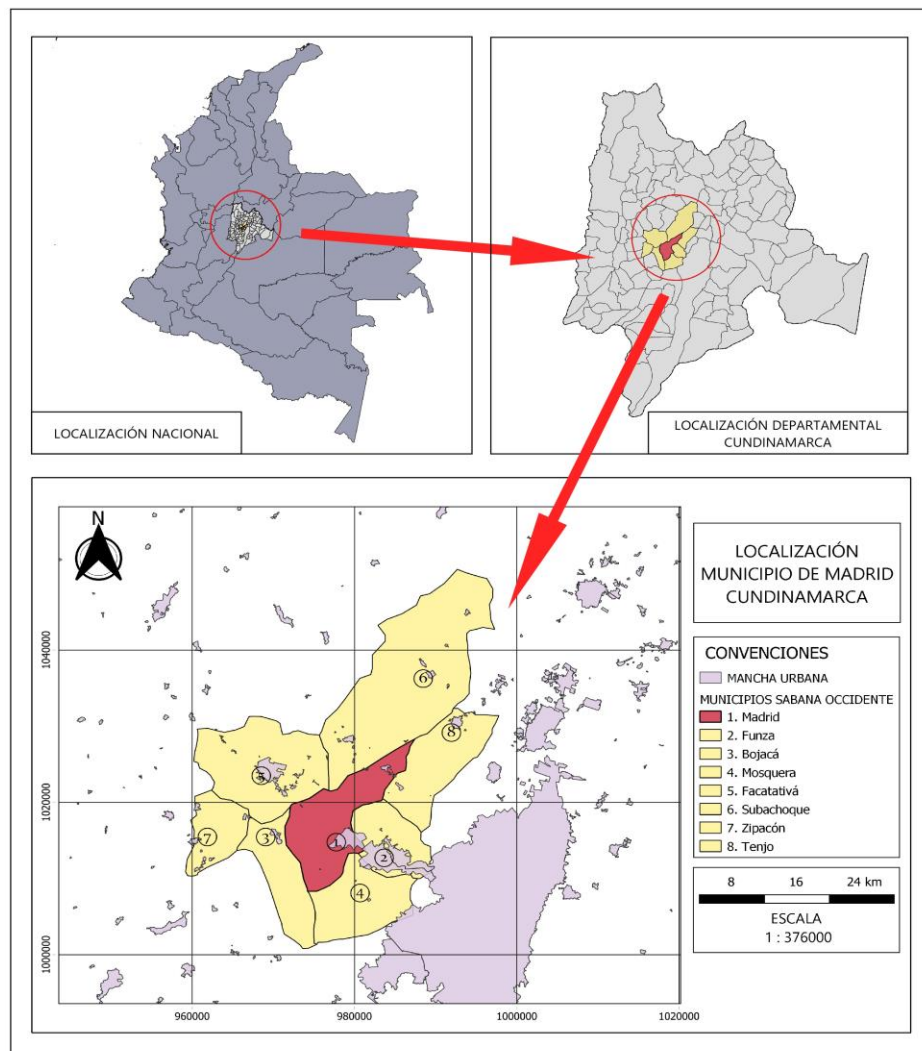


Figura 1 " Ubicación municipio de Madrid". Autoría propia

2.1.2. POBLACIÓN

El municipio de Madrid cuenta con alrededor de 134.736 habitantes según los datos arrojados por el DANE en donde se divide de la siguiente manera:

Área Geográfica	Población
Cabecera Municipal	128,620
Centros poblados y rural	6,116
Total	134,736

Tabla 1 Población municipio de Madrid. Fuente: DANE " Periodo 2020-2035"

De tal manera el municipio se encuentra en un proceso de crecimiento demográfico, gracias a los proyectos de urbanización donde se proyecta un alza en cuanto a su población

2.1.3. VÍAS DE ACCESO

El municipio de Madrid cuenta con dos vías importantes para el orden regional y nacional, las cuales son la autopista Bogotá-Medellín que cruza las veredas de La Punta, Puente Piedra y Chauta por el norte del municipio y la troncal de occidente que atraviesa el casco urbano y es conocida como una de las más importantes porque conecta 10 departamentos y permite el flujo de vehículos de carga liviana y carga pesada los cuales suministran toneladas de productos. El municipio se caracteriza por el desarrollo industrial que se encuentra a lo largo de la carretera de occidente, donde está ubicado el casco urbano; Puente Piedra es un punto estratégico para el desarrollo económico del municipio de Madrid, por que articula relaciones con los sectores entre norte y sur.



Además de ello Madrid cuenta con un corredor férreo que se localiza en la parte norte del casco urbano del municipio, en donde la actividad de este correo con el tiempo no alcanzó a consolidar dinámicas urbanas permanentes en el sector. El actual trazado de la línea férrea no presenta conflictos con los ejes transversales de la malla vial, sin embargo, es necesario prever la incorporación, diseño y operación de este corredor férreo para proyectos a futuro como el Regiotram de Occidente

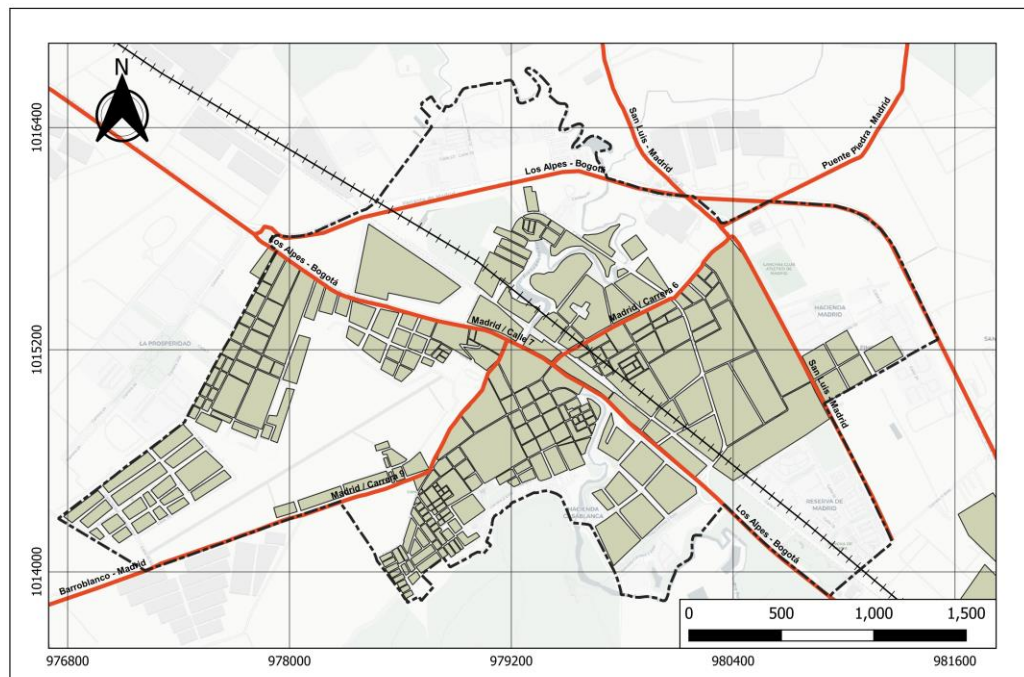


Figura 2 " Plano Vial del municipio de Madrid". Autoría Propia

2.1.4. ECONOMÍA

En cuanto a la economía el municipio de Madrid cuenta con actividades terciarias como lo son el comercio, el transporte, la medicina, la educación, servicios públicos, entre otros , el cual llegó a recaudar 675 miles de millones, en cuanto al sector secundario que trae inmerso la construcción, las industrias manufactureras de productos y mercancías, aportando un total de 643 miles de millones de pesos, finalmente en cuanto las actividades primarias en el municipio se destacan la agricultura, la ganadería, la apicultura y la acuicultura, la cual generó un ingreso de 114 miles de millones de pesos a la economía municipal.



De lo anterior se analiza que Madrid posee capacidades productivas junto a su crecimiento económico, llegando a generar una gran fuerza laboral y por ende una población creciente (Madrid crece contigo, 2020)

2.1.5. SALUD

En cuanto a salud según (Plan de Ordenamiento Territorial, 2021) menciona que aproximadamente 54036 habitantes del municipio son servidos por el servicio de salud, es decir el 40% de la población de Madrid. Actualmente el municipio cuenta con la siguiente infraestructura.

Nombre	Clase	Servicios	Estado
Hospital Santa Matilde	IPS Pública Departamental	Primer nivel, consulta externa, urgencias, cirugías, partos, servicios especializados y hospitalización	Servicios de primer nivel, cuenta con 31 camas para hospitalización
Puesto de salud vereda Puente Piedra	IPS Pública Municipal	consulta externa, urgencias	Administrado por el Hospital Santa Matilde
Puesto de salud el Sosiego	IPS Pública Municipal	consulta externa, urgencias	Administrado por el Hospital Santa Matilde
Centro ambulatorio Gustavo Escallón Caycedo	IPS Privada	Primer nivel consulta externa y servicios especializados	Servicio Suspendido
Centro de salud Coorvesalud	IPS Privada	Primer nivel consulta externa, odontología	Servicio Activo
Centro de salud IPS	IPS Privada	Primer nivel	Servicio Activo

Tabla 2 Puestos de salud de Madrid. Fuente: Tabla 2 Puestos de salud de Madrid.
Fuente: https://madridcundinamarca.micolombiadigital.gov.co/sites/madridcundinamarca/content/files/001290/64461_64456_documentodiagnosticosujetoamodificacionesa.pdf <https://madridcundi>

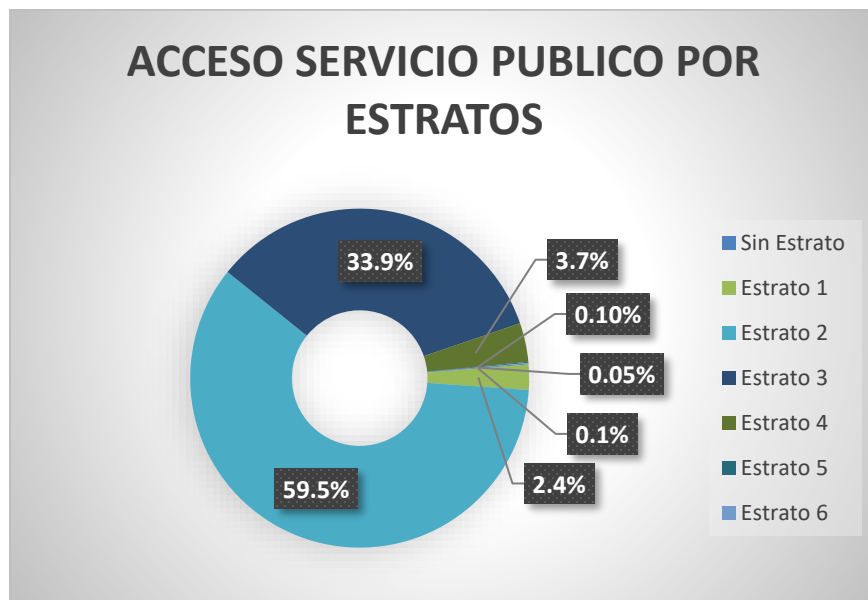


2.1.6. EDUCACIÓN

En cuanto a educación el municipio agrupa varias instituciones para preescolar, primaria, secundaria básica y media, centros de educación de adultos y especiales, centros de investigación y capacitación, actualmente Madrid cuenta con 3 colegios públicos y 50 colegios privados, de los cuales estos últimos 40 ofrecen preescolar, 42 educaciones primaria y 20 bachillerato completo

2.1.7. SERVICIOS PÚBLICOS

El municipio de Madrid según datos del DANE 2018 registra por estratos la siguiente estadística de acceso a los servicios públicos



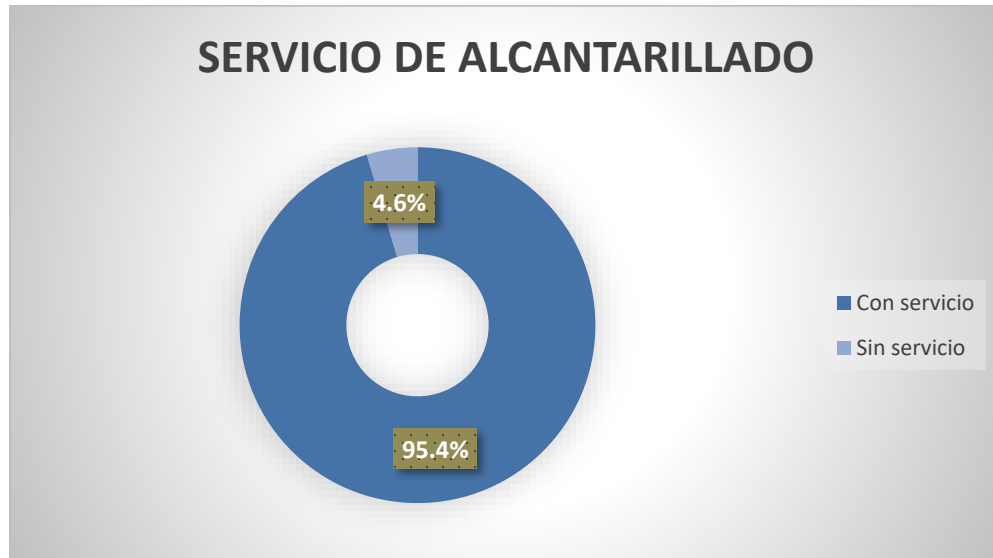
**Grafica 1: Distribución de acceso a servicios públicos
por estrado de Madrid. Fuente: DANE 2018**

De lo cual se menciona que el estrato 2 puntea con el 59.5% en accesibilidad a los servicios públicos mencionando que la mitad de la población del municipio es de este estrato, siguiendo en ese orden de ideas el estrato 3 tiene un acceso a servicios públicos en un 33.9%.

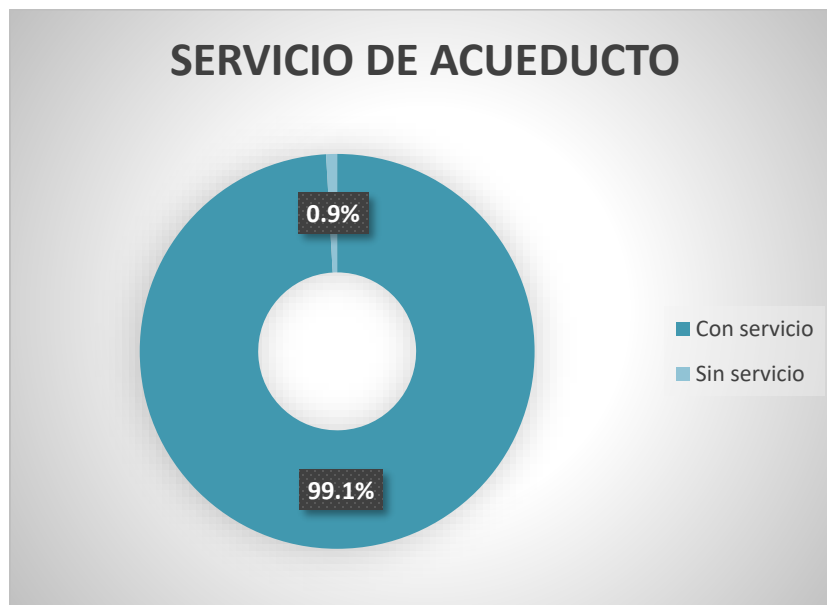


2.1.7.1. ACUEDUCTO Y ALCANTRILLADO

En cuanto a servicio de acueducto en Madrid según datos oficiales del (DANE, 2018), se presentan los siguientes resultados



Grafica 2: Distribución servicio de alcantarillado. Fuente: DANE 2018



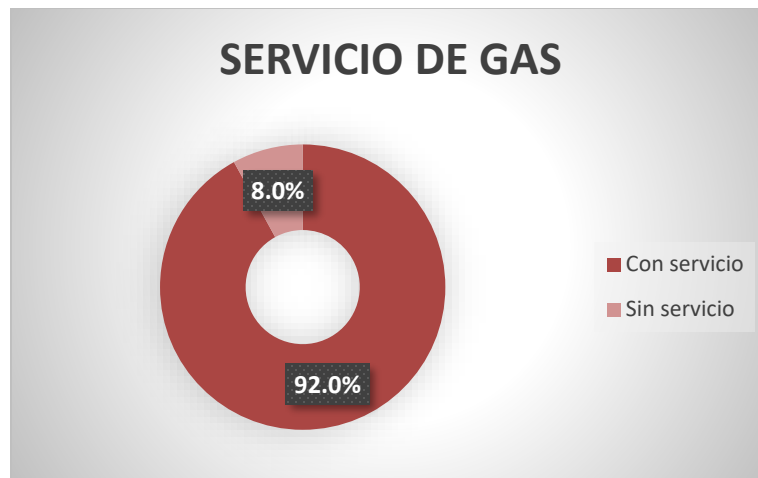
Grafica 3: Distribución servicio de acueducto. Fuente: DANE 2018



De lo anterior se analiza que el municipio cuenta con un servicio de acueducto y alcantarillado, el cual sule a la mayor parte de las viviendas que se encuentran en el municipio tanto en la parte urbana como en la parte rural.

2.1.7.2. GAS

En cuanto a servicio de gas en Madrid según datos oficiales del (DANE, 2018), arrojó los siguientes resultados



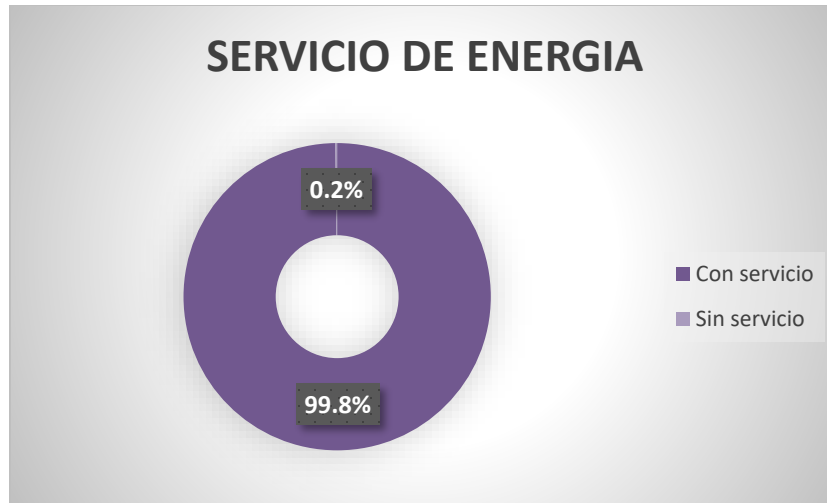
Grafica 4: Distribución servicio de gas. Fuente: DANE 2018

Se analiza que la cobertura en cuanto al servicio de gas a nivel municipal se encuentra entre un total de 33.089 viviendas según lo reportado por el DANE, el cual se encuentra distribuido en un 92% equivalente a un total de 30.442 viviendas que tiene servicio de gas y el restante del 8% equivale a 2.647 viviendas que no cuentan con el servicio.

2.1.7.3. LUZ

En cuanto a servicio de luz en Madrid según datos oficiales del (DANE, 2018), arrojó los siguientes resultados





Grafica 5: Distribución servicio de energía. Fuente: DANE 2018

En cuanto al servicio de energía el servicio tiene una cobertura casi total a nivel municipal el cual no genera una deficiencia en este servicio.

2.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en el municipio de Madrid se han presentado diversas problemáticas durante su desarrollo urbano; en el cual se encuentra en un crecimiento urbanístico lo que conlleva a una aumento poblacional, llegando a generar que la cobertura de servicios tenga más demanda y pueda llegar a suplir las necesidades de la población, una de las falencias que se tiene en el municipio que se ha evidenciado recae en el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua potable, el cual debería ser un servicio de calidad que se le brinda a la comunidad madrileña, con altos estándares tecnológicos y de seguridad, actualmente existe una planta de tratamiento de agua potable dentro del municipio que se encuentra sin funcionamiento debido a una situación que se presentó en el pozo que abastecía la planta, en donde se tuvo tomar la decisión de sacar de funcionamiento la PTAP del municipio, esta planta se encuentra ubicada en la zona del Sosiego, barrio del municipio de Madrid, Cundinamarca la cual da suministro de agua potable a los barrios San Carlos, San José y Parques de Santa María, lo cual ha generado grandes afectaciones para la población ya que reduce la capacidad y un bajo suministro del recurso hídrico, haciendo que la población se sienta inconforme con el servicio que se les brinda y teniendo que acudir a otros métodos de obtención.



Como se sabe el agua es uno de los recursos más importantes e indispensables para el ser humano, sin embargo conforme pasan los años, se ha convirtiendo en un recurso que ha empezado a tomar relevancia, teniendo en cuenta un escenario donde el recurso empiece a escasear, donde se han tenido en cuenta diversos puntos de vista acerca de las causas de esta situación, se ha mencionado que esto se da por motivos de la contaminación en las diferentes fuentes hídricas, donde se vierten sustancias nocivas para el recurso sin tener en cuenta el impacto de ellas, no se hacen los respectivos planes preventivos y correctivos, generando una mayor afectación en los ríos, humedales y/o fuentes subterráneas.

El escenario que se presenta ante el recurso hídrico para ser utilizado en beneficio del consumo humano se ha llegado a implementar infraestructuras denominadas PTAP (planta de tratamiento de agua potable) las cuales mediante procesos físicos, químicos y resultados de laboratorio se logre tratar esas fuentes de agua de tal manera que queden libres de agentes contaminantes y sean óptimas para el consumo de las poblaciones urbanas y rurales.

Sin embargo, una de las PTAP del municipio de Madrid conocida como PTAP Sosiego EAAAM ESP se encuentra fuera de funcionamiento lo cual no logra abastecer con el servicio completo a las poblaciones de los barrios San Carlos, San José y Parques de Santa María en donde incurre una problemática la cual busca evaluar las principales causas de la suspensión de la planta y posibles problemáticas generadas durante el periodo de cierre.

Por lo anterior; la pregunta de investigación que se acomoda al siguiente proyecto sería: **¿Cómo generar un rediseño de la PTAP del Sosiego, para suplir las necesidades de la población en cuanto a calidad y continuidad del servicio de los barrios San Carlos, San José y Santa María del municipio de Madrid, ¿Cundinamarca?**



2.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Proponer el rediseño de ingeniería de detalle de la PTAP el Sosiego para surtir con el servicio de agua a los barrios San José, San Carlos, Santa María; del municipio de Madrid Cundinamarca mediante el análisis de calidad del agua y operaciones unitarias necesaria para la potabilización del agua.

2.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- ✓ Recopilar información básica en las entidades municipales respecto al área de influencia y población beneficiada del área estudio.
- ✓ Analizar los parámetros físico-químicos y microbiológicos de calidad del agua para el suministro a la comunidad, en base a un análisis del IRCA.
- ✓ Presenta una propuesta de diseño detallado de las estructuras hidráulicas que se requiere para satisfacer la necesidad de potabilización del agua que abastecerá a la comunidad atendida.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. AGUA

3.1.1. AGUA POTABLE

Es denominada agua potable aquel recurso hídrico apto para el consumo humano, es agua que sirve para beber o ser consumida por personas o animales, evitando el riesgo de contraer enfermedades, cumpliendo con los requisitos básicos establecidos normativamente lo cual indica que debe ser limpia, insípida, inodora, incolora y libre de agentes contaminantes, pero debe contener las sustancias que son beneficiosas para el organismo. (Ministerio de protección social, Decreto número 1575 de 2007).

3.1.2. CALIDAD DE AGUA

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia (Ministerio de protección social, Decreto número 1575 de 2007).



3.1.3. DOTACIÓN NETA

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor o de un habitante, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, título B. 2017).

3.1.4. POBLACIÓN ATENDIDA O SERVIDA

Es el número de personas abastecidas por un sistema de suministro de agua. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y ministerio de protección social, resolución número 2115 de 2007).

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

3.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

3.2.1.1. TURBIDEZ:

La turbidez es una medida de grado en la cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

3.2.1.2. COLOR

El color es uno de los parámetros organolépticos que determina la característica física relacionada con la apariencia y calidad del agua, en este se evidencia la presencia de sustancias suspendidas o disueltas, también es conocido como color aparente

3.2.1.3. CONDUCTIVIDAD

Es una propiedad física que se utiliza para evaluar la concentración total de iones disueltos en el agua, esta depende de la temperatura, cantidad de impurezas o material particulado.

3.2.1.4. TEMPERATURA

Es una característica física que permite medir la sensación de calor o frío que está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, esta se mide en una escala lineal de grados centígrados o grados Fahrenheit.

3.2.1.5. OLOR Y SABOR

Son dos propiedades físico químicas que definen junto a otros indicadores la calidad estética del agua, si la misma no cumple con un olor y sabor adecuado se considera no apta para el consumo humano.



3.2.1.6. SÓLIDOS

Definido como la cantidad de partículas suspendidas presente en un fluido en este caso el agua que se encuentra luego de realizar un proceso de captación

3.2.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

3.2.2.1. ALCALINIDAD

Este parámetro tiene la capacidad de neutralizar ácidos presentes en un cuerpo de agua, además expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH

3.2.2.2. ACIDEZ

Es la medida que determina la cantidad de ácido presente en una sustancia teniendo en cuenta la escala de pH que indica que entre los rangos de 0 a 6.9 es ácida

3.2.2.3. pH (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)

Es la concentración de iones de hidrógeno en el agua, la cual se expresa por la nomenclatura de pH, a su vez su escala de medición se encuentre entre 0-14, seccionada de la siguiente manera (Mansilla, G. 2013).

- Estado ácido se representa en la escala de pH de valores entre 0-6.9
- Estado neutro se encuentra en 7
- Estado alcalino se encuentra entre 7.1-14
-

3.2.2.4. DUREZA TOTAL

Es la suma de las concentraciones de calcio y magnesio las cuales se expresan en mg/l

3.2.2.5. DUREZA CÁLCICA

Es la propiedad que indica la cantidad de calcio que se encuentra disuelto en una muestra representativa la cual junto a la dureza total define el rango de clasificación del agua si se considera como dura, blanda, muy suaves, muy duras expresado en ppm de carbonato de calcio



3.2.2.6. CLORUROS

El cloruro es un anión que se encuentra en fuentes de agua superficial y subterránea como pozos, agua de superficie y mar, de igual manera también se encuentra en el agua lluvia y el agua de grifo municipal, los altos niveles de cloruro pueden generar una gran contaminación, problemas de salud y sanidad. (Baker G. 2018).

3.2.2.7. NITRATOS

Los nitratos son indicadores esenciales para la calidad del agua, estos se encuentran relacionados con el ciclo de nitrógeno del suelo y plantas superiores (Molina, 2003)

3.2.2.8. SULFATOS

Los sulfatos son compuestos que están dentro del agua de forma natural, mediante procesos de lavado y disolución parcial de materiales del terreno, sin embargo, también se evidencian en el agua por causa de procesos antropogénicos.

3.2.2.9. OXÍGENO DISUELTO (OD)

Concentración de oxígeno medida en un líquido, por debajo de la saturación normalmente se expresa en Mg/l (Resolución 1096 de 2000), en el cual esta disuelto a una temperatura determinada, el cual es esencial para la vida dentro del medio.

3.2.2.10. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable (Resolución 1096 de 2000).

3.2.2.11. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas. (Resolución 1096 de 2000).



4. MARCO LEGAL

La normatividad contemplada para la elaboración del rediseño de la PTAP Sosiego del municipio de Madrid Cundinamarca se basó en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (Decreto 0330 del 2017) el cual fue modificado por la (Resolución 0799 del 9 de diciembre del 2021).

Tabla 3: Normatividad aplicada al uso y parámetros de diseño del agua potable. Fuente: POT Madrid Cundinamarca

AÑO	PRESENTACIÓN	TÍTULO	OBJETIVO
2017	Resolución 0330	Reglamento Técnico RAS	La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.
2000	Resolución 1096	"Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS"	Este reglamento tiene como objetivo señalar los requisitos básicos necesarios para la reconstrucción de una PTA, señalados en el capítulo IV en los artículos 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21.
2007	Decreto 2575		Protección y control de la calidad del agua
2007	Resolución 2115		Características, instrumentos básicos y frecuencias del control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

- Resolución 2115 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para



la calidad del agua para consumo humano. Teniendo en cuenta los capítulos II, III, IV.

- Resolución 2320 de 2009, por la cual se modifica parcialmente la resolución número 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS, artículo 67.

5. COMPONENTE HIDROLÓGICO

En cuanto a lo que respecta al municipio de Madrid, Cundinamarca y su abastecimiento de fuentes hídricas, según (Díaz y Aguilar, 2018) Madrid al ser parte de la cuenca del río Bogotá y estar localizada en la parte media de ella, cuenta como su principal fuente de recurso hídrico vital y de una importante ubicación estratégica para el municipio, llegando a ser considerado como un afluente indirecto al río Bogotá.

Asimismo, la preservación de la fuente hídrica se utiliza para el abastecimiento de estructuras de potabilización de agua siendo un factor importante, ya que si se deterioran estas fuentes hará que los procesos de potabilización sean más costosos y a su vez pueda que no sean los suficientemente efectivos debido al deterioro de las fuentes hídricas. En cuanto a los procesos y técnicas de tratamiento, se debe entrar a analizar parámetros como las condiciones climáticas y el comportamiento de consumo impulsado por la cultura, que varían de una región a otra (Ortiz Rodríguez, O, Villamizar-Gallardo, R. A., & García, R. G. (2016)); llegando a encontrarse con diferentes casos para poner en marcha los procesos y técnicas de tratamientos

Además de ello según las indagaciones preliminares sobre el componente hídrico del municipio de Madrid está compuesto de la siguiente manera: Las aguas que atraviesan al municipio son entregadas al río Bogotá debido a la convergencia de las subcuencas de los ríos Bojacá y Subachoque el cual al unir sus cauces forman el río Balsillas, en donde se considera como un afluente directo al río Bogotá ; de esta forma Madrid se encuentra asentado en las cuencas hidrográficas del sector Tibitoc y salto de Tequendama , cuenca del río Chicú y Cuenca del río Balsillas.



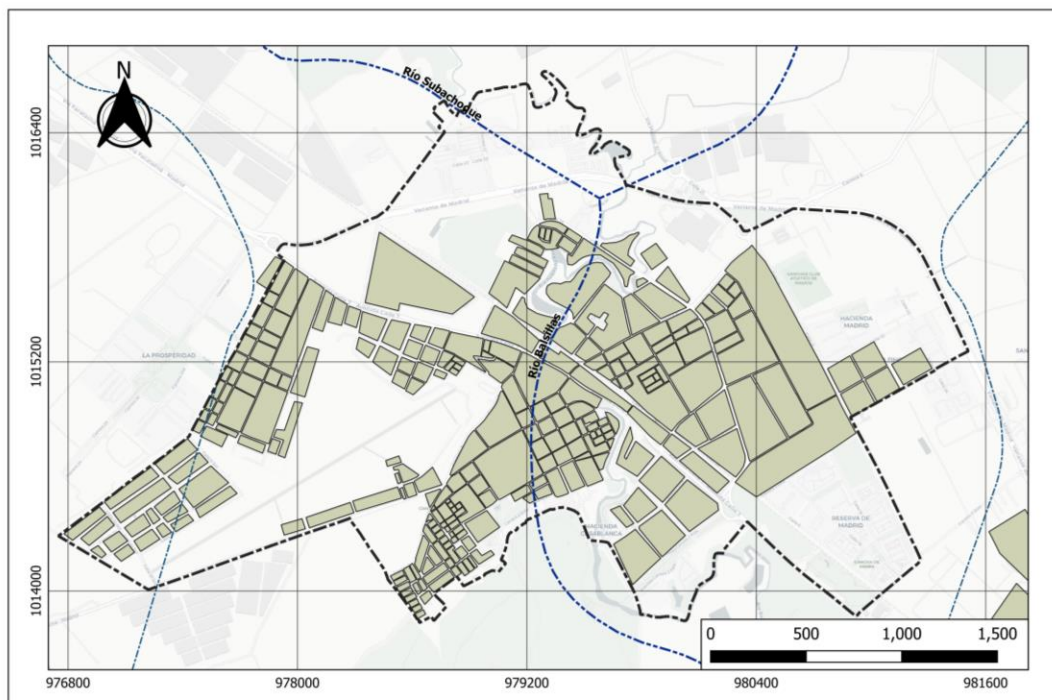


Figura 3 Fuentes hídricas principales de Madrid. Fuente: Autoría propia

- ❖ **Río Bojacá:** Se encuentra localizado en las partes suroccidente de la sabana, el cual hace parte de la conformación de la laguna de la herrera con un área de aproximadamente 617.14 m² localizada entre el cerro Casablanca y la carretera que lleva de Mosquera a la Herrera.



Figura 4: Tramo río Bojacá. Fuente: Autoría Propia



- ❖ **Río Subachoque:** Este río nace a los 3450 m.s.n.m en las montañas localizadas al occidente del río Frío, su recorrido en Madrid es alrededor de 37.5 km y en su parte aguas abajo sobre la superficie topográfica a una altura de 2600 m.s.n.m recorre aproximadamente 12 km recibiendo el agua de las quebradas del Corzo y la Chucua. La importancia a nivel municipal de esta subcuenca en términos de ocupación es del 70% del territorio del municipio en el cual atraviesa por la mitad al municipio. El río Subachoque además de ser una importante fuente hídrica para el municipio y las zonas rurales como lo son las veredas de puente piedra y la punta llega a alcanzar un recorrido de 20 km antes de entrar al municipio de Funza, en donde el río Subachoque se caracteriza por su aumentar su cauce por temporada de invierno, pero cuando se llega la época de sequía el suministro hídrico se ve afectado de tal manera.



Figura 5: Tramo río Subachoque. Fuente: Autoría Propia

Por otra parte en cuanto el abastecimiento del municipio de Madrid, se encuentra el pozo del barrio Lusitania que cuenta con un caudal de 50 l/s a una profundidad de 540 metros, el cual tiene como objetivo ayudar a suministrar la red de acueducto del municipio, el otro punto es el pozo principal 8 que se encuentra ubicado dentro de la empresa de acueducto, este cuenta con un caudal de 16 l/s,



siendo estos dos puntos las principales fuentes de abastecimiento para el municipio , en cuanto a lo que respecta otro de los puntos que suministra a Madrid es el pozo del Sosiego, el cual se encuentra abandonado donde se producía un caudal de 8 l/s, estos puntos hídricos reflejan el 20% del recurso del municipio, el otro 80% se complementa con la compra de agua en bloque a la ciudad de Bogotá



Figura 6: Pozo de abastecimiento Lusitania. Fuente: Autoría Propia





Figura 7: Pozo de abastecimiento Sociego. Fuente: División de plantas de tratamiento 2017



Figura 8: Pozo "8" Acueducto de Madrid. Fuente: Autoría Propia

Además del abastecimiento del municipio; Madrid cuenta con un tanque de almacenamiento el cual tiene una capacidad de 4.800 m³ que cumple con el



objetivo de mejorar la presión en la distribución del servicio de agua potable cuando se presente condiciones o escenarios de escasez para la población.



Figura 9: Tanque de almacenamiento empresa de acueducto. Fuente: elespectador.com/bogota/cundinamarca-madrid-ya-cuenta-con-uno-de-los-tanques-de-almacenamiento-de-agua-mas-grande-del-pais/

5.1. ACTUALIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL MUNICIPAL

Según como menciona (Bautista, W. T. D. (2017). El agua contaminada según la OMS “Organización mundial de la Salud” es aquella que sufre cambios drásticos en su composición a causa de la contaminación volviéndola inservible, en el mundo hay al menos 2000 millones de personas que utilizan una fuente de agua sin ser tratada para el consumo diario.

De acuerdo con los datos de la OMS, el agua contaminada transmite enfermedades gastrointestinales que pueden llegar a provocar la muerte, teniendo en cuenta que además de ser usada para el ser humano, también la utilizan para la agricultura y otras actividades que influyen al ser humano.

Además, las plantas de tratamiento de agua potable según (Van Schagen, K. M. ,2009) El estudio de las plantas y su proceso para conocer los objetivos principales se realizan por medio de métodos matemáticos los cuales son importantes para lograr una mayor mejora en el proceso del tratamiento el agua potable.



En cuanto hablamos del componente hídrico el agua es el principal recurso para el ser humano, es un componente indispensable para la vida, en el planeta el 3% del agua es dulce, dejando el otro 97% como agua no apta para el consumo, para definir estos estándares se tienen en cuenta parámetros básicos como la turbidez, color, sabor, pH y factores microbiológicos, donde el agua debe contar con altos niveles de potabilidad para poder generar su distribución a las poblaciones. (Pinheiro Viera, J. y Miorando Saikoski, P. (S.F.))

En cuanto a la infraestructura de una PTAP según (García Meneses, D. y Monsalve Diaz, D. (2020). la tecnología de aquel momento, sin embargo, durante todo este tiempo no ha recibido ningún tipo de mejoras que permitan un avance tecnológico de calidad, una de las principales problemáticas es el alto deterioro en su infraestructura.

En el municipio de Madrid Cundinamarca se han trabajado diversos métodos de potabilización de agua en el cual actualmente se opera 4 plantas de potabilización, según la empresa (E.A.A.A.M ESP; 2021) prestadora del servicio se encuentran las siguientes:

- ❖ **PTAP Principal Convencional:** Planta que utiliza un tratamiento tipo convencional es decir que incluyen proceso de aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.
- ❖ **PTAP Principal Compacta:** Realiza el mismo procedimiento que la planta convencional, pero con la directa que los procesos de coagulación, floculación y sedimentación los hace en una misma unidad.
- ❖ **PTAP Chauta y la Cuesta:** Estas dos estructuras realizan el mismo procedimiento que una planta convencional.

En cuanto a los proyectos de las plantas de tratamiento de agua potable se tiene como principal objetivo garantizar el derecho al agua potable, preservar la salud y brindar una buena calidad de vida a sus pobladores, esto se lleva a cabo con el estudio y el desarrollo de una PTAP.



De los diferentes procesos de las plantas que se encuentran en operación en el municipio; esta clasificación las define de la siguiente manera (ACUATECNICA S.A.S, 2018).

- **Plantas de tratamiento de agua potable convencional:** Este tipo de plantas se deben diseñar teniendo en cuenta una cantidad de variables como lo son el análisis de agua y trazabilidad, además debe de adicionarse un sistema modular en el cual incorpore los procesos como lo son: Coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección. Este tipo de estructura debe contar con un tanque de un material ya sea de hacer o de fibra de vidrio en donde contenga capas filtradoras de materiales como grava, arena, antracita, carbón activado o en su defecto resinas
- **Plantas de tratamiento de agua potable compacta:** Este tipo de plantas su uso es adecuado cuando se trata de comunidades pequeñas y campos constructor o petroleros , en donde no tengan un acceso central de tratamiento de agua potable como lo son los de un municipio pequeño o ciudad , su ubicación por lo general se hace cerca fuentes hídricas como lo son la ríos o lagos para la extracción del flujo y así mismo poder realizar el procedimiento de purificación y distribución de la misma, en términos generales este tipo de plantas son elaboradas en acero y luego enviadas a lugar de ubicación para ser ensambladas y posterior iniciar con su funcionamiento.

6. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN

Para poder abordar con este proyecto se iniciará por saber el número de personas que se vendrán beneficiadas a futuro por el rediseño de la PTAP Sosiego, en donde como se sabe la población varía de formas o factores importantes como son la tasa de natalidad, la tasa de mortalidad, la tasa de migraciones, etc. Siendo factores importantes para tener en cuenta, pero como el siguiente desarrollo de este proyecto es realizar un rediseño de una estructura de potabilización de agua, esta estimación de población no será proyectada a que no se evidenciará un aumento o disminución significativa en cuanto a la población de los barrios de Santa María, San Carlos y San José



En cuanto a la estimación de la población de los barrios ya mencionados anteriormente se utilizará el plan de ordenamiento territorial del municipio del año 2021 (POT), para poder cuantificar la población:

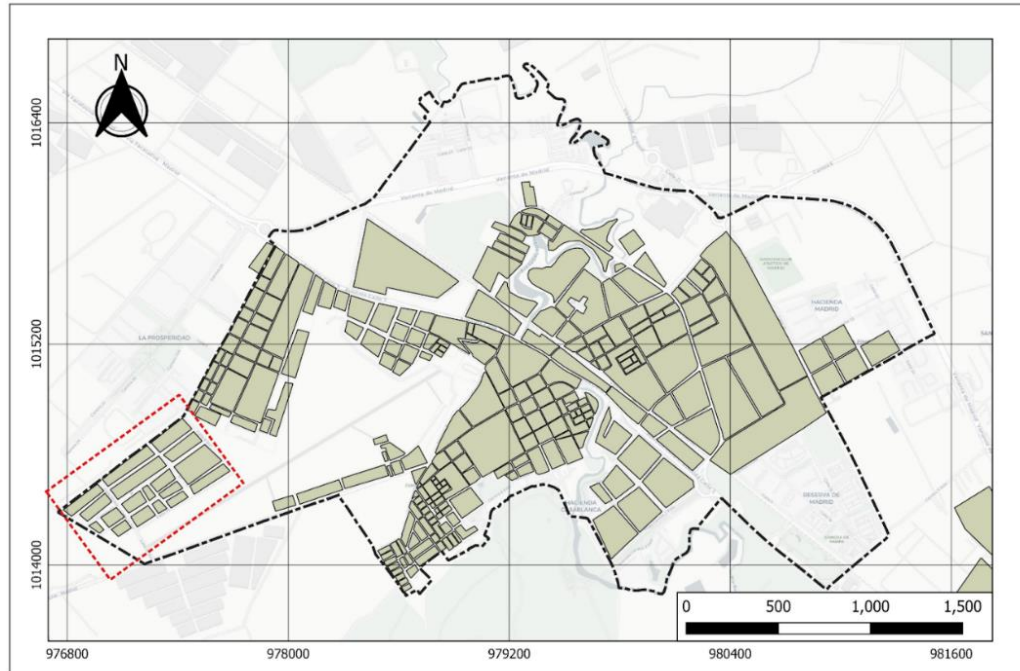


Figura 10 Delimitación barrios. Fuente: Autoría propia

POBLACIÓN SEGÚN POT (2021)	
SAN CARLOS	2912
SAN JOSE	916
SANTA MARIA	7600
POBLACION TOTAL	11428

Tabla 4: Tabla 61 Habitantes y número de viviendas por barrio. Fuente: POT Madrid (2021)

7. DOTACION NETA

En el título B - Sistemas de Acueducto del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), se define la dotación neta como la cantidad mínima del agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de una persona de la comunidad, dependiendo de la forma de proyección de la demanda de agua, esto sin tener en cuenta las pérdidas que ocurren en el sistema de acueducto



Altura promedio sobre el nivel del mar en 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

Tabla 5: Dotación neta por altura de zona atendida.

Según la tabla 5 de dotación y analizando el escenario de Madrid, este se encuentra a una altura de aproximadamente de 2.553 m.s.n.m, en ese caso el valor de dotación neta sería de 120 L/HAB*DIA.

$$D_{neta} = 120 \text{ L/hab} * d$$

8. DOTACION BRUTA

Según el título B - Sistemas de Acueducto del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), afirma que en la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de un acueducto, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{D_{neta}}{1 - \%P}$$

$$D_{bruta} = \frac{120}{1 - 0.25} = 160 \text{ L/hab} * d$$

Dbruta: Dotación bruta

(Dneta): Dotación neta

%P: Pérdidas máximas admisibles. (El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25%)



9. CAUDAL MEDIO DIARIO (Qmd)

Promedio de los consumos diarios de caudal de una jornada completa (de 0 a 24 horas) y la duración correspondiente.

$$Q_{md} = \frac{(D_{bruta} * hab)}{86400 s}$$
$$Q_{md} = \frac{(160L/hab * d * 11428 hab)}{86400} = 21.16 L/s$$
$$21.16L/s = 0.021 m^3/s$$

10. CAUDAL MÁXIMO DIARIO (QMD)

Según el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), el caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año.

Se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación y los factores de mayoración que van de la mano de la cantidad de población que será servida

POBLACIONES	K1	K2
<= 12500	1.3	1.6
> 12500	1.2	1.5

Tabla 6: Coeficientes de mayoración. Fuente: Decreto 0330 de 2017

$$QMD = Q_{md} * K_1$$
$$QMD = 21.16 L/S * 1.3 = 27.51 L/s$$

Qmd: Caudal medio diario.

K1: Coeficiente de consumo máximo diario, se obtiene de la relación entre el mayor consumo diario y el consumo medio diario, utilizando los datos registrados en un período mínimo de un año.

En caso de sistemas nuevos o que la población sea menor a 12500 Hab, el valor del coeficiente de consumo máximo diario, k1, será 1.30



11. CAUDAL MÁXIMO HORARIO (QMH)

El QMH hace referencia al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año.

Se calcula teniendo en cuenta la siguiente ecuación.

$$QMH = QMD * K_2$$

$$QMH = 27.51 \text{ L/s} * 1.6 = 44.02 \text{ L/s}$$

QMD: Caudal máximo diario

K2: Coeficiente de consumo máximo horario. En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k2, corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las características locales.” Tomado de

12. CAUDAL DE DISEÑO

Según la tabla 2 de la Resolución 0330 del 2017, si es una captación subterránea el caudal de diseño es igual que el caudal de diseño máximo (QMD):

COMPONENTE	CAUDAL DE DISEÑO
Captación fuente superficial	Hasta 2 veces QMD
Captación fuente subterránea	QMD
Desarenador	QMD
Aducción	QMD
Conducción	QMD
Tanque	QMD
Red de Distribución	QMH

Tabla 7: Caudales de diseño. Fuente: Resolución 0330 2017

$$Qd = QMD + (Qmd * 5\%)$$

$$Qd = 27.51 \text{ L/s} + (21.16 \text{ L/s} * 0.05\%)$$

$$Qd = 28.57 \text{ L/s}$$



13. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

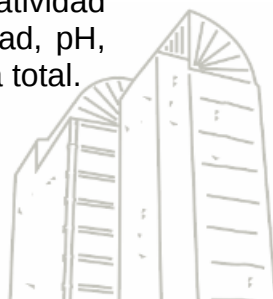
La fuente de donde se hará el abastecimiento del rediseño de la PTAP del sosiego se consideraron dos puntos de captación en donde compararemos cual será el más óptimo para que pueda surtir a la estructura, de los cuales son los siguientes:

- El primero es un afluyente ubicado en la verde de Barro blanco Madrid en el cual se encuentra a 50 m de profundidad en donde su captación es mecánica y tiene un caudal de aproximadamente 8 l/s
- El segundo punto de análisis es un pozo subterráneo denominado “pozo 8” ubicado en el centro de Madrid Cundinamarca, las características de este punto son las siguientes según (POT Madrid,2021):
 - Profundidad Total de Exploración: 530m
 - Profundidad Total de Construcción = 525m.
 - Cámara de Bombeo desde 0 a 250m en tubería de 14” y de 250 m hay una Copa – Reducción 6”
 - Zonas de filtros a partir de 257 metros.

14. CALIDAD DEL AGUA

La PTAP se rediseñara en el lugar donde se encuentra la estructura que está fuera de funcionamiento, para ello se realizará el análisis de los puntos seleccionadas para poder determinar cuál es el más óptimo como se mencionó anteriormente, para ello se harán los laboratorios respectivos para poder tomar una decisión y así mismo saber en qué condiciones se encuentra el agua en cada punto; para ello es importante entender que tratamientos como la floculación en la calidad del agua, se define como el proceso después de la coagulación, el cual 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, se unen para formar aglomerados mayores que son capaces de sedimentarse de tal manera que cumplan con la función de neutralizar las cargas electrostáticas de los contaminantes en disolución en el agua, de modo que se reducen las fuerzas de repulsión entre ellos para que las partículas se unan entre sí, formando flóculos cada vez más grandes que se puedan filtrar y eliminar con facilidad; en el cual se emplea de manera en el tratamiento de agua potable, ya que es una solución eficaz para conseguir agua limpia de residuos y apto para el consumo humano.

Gracias a este proceso se pueden obtener diferentes características físico-químicas sumamente importantes según lo establecido por la normatividad colombiana vigente, donde se tienen parámetros como el color, turbiedad, pH, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, acidez, dureza cálcica y dureza total.



Siendo así se realizarán los laboratorios de calidad de agua de los dos puntos preseleccionados, en donde se recolectaron muestras de cada uno la primera la denominaremos **muestra uno**; la cual fue tomada de la vereda de barro blanco de Madrid, Cundinamarca, la segunda muestra a la que denominaremos **muestra dos** fue tomada del pozo 8, ubicado en la Calle 9 No. 7-99 de Madrid Cundinamarca, en donde se evidencio lo siguiente:

14.1. MUESTRA UNO (VEREDA BARRO BLANCO)

Durante la extracción de la muestra uno, se evidencio en primera instancia un olor fétido, presentando una tonalidad café oscura en el agua, por esta razón se realizó un análisis de los parámetros físico-químicos en el agua cruda sin adicionar ningún tipo de coagulante, obteniendo los siguientes resultados.

Parámetro	Valor	Unidades
pH	6.6	-----
Conductividad	1578	µs/cm
TDS	1124	ppm
Color	Fuera de Rango	UPC
Turbiedad	105	FNU

Tabla 8: Parámetros físicos agua cruda “muestra uno”: Fuente: Autoría Propia

Durante el análisis del parámetro de color se evidencia que sobrepasa los niveles permitidos establecidos por la resolución 2115 de 2007 en donde establece un parámetro de color máximo permisible de 15 UPC, ocasionando en el equipo de laboratorio una lectura no definida, por lo tanto, no fue posible en condiciones del laboratorio de la universidad Piloto de Colombia establecer este valor.

Al evidenciar la presencia de sólidos suspendidos en el agua se decidió realizar el ensayo del cono de Imhoff para determinar una lectura aproximada de sólidos suspendidos, obteniendo un valor de 30 ml aproximadamente en un cono de 1000ml, con un contenido de sólidos del 3%, por esta razón los parámetros físico-químicos arroja datos atípicos.





Figura 11: Ensayo cono de Imhoff. Fuente: Autoría propia

➤ **Alcalinidad**

$$\text{Alcalinidad} = \frac{V_T * N_T * P_e C_a O3 * 1000}{V_m}$$

$$\text{Alcalinidad} = \frac{22.74 * 0.02 * 50 * 1000}{50} = 454.8 \text{ mg/l}$$

V_T = Volumen del titulante gastado.

N_T = Normalidad del titulante.

P_e = Peso equivalente CaCO_3 .

V_m = Volumen de la muestra.

➤ **Acidez**

$$\text{Acidez} = \frac{V_T * N_T * P_e C_a O3 * 1000}{V_m}$$

$$\text{Acidez} = \frac{0.6 * 0.02 * 50 * 1000}{50} = 12 \text{ mg/l}$$

V_T = Volumen del titulante gastado.

N_T = Normalidad del titulante.



P_e = *Peso equivalente CaCO_3 .*

V_m = *Volumen de la muestra.*

➤ **Dureza cálcica**

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{V_T * N_T * P_e \text{CaO}_3 * 1000}{V_m}$$

$$\text{Dureza cálcica} = \frac{0.6 * 0.02 * 40 * 1000}{50} = 12 \text{ mg/l}$$

V_T = *Volumen del titulante gastado.*

N_T = *Normalidad del titulante*

P_e = *Peso equivalente CaCO_3*

V_m = *Volumen de la muestra*

➤ **Dureza total**

$$\text{Dureza total} = \frac{V_T * N_T * P_e \text{CaCO}_3 * 1000}{V_m}$$

$$\text{Dureza total} = \frac{3.682 * 0.02 * 50 * 1000}{50} = 73.64 \text{ mg/l}$$

V_T = *Volumen del titulante gastado.*

N_T = *Normalidad del titulante.*

P_e = *Peso equivalente CaCO_3 .*

V_m = *Volumen de la muestra.*

➤ **Análisis de resultados laboratorio Muestra uno:**

Conforme a los resultados obtenidos durante la práctica de laboratorio, se pudo analizar que la muestra de agua tiene un valor muy alto en el parámetro del color ya que sobrepasa los rangos del medidor fotométrico el cual llega hasta 500 PCU, por otro lado, la turbiedad marco un valor de 105 FNU, lo cual es sumamente alto



conforme a lo establecido en la resolución 2115 del 2007 que establece un valor máximo aceptable de 2 UNT, esto se da por la gran cantidad de material particulado presente en la muestra de agua, lo cual no es adecuado para realizar un proceso de filtración.

En este orden de ideas se evidencia que el parámetro de sólidos totales es 1.124 ppm, lo cual quiere decir que existe una gran cantidad de sólidos suspendidos en el agua, para verificar esto se utilizó el cono de Imhoff donde se evidencia que en la parte inferior se presentan 30ml de sólidos aproximadamente, lo cual es sumamente alto.

Por consiguiente, se procede a revisar la conductividad la cual da un valor de 1578 ($\mu\text{s}/\text{cm}$) que no es aceptable ya que en la resolución 0330 del 2017 se establece que el valor máximo es de 1000 ($\mu\text{s}/\text{cm}$), esto se debe a la cantidad de sólidos disueltos en el agua, creando una relación directamente proporcional.

Se analiza la alcalinidad, ya que esta se asocia al sistema carbonato y debe de estar entre valores de 50 a 200 mg/L, según lo establecido en la resolución 2115 del 2007 entonces acorde al cálculo realizado se obtuvo un valor de 454.8mg/l lo cual no es aceptable ya que sobrepasa por el doble el valor máximo establecido, de igual forma la acidez da un valor de 12mg/l.

dureza total y dureza cálcica, evidenciando que la dureza total según los cálculos realizados da un valor de 73.64mg/l lo cual está dentro de los parámetros permitidos por la resolución 2115 del 2007 donde se establece que el valor máximo permitido es 300 mg/l, de igual forma la dureza cálcica que da un valor de 50.08mg/l cumple también, siendo el valor máximo permitido 60 mg/l.

En este orden de ideas se evidencia que la muestra uno, no cuenta con los parámetros establecidos normativamente, por esta razón el punto de captación no es óptimo para realizarle un tratamiento de potabilización haciéndolo más complejo.

14.2. MUESTRA DOS (POZO 8, ACUEDUCTO DE MADRID, CUNDINAMARCA)

De lo anterior analizado sobre la muestra uno al no ser un punto óptimo de captación para la PTAP del Sosiego, se procedió a buscar otra fuente de abastecimiento el cual se encuentra ubicada en la empresa de acueducto y alcantarillado del municipio, de allí se obtuvieron las muestras para realizar los respectivos análisis físico-químicos y microbiológico.



Durante el desarrollo del laboratorio se tuvieron en cuenta 6 jarras donde cada una de ellas contaba con una aplicación de coagulante, la cual iniciaba desde los 2 mg/l aumentado en secuencia par hasta los 12 mg/l , luego se realizó una simulación de mezcla rápida para poder generar una homogeneización de la muestra de agua con la dosis de coagulante, en donde se inició con una velocidad de 130 RPM durante 30 minutos, posterior a esto se redujo la velocidad a 40 RPM durante 15 minutos simulando el proceso de mezcla lenta en donde se busca formar las partículas sedimentables de la muestra, al terminar este tiempo se dejó reposar durante 15 minutos de tal manera que se logró asentar estas partículas hacia el fondo del recipiente generando el floc. Al finalizar se analizaron parámetros físico-químicos de las jarras.

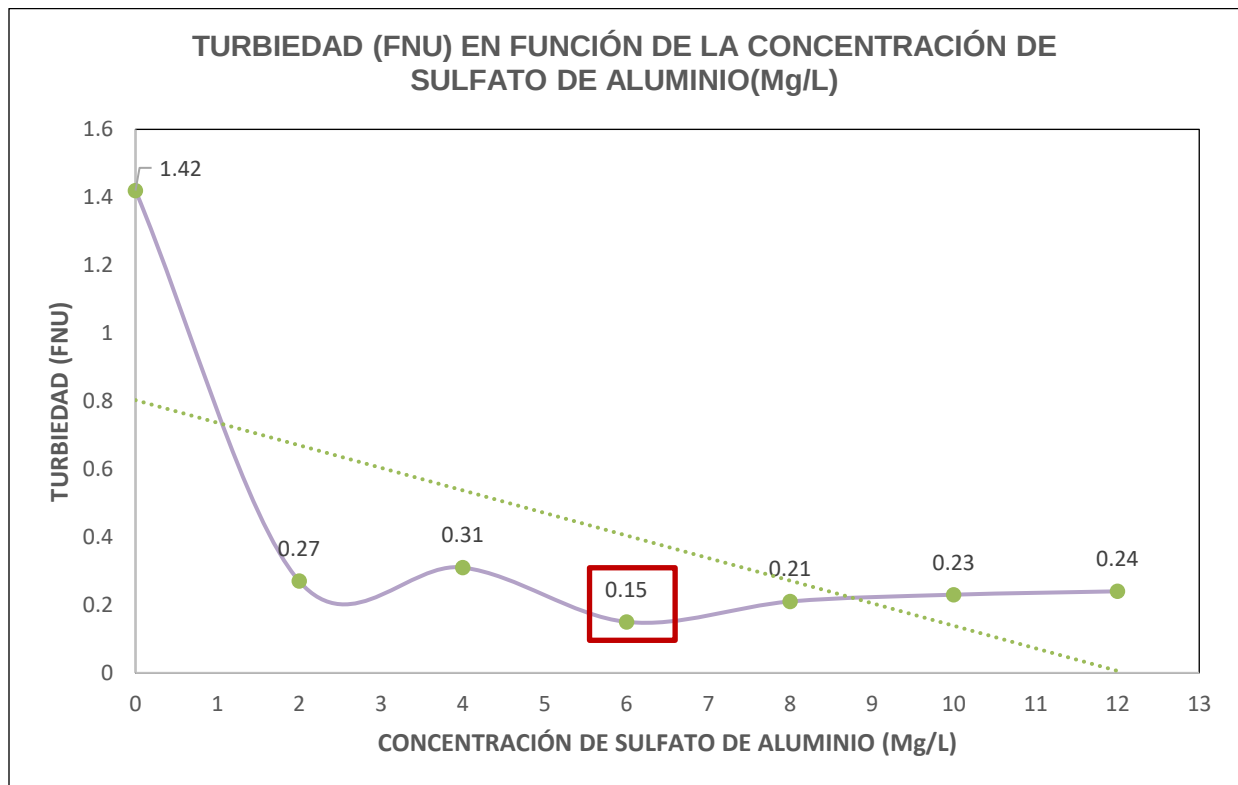
Parámetro	Muestra inicial	Jarra #1	Jarra #2	Jarra #3	Jarra #4	Jarra #5	Jarra #6
Adición de coagulante para cada jarra (ml)	0	2	4	6	8	10	12
Turbiedad (NTU)	1.42	0.27	0.31	0.15	0.21	0.23	0.24
pH	7.11	7.19	7.21	7.12	7.15	7.23	7.25
Conductividad (µS/cm)	557	567	564	562	568	574	586
TDS (ppm)	377.9	378.5	385.8	362.7	391.9	387.9	401.3
Color (UPC)	27	56	42	29	83	98	171
Sulfatos (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0
Hierros (mg/l)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Oxígeno disuelto (mg/l)	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65
Nitratos (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad (mg/l)	212.8	199.8	176.2	166	157.2	155	119
Acidez (mg/l)	5.8	4.6	2.8	1.6	2.6	1.6	0.8
Dureza Total (mg/l)	70.96	60.68	74.68	54.88	43.72	101.32	40.32
Dureza Calcio (mg/l)	8.77	13.60	18.43	16.90	18.69	20.83	15.50

Tabla 9: Parámetros físico-químicos agua cruda y test de jarras “muestra dos”. Fuente: Autoría propia



➤ Interpretación de resultado Muestra dos:

- Correlación Turbiedad en función de la concentración de sulfato de aluminio

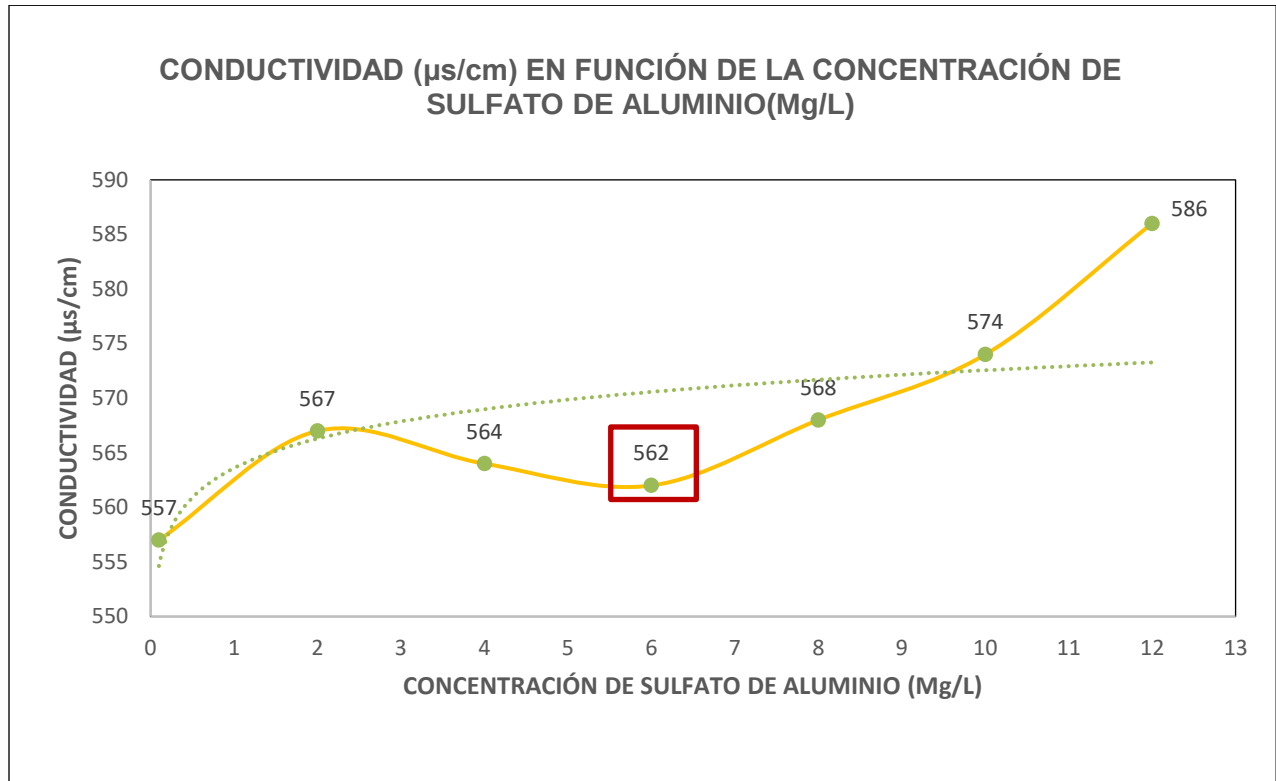


Grafica 6: Gráfica de turbiedad en función de la concentración de sulfato de aluminio. Fuente: Autoría propia

En la gráfica se puede observar que, al aplicar determinada cantidad de sulfato de aluminio, la turbidez disminuye de forma significativa, donde se evidencia que el punto óptimo al relacionar la dosificación con la turbiedad es el de la jarra número tres, porque presenta una disminución importante en los niveles de turbiedad, de igual forma se puede evidencian que al agregar más coagulante la turbiedad va aumentando, esto se debe a un exceso de partículas sedimentables.



- Correlación conductividad en función de la concentración de sulfato de aluminio

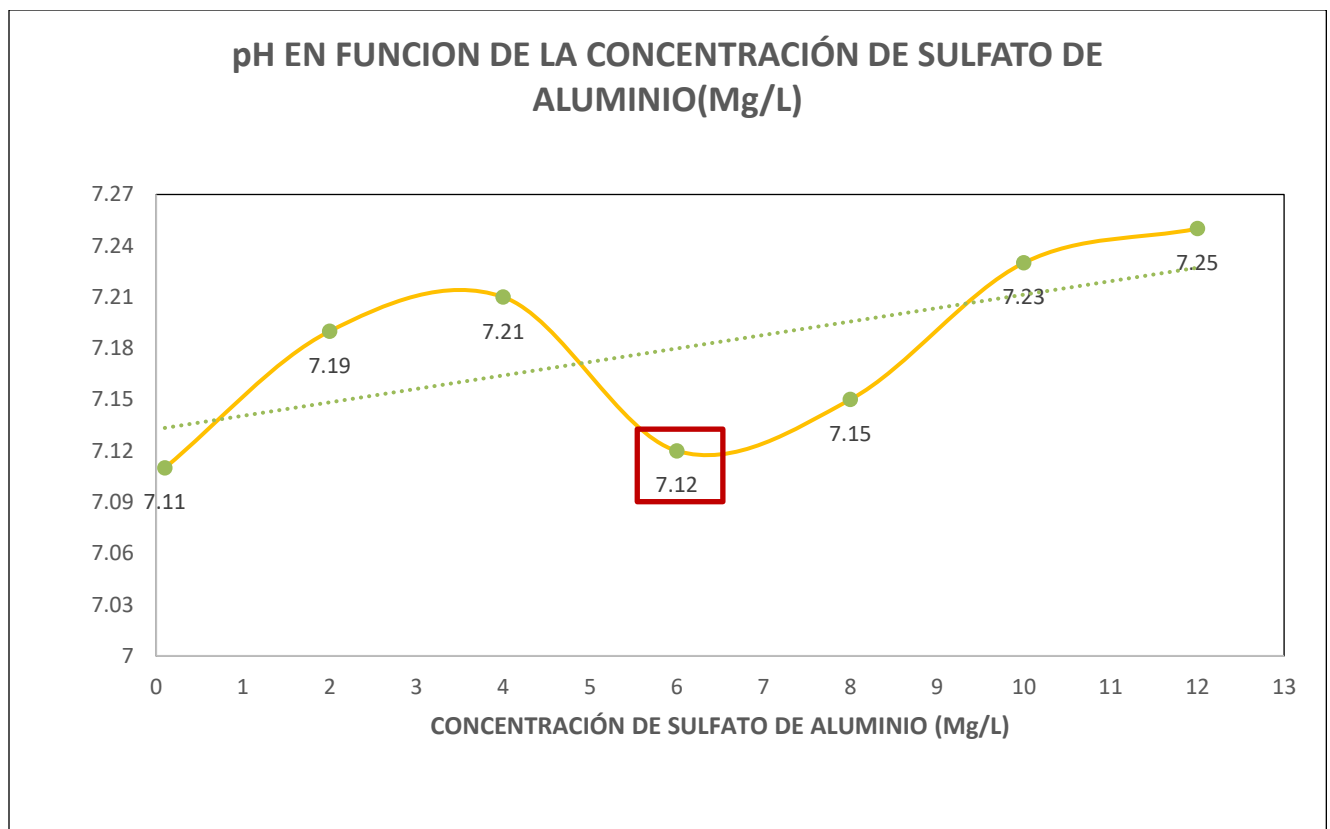


Grafica 7: Gráfica de conductividad en función de la concentración de sulfato de aluminio. Fuente: Autoría propia

En la gráfica se puede observar la relación entre la conductividad y la cantidad de sulfato de aluminio, donde se presenta una oscilación en los primeros datos llegando a un punto mínimo para la jarra número tres con $562 \mu\text{s}/\text{cm}$, esto se debe al aumento en la cantidad de sales presentes en la muestra, de igual forma se evidenció que entre más cantidad de sulfato de aluminio, mayor será la conductividad.



- Correlación pH en función de la concentración de sulfato de aluminio

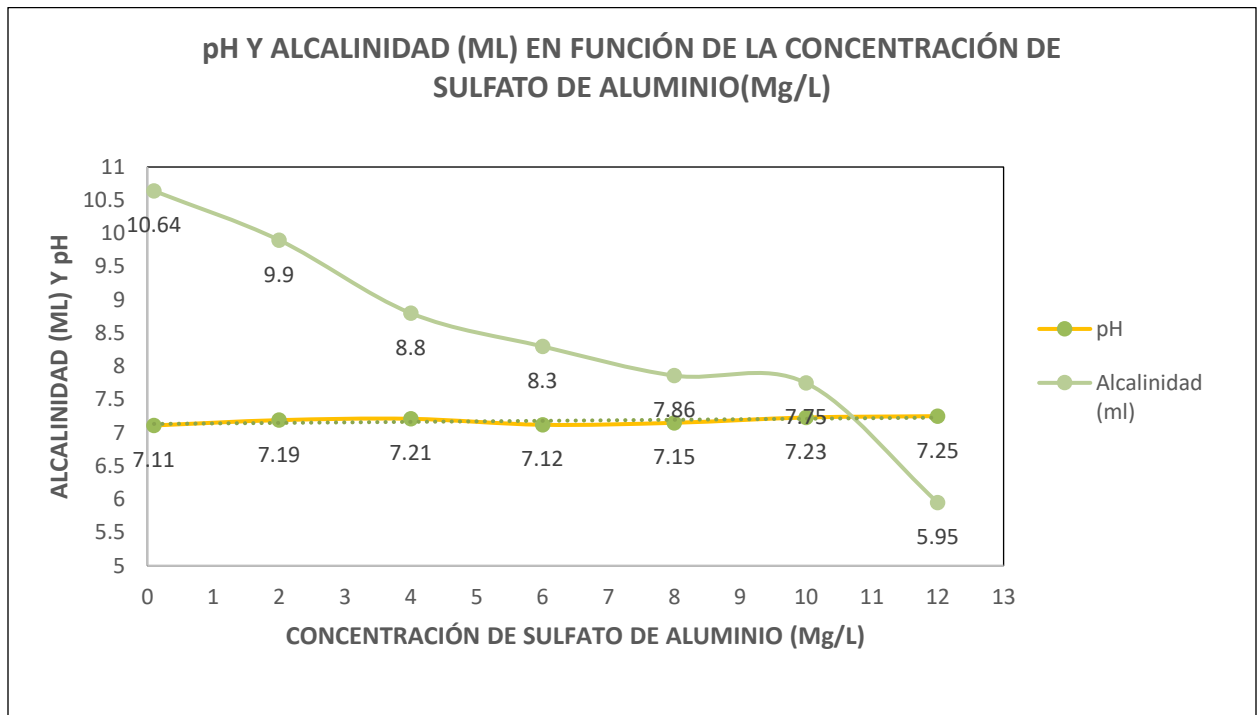


Grafica 8: Gráfica de pH en función de la concentración de sulfato de aluminio. Fuente: Autoría propia

En la gráfica se puede observar el comportamiento de cada muestra al suministrar una cantidad determinada de sulfato de aluminio, evidenciando que en las primeras dos jarras el nivel de pH aumenta, sin embargo, en la jarra tres baja a un valor de 7.12, lo cual quiere decir que la muestra se encuentra en un estado alcalino, siendo óptimo para su tratamiento.



- Correlación pH y alcalinidad en función de la concentración de sulfato de aluminio



Grafica 9: Gráfica de pH y alcalinidad en función de la concentración de sulfato de aluminio. Fuente: Autoría propia

Se realizó un análisis entre el pH, la alcalinidad y la concentración de sulfato de aluminio, evidenciando que entre más coagulante se aplique, menor será la alcalinidad y mayor será el pH, generando una relación inversamente proporcional, en el gráfico se puede evidenciar como en la jarra seis la alcalinidad disminuye significativamente comparado con el pH que aumenta significativamente.

➤ Análisis microbiológico

Para la calidad del agua se deben tener en cuenta parámetros microbiológicos como el escherichia de coli que es una bacteria presente en el organismo de los seres vivos, la presencia de esta bacteria afecta la calidad del agua generando enfermedades gastrointestinales que pueden propagarse con facilidad, de igual forma también se hizo el estudio de coliformes totales para determinar la



presencia de otra familia de bacterias causadas por la contaminación y descomposición de materia orgánica.

La presencia de este tipo de bacterias afecta directamente la calidad del agua, ya que no sería apta para el consumo humano, de igual forma para el proceso de tratamiento se deben establecer estrategias que mitiguen y eliminen cada uno de los agentes contaminantes que pueden afectar la salud pública.

En este orden de ideas se realizaron laboratorios microbiológicos para determinar si existen o no coliformes totales y escherichia de coli en la muestra de agua cruda extraída del pozo del acueducto y alcantarillado del municipio de Madrid Cundinamarca, obteniendo los siguientes resultados.



Analisis y Control Bioindustrial



ISO/IEC 17025:2017
17-LAB-027



INFORME DE RESULTADOS: M-21500923-C23

INFORMACIÓN DEL CLIENTE •		INFORMACIÓN TOMA DE MUESTRAS	
Razón Social	ALBA SUQUILA JUAN ESTEBAN	Lugar	Planta
Nit	1007156558	Responsable	ALBA SUQUILA JUAN ESTEBAN
Dirección	Direccion Calle 10 A # 10-16 madrid	Fecha	2023-09-16
Ciudad	Madrid	Hora	N.E.
Responsable	Juan Esteban Alba	Procedimiento	N.A
Cargo	Calidad	Observaciones	N.E
Tel/Fax	N.E/		
E-mail	Jeesalba1096@hotmail.com		

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Agua pozo subterráneo			
Descripción de la muestra •	No. de muestra	Presentación Comercial •	N.A
	21500923	Fabricante •	N.A.
Lote •	N.A.	Presentación	Bolsa Whirl-pakx300mL
Cantidad	2	Fecha de vencimiento	N.A.
Fecha de producción	N.A.	Temperatura (°C) recepción	19,28
Temperatura (°C) toma de muestra	N.E.	Hora de recepción	10:58:00
Fecha de recepción	2023-09-16	Fecha de resultados	2023-09-19
Fecha de análisis	2023-09-16		
Observaciones	No. Solicitud: 48598 / Preparado por:		

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS						
Análisis	Resultado ± U (Rango con U)	Und. Medida	Técnica/Método de Referencia	Especificación	Cumplimiento	Analista
Rcto de Escherichia coli	19 ± 1 (18 a 20)	UFC/100 mL	Filtración Por Membrana, ISO 9308-1: 2014**	-	-	MY700
Rcto de Coliformes totales	19 ± 1 (18 a 20)	UFC/100 mL	Filtración Por Membrana, ISO 9308-1: 2014**	-	-	MY700

No hay especificación para la declaración.
Agua de pozo. No existe norma comparativa para esta muestra.

Figura 12: Análisis microbiológico. Fuente: Confía S.a.s

Para comenzar durante el desarrollo de la práctica de laboratorio se pudieron analizar diferentes parámetros físico-químicos, donde se pudo evidenciar que el color aumenta significativamente al aplicar mayor cantidad de sulfato de aluminio,

en la jarra número tres se ve reflejado el valor más bajo (29 FNU) comparado al resto de las jarras, sin embargo este se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la Resolución 2115 del 2007 que establece que el valor máximo aceptable es de 15 UPC, por esta razón se busca reducir este valor en el rediseño de la PTAP del Sosiego durante el proceso de aireación por medio de las bandejas de coque y durante la filtración, llegando a los parámetros establecidos, haciendo que el agua en términos visuales sea incolora.

Por otro lado, se analizó la turbiedad, la cual disminuye al aplicar 6 ml de sulfato de aluminio, reportando un valor de 0.15 FNU con respecto a la jarra tres, siendo esta la dosis óptima de coagulante, logrando disminuir la presencia de partículas suspendidas en la muestra y cumpliendo con lo establecido por la norma donde el valor máximo aceptable es de 2 UNT. En este orden de ideas se hizo el análisis del pH para determinar si las muestras son ácidas, alcalinas o neutras, según los parámetros establecidos por el Decreto 475 de 1998, donde se observa que todas las muestras cumplen con los parámetros descritos, dando como mejor resultado el pH de la jarra número tres con un valor de 7.12, lo cual indica que se encuentra en un estado alcalino siendo apta para el tratamiento y posteriormente el consumo humano.

Posteriormente, se midió la conductividad de cada jarra, observando que la número tres es la que presenta el valor más bajo cumpliendo con los parámetros establecidos con un dato de 562 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual quiere decir que cuenta con una cantidad de sales adecuada para el consumo humano, se evidencia que entre mayor sea la turbiedad mayor va a ser la conductividad, todo dependiendo de la dosificación de sulfato de aluminio aplicado.

Se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar los parámetros de alcalinidad y acidez, evidenciando que la alcalinidad según la Resolución 2115 del 2007 debe contar con valores menores a 200 mg/l, donde cada una de las jarras cumple satisfactoriamente, sin embargo, la que presenta el valor más bajo es la jarra seis con un valor de 5.95 mg/l, en términos de acidez la jarra número seis también cuenta con el valor más bajo con 0.04 mg/l.

También se determinó la dureza total y la dureza cálcica, las cuales son generadas de forma natural mediante procesos de disolución y lavado de minerales, estas no generan gran afectación a la salud, pero alteran las características organolépticas como el olor y el sabor, luego de realizar los cálculos se determinó que el tipo de agua a tratar para la jarra número tres es suaves de acuerdo con la cantidad de carbonatos presentes.



Después de realizar el ensayo microbiológico para determinar la presencia de escherichia de coli y coliformes totales, se evidencia que no existe presencia en los rangos medibles por el laboratorio especializado, lo cual quiere decir que el punto de extracción del agua se encuentra en muy buen estado, ya que es un pozo subterráneo donde no se encuentra materia orgánica para generarle un tratamiento apropiado mediante el rediseño de PTAP del Sosiego, permitiendo generar un proceso de calidad.

15. ESTIMACIÓN IRCA:

PARAMETRO	RESULTADO LABORATORIO	ANALIZADO ¿SI O NO?	PUNTAJE DE RIESGO CONSIDERADO	PUNTAJE DE RIESGO MUESTRA
Color aparente (UPC)	29	SI	6	6
Turbiedad (UNT)	0.15	SI	15	0
ph	7.12	SI	1.5	0
Cloro residual (mg/l)	0	NO	15	0
Alcalinidad total (mg/l)	166	SI	1	0
Calcio (mg/l)	0	NO	1	0
Fosfatos (mg/l)	0	NO	1	0
Manganeso (mg/l)	0	NO	1	0
Molibdeno (mg/l)	0	NO	1	0
Magnesio (mg/l)	0	NO	1	0
Zinc (mg/l)	0	NO	1	0
Dureza total (mg/l)	54.88	SI	1	0
Sulfatos (mg/l)	0	SI	1	0
Hierro total	0.2	SI	1.5	0
Cloruros (mg/l)	0	NO	1	0
Nitratos (mg/l)	0	SI	1	0
Nitritos (mg/l)	0	NO	3	0
Aluminio (mg/l)	0	NO	3	0
Fluoruros (mg/l)	0	NO	1	0
Coliformes totales	0	SI	15	0
Escherichia coli	0	SI	25	0
PUNTAJE TOTAL			68	6
PORCENTAJE DE RIESGO			8.82%	

Tabla 10: Cálculo del IRCA. Fuente: Autoría propia

Para el cálculo del IRCA se tuvo en cuenta que cuando el parámetro cumple con los rangos establecidos por la norma el puntaje de riesgo es cero (0), cuando



incumple se asignará el puntaje de riesgo establecido en la Resolución 2115 del 2007, de igual forma es importante resaltar que el porcentaje de riesgo se calculó teniendo en cuenta sólo los valores de los parámetros utilizados, obteniendo un porcentaje de **8.82% (Tabla 10)**

Según la tabla descrita por la Resolución 2115 del 2007 donde se hace la clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA, el IRCA MENSUAL y las acciones que deben adelantarse, se evidencia que el porcentaje como resultado para la **muestra de la jarra tres** es de **8.82%** lo cual quiere decir que se encuentra en un nivel de riesgo bajo que es favorable, ya que faltan dos procesos de tratamiento que son desinfección y la filtración que ayudarían directamente a disminuir estos valores.

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 -100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Tabla 11: Clasificación IRCA %. Fuente: Resolución 2115 de 2007



16. REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA

De lo anterior se puede analizar que el punto más óptimo en donde se podrá generar el abastecimiento de agua para el rediseño de la PTAP el sosiego, el punto 2 que presenta características de recurso hídrico aceptables se propone la siguiente infraestructura para la potabilización de agua para el abastecimiento de los barrios de San Carlos, Santa María y San José del municipio de Madrid, Cundinamarca.

16.1. CAPTACIÓN

En cuanto a la captación del agua para el funcionamiento de la PTAP se utilizarán equipos empleados para la extracción del agua ya que la fuente de abastecimiento es de origen subterráneo.

16.2. TORRE DE AIREACIÓN

La estructura de aireación se emplea con el objetivo de exponer el agua en contacto íntimo con el aire generando en ella una modificación en cuanto a la concentración de sustancia volátiles (Romero; 1999). en base a eso se realizaron los siguientes cálculos, para esto se adoptaron los valores de diseño de la Resolución 0330 del 2017:

Parámetro	Valor
Carga hidráulica	500 - 1500 m/d
Altura total	1.2 a 3.0 m
Número de bandejas	3 a 9
Distancia entre bandejas	0.3-0.5 m
Altura de Bandejas	0.20-0.25 m
Diámetro medio orificios	0.5-0.6 cm
Separación entre orificios	2.5 cm
Material del lecho de contacto	Carbón activado o coque, ladrillo triturado, cerámica, resinas de intercambio iónico
Tamaño del material de contacto	4-12 cm
Espesor del lecho de contacto	0.15 -0.20 m

Tabla 12: Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples. Fuente: Resolución 0330 de 2017



- **Determinación de la carga Hidráulica:** Según la resolución 0330 del 2017 se escogió una estructura de aireación de compuesta por bandejas en la cual nos dice que la carga hidráulica para estas estructuras tiene valores de entre 500- 1500 m/d. Para esta estructura y el rediseño de la PTAP se escogió un valor de los **1250 m/d**
- **Área total de aireador:** Definido como la relación entre el caudal de diseño ($Q_{diseño}$) y la carga hidráulica (**CH**)

$$A_t = \frac{Q_{diseño}}{CH}$$

$$A_t = \frac{2468.45 \text{ m}^3/\text{dia}}{1250 \text{ m}/\text{dia}}$$

$$A_t = 1.97 \text{ m}^2$$

- **Altura de la torre de aireación:** La altura de esta estructura nos remitimos a la (Resolución 0330 de 2017) en donde nos dice que la altura de esta estructura se encuentra entre 1.2-3.0 m en donde se adopta el siguiente valor de 2.0 m de altura para la torre

$$H_{torre} = 2.087 \text{ m}$$

- **Separación entre bandejas:** Se adopta un valor de 0.25 m para la separación de las bandejas según lo establecido por la resolución 0330 de 2017 en el cual se estipula un intervalo de altura de bandejas de 0.2 m y 0.25 m

$$SE_B = 0.25 \text{ m}$$

- **Espesor lecho de contacto de la bandeja:** Se adopta un valor de 0.15 m para el espesor de lecho por donde el agua empezará su proceso de tratamiento; en donde como lo establece la resolución 0330 de 2017 un intervalo de altura de lecho de contacto de 0.15m y 0.20 m



$$H_M = 0.15 \text{ m}$$

- **Dimensionamiento de bandejas:** En cuanto a la cantidad de bandejas se adoptará un valor de 3 bandejas según lo establecido por la resolución 0330 de 2017 como se observa en la tabla 5, posterior a esto se calcula la sección que tendrá cada bandeja de la estructura de aireación y su área

$$N_B = 3$$

La sección de bandeja se calcula de la siguiente manera

$$S_B = \sqrt{\frac{A_t}{N_B}}$$

$$S_B = \sqrt{\frac{1.97 \text{ m}^2}{3}} = 0.81 \text{ m}$$

El área de bandeja se calcula de la siguiente manera, asumiendo una sección de bandeja cuadrada

$$A_B = S_B * S_B$$

$$A_B = 0.81 \text{ m} * 0.81 \text{ m} = 0.66 \text{ m}^2$$

- **Número de orificios por bandeja:** El número de orificios se tantra en cuenta a los parámetros sugeridos de la resolución 0330 2017 en donde define lo siguiente

Diámetro de orificios debe estar entre 0.5 -0.6 cm el cual para este diseño se adoptará un valor de 0.5 cm

$$D_o = 0.05 \text{ m}$$

La separación que se deben tener los orificios debe ser 2.5 cm

$$S_o = 0.025 \text{ m}$$

Una vez definidos estos parámetros tenemos que la cantidad de filas de orificios por bandeja el cual se calcula de la siguiente manera



$$N_o = \frac{S_B - S_o}{(D_o + S_o)}$$

$$N_o = \frac{0.81m - 0.025}{(0.005 + 0.025)} = 26 \text{ filas}$$

Se procede a realizar el cálculo de área ocupada por unidad de orificio y por la cantidad total de número de orificios

$$A_o = \frac{\pi * (D_o)^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi * (0.5)^2}{4} = 0.000020 \text{ m}^2$$

$$AT_o = N_o * A_o$$

$$AT_o = 26 * 0.000020 \text{ m}^2$$

$$AT_o = 0.01327 \text{ m}^2$$

- **Caudal por bandeja:** Se estima el caudal que pasa por cada bandeja , adoptando un valor de lámina de agua de $Y=0.10 \text{ m}$ y $g=9.81 \text{ m/s}^2$ siendo el valor de la gravedad

$$Q_B = S_B * A_o * \sqrt{2 * g * Y}$$

$$Q_B = 0.81 * 0.000020 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.1}$$

$$Q_B = 0.0000223 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Tiempo de exposición:** El tiempo determina del tiempo de exposición que está el agua al pasar por la estructura de aireación

$$T = N_B * \sqrt{\frac{2 * SE_B}{g}}$$



$$T = 3 * \sqrt{\frac{2 * 0.5m}{9.81m/s^2}} = 1.0s$$

16.3. MEZCLA RÁPIDA POR VERTEDERO RECTANGULAR

Según (Romero,1999).” La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases”. Para esta estructura se diseñará con un vertedero rectangular

- **Sección del vertedero:** Se asume el dimensionamiento del vertedero rectangular de la siguiente manera

- Ancho del vertedero

$$B = 0.5 m$$

- Alto del vertedero

$$H = 0.58 m$$

- **Caudal unitario:** Una vez definido el dimensionamiento del vertedero se procede con el cálculo del caudal unitario

$$q = \frac{Q_{diseño}}{B}$$

$$q = \frac{0.029 m^3/s}{0.5 m} = 0.057 \frac{m^3}{m * s}$$

- **Profundidad crítica:** Determinada de la siguiente manera para saber el punto en que el flujo de agua disipa su energía

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = \left(\frac{(0.057 \frac{m^3}{m * s})^2}{9.81 m/s^2}\right)^{\frac{1}{3}} = 0.07 m$$



g=Aceleración de la gravedad 9.81 m/s²

- **Relación B/h_c:** Formulación propuesta por Richter (Romero, 1999), la relación B/h_c implementada para validar lo siguiente:
 - La menor posible para reducir la pérdida de energía por caída libre
 - Esta relación debe ser mayor a 3, para que el vertedero pueda ser utilizado como aforador

$$\frac{B}{h_c} > 3$$

- **Profundidad conjugada para la sección 1:** Calculada de la siguiente manera:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{1.06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1.5}}$$
$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0.069}{1.06 + \sqrt{\frac{8.35}{0.069} + 1.5}} = 0.02 \text{ m}$$

- **Velocidad de la sección 1:** Calculada de la siguiente manera:

$$V_1 = \frac{q}{h_1}$$
$$V_1 = \frac{0.057 \frac{\text{m}^3}{\text{m} * \text{s}}}{0.02 \text{ m}} = 2.4 \text{ m/s}^2$$

- **Número de froude:** El número de froude en la sección 1 para que haya un resalto estable y haya una mezcla eficiente según (Romero,1999) debe estar comprendido entre **4.5 y 9.0**:



$$N_{FR} = \frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}}$$

$$N_{FR} = \frac{2.4 \text{ m/s}^2}{\sqrt{9.81 \text{ m/s}^2 * 0.02}}$$

$$N_{FR} = 5.09 = \text{Cumple}$$

- **Profundidad conjugada para la sección 2:** Calculada de la siguiente manera:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * (\sqrt{1 + (8 * N_f^2)} - 1)$$

$$h_2 = \frac{0.02 \text{ m}}{2} * (\sqrt{1 + (8 * 5.09^2)} - 1) = 0.16 \text{ m}$$

- **Velocidad de la sección 2:** Calculada de la siguiente manera:

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0.057 \frac{\text{m}^3}{\text{m} * \text{s}}}{0.16 \text{ m}} = 0.36 \text{ m/s}^2$$

- **Pérdida de energía en el resalto:** Propuesta por (Romero.1999, citando a Belanger). “las pérdidas se pueden calcular por la siguiente expresión”:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_2 * h_1}$$

$$h = \frac{(0.16 \text{ m} - 0.02 \text{ m})^3}{4 * 0.16 \text{ m} * 0.02 \text{ m}} = 0.16 \text{ m}$$



- **Longitud del resalto:** Se determina por la siguiente fórmula según (Romero,1999 citando a Smetana) para obtener un resalto estable:

$$l_j = 6 * (h_2 - h_1)$$

$$l_j = 6 * (0.16 \text{ m} - 0.02 \text{ m}) = 0.80 \text{ m}$$

- **Velocidad media:** Se determina la velocidad media que se obtendrá dentro del proceso de mezcla rápida implementando un mezclador de tipo hidráulico

$$V_m = \frac{V_2 + V_1}{2}$$

$$V_m = \frac{0.36 \text{ m/s} + 2.4 \text{ m/s}}{2} = 1.40 \text{ m/s}$$

- **Distancia de aplicación del coagulante:** La distancia L_m se calcula según (Lozano. W y Bravo. G, 2015). es el punto máximo de turbulencia en donde se podrá aplicar el coagulante para garantizar una homogeneización del mismo con el agua

$$l_m = 4.3 * B^{0.1} * H^{0.9}$$

$$l_m = 4.3 * 0.58^{0.1} * 0.069^{0.9}$$

$$l_m = 0.4 \text{ m}$$

- **Tiempo de mezcla rápida:** Según la (Resolución 0330 de 2017) El tiempo de mezcla para un mezclador hidráulico debe ser $< 1 \text{ S}$, en el cual se calcula de la siguiente manera

$$T = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T = \frac{0.80 \text{ m}}{1.40 \text{ m/s}} = 0.57 \text{ s}$$

$$T = 0.57 \text{ s Cumple}$$



- **Gradiente de velocidad:**

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

$$G = \sqrt{\frac{9991 * 0.16}{0.001139 * 0.57}}$$

$$G = 1580 \text{ s}^{-1} \text{ Cumple}$$

μ =Viscosidad Dinámica del agua a 15 °C

γ = Peso específico del agua

- Según la (Resolución 0330, 2017), al utilizar un mezclador hidráulico este debe tener un gradiente de velocidad de entre 1000 S-1 a 2000 S-1

- **Altura de mínima de la lámina de agua:**

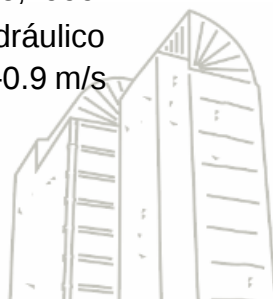
$$H = \left(\frac{Q_{diseño}}{1.84 * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left(\frac{0.029}{1.84 * 0.5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.10 \text{ m}$$

16.4. FLOCULADOR FLUJO HORIZONTAL

Son estructuras que se implementan en el proceso de potabilización, en el cual su diseño es característico gracias a los compartimientos en donde cumplen la función de disipar la energía de flujo proveniente de la mezcla rápida cambiando el régimen del flujo de turbulento a laminar (Vargas Adriana K.N, 2019)

- **Velocidad de flujo (V_f) y tiempo de retención (t_r):** Según Romero,1999. Citando a Fair y Geyer), el tiempo de retención de un floculador hidráulico tipo horizontal está entre 10-90 min y la velocidad de flujo va de 0.1-0.9 m/s



$$t_r = 20 \text{ min}$$

$$V_f = 0.20 \text{ m/s}$$

- **Recorrido de la lámina de agua (L_a)**

$$L_a = V_f * t_r$$

$$L_a = 0.20 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 20 \text{ min} * 60 \text{ s/min} = 240 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor de cuanto es el recorrido de la lámina de agua se procede a hacer el cálculo del **volumen de agua a mezclar**

$$V_{am} = Q_{\text{diseño}} * t_r$$

$$V_{am} = 0.02857 \text{ m}^3/\text{s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ min/s}$$

$$V_{am} = 34.3 \text{ m}^3$$

- **Sección transversal del canal (A_c):**

$$A_c = \frac{V_{am}}{L_a}$$

$$A_c = \frac{34.3 \text{ m}^3}{240 \text{ m}}$$

$$A_c = 0.14285 \text{ m}^2 = 1428.5 \text{ cm}^2$$

Ya calculada la sección del canal, se toma un valor de separación de tabiques de $b=0.20 \text{ m}$, de lo cual se procede con el cálculo de la profundidad de la lámina de agua de la siguiente manera

$$d = \frac{A_c}{b}$$

$$d = \frac{1428.5 \text{ cm}^2}{20}$$

$$d = 71 \text{ cm} = 0.71 \text{ m}$$



- **Separación de tabiques (b)**

$$b = \text{Asumido}$$

$$b = 20\text{cm}$$

- **Perímetro mojado (P) y radio hidráulico (Rh):** Se implementa las fórmulas de cálculos de secciones de canales en este caso uno rectangular en donde se determina radio hidráulico y perímetro mojado de la siguiente manera

$$P = \left(\frac{b}{100}\right) + 2 * (d)$$

$$Rh = \frac{A_c}{P}$$

$$P = \left(\frac{20\text{ cm}}{100}\right) + 2 * (0.71\text{ m}) = 1.63\text{m}$$

$$Rh = \frac{0.14285\text{ m}^2}{1.63\text{ m}} = 0.09\text{m}$$

- **Espaciamiento entre pared y tabiques (E_t):** Se hace la estimación del cálculo de espacio que tendrán los tabiques en relación con las paredes internas del floculador el cual se obtiene de la siguiente ecuación

$$E_t = 1.5 * b$$

$$E_t = 1.5 * 20$$

$$E_t = 22\text{ cm} = 0.22\text{m}$$

- **Ancho del floculador (B):** Se asume un ancho en base a la zona donde se encuentra establecida la PTAP

$$B = \text{Asumido}$$

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

- **Longitud efectiva (L_e)**

$$L_e = B - E_s$$

$$L_e = 10\text{ m} - 0.60\text{ m} = 9.40\text{ m}$$



Es= Espacio libre 0.60 m

- **Número de canales (N_c) y número de tabiques (N_t)**

$$N_c = \frac{L_a}{L_e}$$

$$N_c = \frac{240}{9.40}$$

$$N_c = 26 \text{ un}$$

$$N_t = 25 \text{ Espacios}$$

- **Espesor muros divisorios concreto (e)**

$$e = 0.1m$$

- **Longitud total cámara de floculación (L_t)**

$$L_t = (N_t * b) + ((N_t + 1) * e)$$

$$L_t = (25 * 0.20 \text{ m}) + ((25 + 1) * 0.1m = 8.0 \text{ m})$$

- **Coeficiente Manning canales de concreto (n)**

$$n = \text{Asumido}$$

$$n = 0.014$$

- **Pérdidas por curvas en el canal (h)**

$$h = \frac{3(N_t - 1) * V_f^2}{2 * g}$$

$$h = \frac{3(25 - 1) * (0.2m/s)^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.141 \text{ m}$$



- **Pérdidas por fricción (h_f)**

$$h_f = \frac{(n * V_f)^2 * L}{R_h^{4/3}}$$

$$h_f = \frac{(0.014 * 0.2 \text{ m/s})^2 * 7.6 \text{ m}}{0.09^{4/3}} = 0.00147 \text{ m}$$

- **Pérdidas totales en el floculador (H)**

$$H = h_f + h$$

$$H = 0.0015 + 0.141$$

$$H = 0.1 \text{ m}$$

- **Viscosidad cinemática (v)**

$$v = 0.00000115 \text{ m}^2/\text{s}$$

- **Gradiente (G) Número de Gamp (G_t):** Según (Resolución 0330 de 2017), el gradiente medio de velocidad para un floculador hidráulico debe estar entre 20 s⁻¹ y 70s⁻¹, a su vez según (Romero, 1999. Citando a Smethurst) el número de Gampo de oscilar entre el rango de 20000-150000

$$G = \sqrt{\frac{g * H}{v * t_r}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9.81 \text{ m/s}^2 * 0.1 \text{ m}}{0.00000115 \text{ m}^2/\text{s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ min/s}}}$$

$$G = 31.8 \text{ s}^{-1} \text{ Cumple}$$

$$G_t = G * t_r * 60$$

$$G_t = 31.8 \text{ s}^{-1} * 20 \text{ min} * 60 \text{ min/s}$$

$$G_t = 38160 \text{ Cumple}$$



16.5. SEDIMENTADOR LAMELAR PLACAS ANGOSTAS PLANAS.

Según (Romero, 1999), “la sedimentación es la operación por la cual se remueven las partículas las cuales sale de un proceso de suspensión mediante la fuerza de la gravedad”

- **Eficiencia crítica del sedimentador (S_c):** Constante que depende del tipo de celda a implementar en el sedimentador

Tipo de Módulo	S
Placas planas paralelas	1,0
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas Onduladas	1,3
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Tabla 13: Eficiencia crítica del sedimentador. Fuente: (Lozano W y Bravo G, (2015). "Potabilización de agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio)

Se escoge un valor de $S_c=1$ ya que el sedimentador tendrá módulos de placas planas

$$S_c = 1$$

- **Viscosidad Cinemática a 15 °C (ν)**

$$\nu = 0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}$$

- **Altura de placas (l):**

$$l = 1.2 \text{ m}$$

- **Ángulo de inclinación láminas (θ):** Al implementar un sedimentador con placas según (RAS 2000) “La inclinación de las placas debe ser de 55° a 60°”.

$$\theta = 60^\circ$$



- **Espaciamiento entre placas (E):** En cuanto al espaciamiento entre placas según (RAS 2000). “ El espacio entre las placas debe ser de 5 cm

$$E = 0.05 \text{ m}$$

- **Longitud relativa sedimentador lamelar (20-40) (L):** Según (Romero.1999). “la eficiencia de un sedimentador de alta tasa es función de la longitud relativa del sedimentador L y del ángulo de inclinación, en donde debe ser igual a 20 y menor a 40”.

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

$$L = \frac{1.20}{0.05} = 24$$

$$L = 24 \text{ Cumple}$$

- **Longitud transición (L')**

$$L' = \frac{0.013 * V_o * E}{v}$$

$$L' = \frac{0.013 * 0.12 * 0.05}{0.000000114} = 1.12$$

- **Longitud Sedimentador (L_s)**

$$L_s = 5.6 \text{ m}$$

- **Ancho del sedimentador (B_s)**

$$B_s = 3.0 \text{ m}$$

- **Altura del sedimentador (H_s)**

$$H_s = 5.08 \text{ m}$$

- **Velocidad promedio (V_o):** Velocidad que tendrá el sedimentador en la mayor parte del recorrido



$$V_o = \frac{Q_{diseño}}{A * Sen\theta}$$

$$V_o = \frac{0.02857 \text{ m}^3/\text{s} * 86400}{(5.6 \text{ m} * 3.0 \text{ m}) * Sen(60)}$$

$$V_o = 169.66 \text{ m/d} = 0.12 \text{ m/min}$$

- **Longitud corregida relativa (L_c)**

$$L_c = L - L'$$

$$L_c = 24 - 1.12 = 22.88$$

- **Carga superficial (CH):** La determinación de carga hidráulica que debe tener una unidad sedimentación de placas angostas según (RAS 2000), debe estar entre 120 - 185 m³/m²*día:

$$CH = \frac{Q_{diseño}}{A}$$

$$CH = \frac{0.02857 \text{ m}^3/\text{s} * 86400}{5.6 \text{ m} * 3.0 \text{ m}}$$

$$CH = 146.93 \text{ m/día Cumple}$$

- **Velocidad crítica de sedimentación (V_{sc})**

$$V_{sc} = \frac{S_c * V_o}{Sen\theta + L_c * Cos\theta}$$

Sc= Valor crítico para placas inclinadas es 1

$$V_{sc} = \frac{1 * 146.93 \text{ m/d}}{Sen(60) + 22.88 * Cos(60)}$$

$$V_{sc} = 13.8 \text{ m/día Cumple}$$



Según (Lozano. W y Bravo. G, 2015) la velocidad crítica sería ideal para el diseño de un floc con alumbre con valores de velocidad entre 12 a 23 m/d

- **Número de Reynolds (N_{RE}):** Según la (RAS 2000) “El número de Reynolds debe ser menor a 500, se recomienda un Reynolds menor a 250”

$$N_{RE} = \frac{V_o * d}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{169.66 \text{ m/d} * 0.05 \text{ m}}{86400 * 0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_{RE} = 86.13 < 200 \text{ Cumple}$$

- **Tiempo de retención en las celdas (t_c):**

$$t_c = \frac{l}{V_o}$$

$$t_c = \frac{1.20 \text{ m}}{0.12 \text{ m/min}}$$

$$t_c = 10 \text{ min Cumple}$$

Según la (RAS 2000)” la unidad debe diseñarse de manera que el tiempo de detención esté entre 10 min y 15 min

- **Tiempo de sedimentación tanque (t_s)**

$$t_s = \frac{V}{Q}$$

$$t_s = \frac{5.6 \text{ m} * 3.0 \text{ m} * (5.08 \text{ m} - 0.5 \text{ m})}{0.02857 \text{ m}^3/\text{s} * 60}$$

$$t_s = 45 \text{ min}$$



- **Número de placas (N)**

$$N = \frac{L_s * \text{Sen}\theta + E}{E + e}$$

$$N = \frac{5.6 * \text{Sen}(60) + 0.05}{0.05 + 0.01} = 82$$

- **Espesor de placas asbesto cemento (e):** Según la (RAS 2000) el espesor al utilizar este tipo de placas el espesor varía entre 8 mm a 10 mm

$$e = 0.01 \text{ m}$$

- **Entrada del sedimentador:** Se emplea tubería PVC para la entrada del flujo ascendente al sedimentador ubicado debajo de las placas en donde se debe hacer la siguiente consideración:

Se considera una velocidad de flujo de 0.15 m/s en donde se asumirá que el espaciamiento “a” entre orificios será de 0.1 m y la separación de extremos de la pared del sedimentador “d” será de 0.25m, de la cual se obtuvo a partir de una iteración de diámetros en donde se busca llegar al gradiente más cercano al de la cámara de sedimentación.

Diámetro (in)	2	2	2	4	4	4	6	6	6
Diámetro (m)	0.051	0.051	0.051	0.102	0.102	0.102	0.152	0.152	0.152
Velocidad de flujo (m/s)	0.10	0.15	0.20	0.10	0.15	0.20	0.10	0.15	0.20
Gradiente	16.09	29.57	45.52	11.38	20.91	32.19	9.29	17.07	26.28

Tabla 14: Iteración de diámetros en función de gradiente. Fuente: Autoría propia

- **Espaciamiento entre ejes de los orificios (a):**

$$a = 0.1 \text{ m}$$

- **Separación extremos (d)**

$$d = 0.25 \text{ m}$$



- **Longitud Sedimentador (L_s):** Se tomará un valor asumido de longitud del sedimentador de acuerdo al área donde se encuentra la planta que ya no funciona

$$L_s = 5.6 \text{ m}$$

- **Número de orificios (N_o):** El número de orificios que tendrá la tubería de repartición del flujo se realiza el cálculo de la siguiente manera

$$N_o = \frac{L_s - 2 * d}{a}$$

$$N_o = \frac{5.6 \text{ m} - 2 * 0.25 \text{ m}}{0.1 \text{ m}} = 51$$

- **Diámetro de orificios (D_o):** Este valor se obtuvo de la iteración de diámetros

$$D_o = 0.051 \text{ m}$$

- **Velocidad de salida de flujo (V_s):**

$$V_s = 0.15 \text{ m/s}$$

- **Área de orificio (A_o):** Se determina el área del orificio que va inmerso de la tubería de repartición de flujo

$$A_o = \frac{\pi * D_o^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi * 0.051^2}{4} = 0.0020 \text{ m}^2$$

- **Caudal por orificio (Q_o):** Se termina el caudal que pasará por un de los orificios de la tubería de repartición

$$Q_o = A_o * V_s$$

$$Q_o = 0.00200 \text{ m}^2 * 0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.30 \text{ m/s}$$

- **Diámetro tubería de reparto ($\emptyset_o$):**



$$\emptyset_o = \frac{\sqrt{D_o^2 * N_o}}{2.5}$$

$$\emptyset_o = \frac{\sqrt{0.051^2 * 51}}{2.5} = 0.140 \text{ m}$$

Diámetro comercial para tubería de reparto 6"

- **Salida del sedimentador:** Se implementará canaletas de recolección en concreto
- **Distancia máxima de estructura de recolección (d):** Se ubicara los canales de recolección a 0.9 m de la parte externa del sedimentador

$$d = 0.9 \text{ m}$$

- **Ancho del canal asumido (b)**

$$b = 0.25 \text{ m}$$

- **Máxima altura del agua en el canal (h_o)**

$$h_o = \left(\frac{Q_{diseño}}{1.386 * b} \right)^{2/3}$$

$$h_o = \left(\frac{0.02857 \text{ m}^3/\text{s}}{1.386 * 0.25 \text{ m}} \right)^{2/3} = 0.19 \text{ m}$$

- **Altura crítica de flujo del canal (h_c)**

$$h_c = \left(\frac{Q_{diseño}^2}{g * b^2} \right)^{1/3}$$

$$h_c = \left(\frac{(0.02857 \text{ m}^3/\text{s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2 * (0.25 \text{ m})^2} \right)^{1/3} = 0.110 \text{ m}$$

- **Capacidad del canal (Q_c)**



$$Q_c = 1377 * b * h_o$$

$$Q_c = 1377 * 0.25 * 0.19 = 65.21 \text{ l/s}$$

- **Zona de lodos**
- **Diámetro de la tubería múltiple (D):** Según (Lozano. W y Bravo. G, 2015), La tubería múltiple por donde se conducirán los lodos de fluido va en función de la longitud del sedimentador que en este caso sería 5.6 m:

Longitud del múltiple (m)	Diámetro del múltiple (pulgadas)
2,0 a 3,5	4"
3,5 a 6,5	6"
6,5 a 12,0	8"

Tabla 15: Diámetro de la tubería múltiple. Fuente Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio (Lozano. W y Bravo. G, 2015)

$$D = 6 \text{ in} = 0.1524 \text{ m}$$

- **Número de orificios (n):** Se asume un total perforaciones de la tubería de:

$$n = 8$$

- **Diámetro de orificios (D_o)**

$$D_o = \sqrt{\frac{0.4 * D^2}{n}}$$

$$D_o = \sqrt{\frac{0.4 * 0.15^2 \text{ m}^2}{8}} = 0.034 \text{ m}$$

- **Diámetro de orificios corregido (D_o)**

$$D_o = 1.5 * 0.0254 = 0.038 \text{ m}$$



- **Velocidad mínima de arrastre (V_a)**

$$V_a = 0.01 \text{ m/s}$$

- **Separación entre orificios (x)**

$$X = 1.16 * D_o * \sqrt{\frac{H_s^{0.5}}{V_a}}$$

$$x = 1.16 * 0.038 \text{ m} * \sqrt{\frac{5.08 \text{ m}^{0.5}}{0.01}} = 0.7 \text{ m}$$

$$\frac{L_s}{V_a} = \frac{5.6}{0.7} = 8.4 \text{ coincide con el número de orificios asumido}$$

16.6. FILTRACIÓN RÁPIDA CON LECHO MIXTO

- **Número de filtros (N):**

$$N = 3$$

- **Velocidad de infiltración (V_f):** Según (Resolución 0330 de 2017)" la tasa de filtración rápida para un lecho mixto debe estar entre el rango de 180 - 350 m³/m²/d como se evidencia en la siguiente tabla

Parámetro	Filtración lenta con lecho simple	Filtración rápida con lecho simple	Filtración rápida con lecho mixto
Tasa de filtración (m ³ /m ² /d)	7,0 - 14	< 120	180-350
Profundidad del medio (m)	0,8 - 1,0	0,6 -0,9	Andracita: 0,4 - 0,6
			Arena: 0,15 -0,13

Tabla 16: Características de filtración convencional. Fuente: Resolución 0330 de 2017



$$V_f = 300 \text{ m/d}$$

- **Caudal máximo por unidad (Q_u):** Se estima el caudal de paso por cada uno de las unidades de filtración de la siguiente manera:

$$Q_u = \frac{Q_{diseño}}{N}$$

$$Q_u = \frac{0.02857}{3} = 0.010 \text{ m}^3 /s$$

- **Área total de filtración (A_T):** Se procede a hacer el cálculo del área de filtración que se ocupara en los filtros

$$A_T = \frac{Q_{diseño}}{V_f}$$

$$A_T = \frac{0.02857 * 86400}{300} = 8.2 \text{ m}^2$$

- **Área por filtro (A_f):** Se estima el área que tendrá cada filtro

$$A_f = \frac{A_T}{N}$$

$$A_f = \frac{8.2}{3} = 2.7 \text{ m}^2$$

- **Diámetro de cada filtro (A_f):** Se determina el diámetro del cada filtro ya que se asume una forma cilíndrica del filtro de lecho mixto

$$\theta_f = \sqrt{\frac{A_f * 4}{\pi}}$$

$$\theta_f = \sqrt{\frac{2.7 * 4}{\pi}} = 1.87 \text{ m}$$

- **Velocidad ascensional (V_a):**

$$V_a = 0.6 \text{ m/min}$$



- **Relación B/L**

$$\frac{\theta_f}{L} = \frac{1.87}{2.40} = 0.8$$

$$\frac{N+1}{2N} = \frac{2+1}{2*2} = 0.8$$

$$\frac{1 < L}{B < 3} = \frac{L}{\theta_f} = \frac{2.40}{1.87} = 1.3$$

- **Propiedades de lecho filtrante arena**

- **Profundidad del medio (H_a):** Tomado de la tabla Características de filtración convencional. en donde según (Resolución 0330 de 2017), la profundidad del lecho de arena está entre 0.15 m -0.30 m

$$H_a = 0.25 \text{ m}$$

- **Coefficiente de uniformidad:** Como lo describe (Romero,1999) el coeficiente de uniformidad de la arena está entre 1.2 - 1.7 en donde se adopta el siguiente valor de uniformidad para la arena:

$$Cu_a = 1.6$$

- **Tamaño efectivo (d_1):** Como menciona (RAS 2000) La arena estándar está entre (0.45 mm - 0.65 mm)

$$d_1 = 0.50 \text{ mm}$$

- **Densidad (s_1):** Según (Romero,1999). La arena debe tener una densidad relativa >2.5 la cual debe ser limpia y una buena gradación



$$s_1 = 2.6$$

- **Propiedades de lecho filtrante de antracita**
- **Profundidad del medio (H_{an}):** Tomado de la tabla Características de filtración convencional. en donde según (Resolución 0330 de 2017), la profundidad del lecho de arena está entre 0.40 m -0.60 m

$$H_{an} = 0.45 \text{ m}$$

- **Coeficiente de uniformidad:** Como lo describe (Romero,1999) el coeficiente de uniformidad < 1.7 en donde se adopta el siguiente valor de uniformidad para la antracita:

$$Cu_{an} = 1.6$$

- **Tamaño efectivo (d_2):** Se obtiene en función de las densidades de los lechos de arena y antracita , llegando a obtener un tamaño de partícula efectivo de la antracita

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{S_2 - 1}{S_1 - 1} \right)^{2/3}$$

$$d_2 = d_1 / \left(\frac{S_2 - 1}{S_1 - 1} \right)^{2/3}$$

$$d_2 = 0.5 / \left(\frac{1.5 - 1}{2.6 - 1} \right)^{2/3} = 1.09 \text{ mm}$$

- **Densidad (s_2):** Según (Romero,1999). La antracita debe tener una densidad relativa >1.4 la cual debe ser limpia y una buena gradación

$$s_2 = 1.5$$

- **Propiedades de lecho de soporte grava**



- **Densidad (s_3):** Según (Romero,1999). La grava debe tener una densidad relativa promedio de >2.5

$$s_3 = 2.65$$

- **Profundidad del medio (H_g):** Según (Romero,1999). El lecho de grava puede tener una profundidad que varía entre 0.15 m a 0.60 m, en donde es usual encontrar profundidades de 0.40 m

$$H_g = 0.4 \text{ m}$$

- **Tamaño efectivo (T_{eg}):** Según (Romero,1999). El lecho de grava puede tener un tamaño efectivo entre ¼" y 1"

$$T_{eg} = 1"$$

- **Altura total lecho filtrante (A_{TL})**

$$A_{TL} = H_a + H_{an} + H_g$$

$$A_{TL} = 0.25 \text{ m} + 0.45 \text{ m} + 0.4 \text{ m} = 1.1 \text{ m}$$

- **Altura del lecho con expansión (A_{LE})**
- **Expansión 20-40% (m) (A_{LE})**

$$A_{LE} = (0.4 * A_{TL}) + A_{TL} + 0.15$$

$$A_{LE} = (0.4 * 1.1) + 1.1 + 0.15 = 1.7 \text{ m}$$

- **Caudal de lavado (Q_L)**

$$Q_L = A_f * V_a$$

$$Q_L = 2.7 * 0.6 = 1.646 \text{ m}^3/\text{min}$$

- **Lavado ascendente solo con agua (L_{aa})**

$$L_{aa} = \text{Asumido por RAS}$$



$$L_{aa} = 10 \text{ min}$$

- **Pérdidas en medios filtrantes**

$$H = h_{an} + h_{ar}$$

$$H = 0.20 \text{ m} + 0.47 = 0.67 \text{ m}$$

- **Número de Reynolds antracita (NRE_{an})**

$$NRE_{an} = \left(\frac{V_f * (d_2/1000)}{v} \right)$$

$$NRE_{an} = \left(\frac{300 \text{ m/d} * (1.09 \text{ mm} / 1000)}{86400 * 0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}} \right)$$

$$NRE_{an} = 3.31$$

- **Número de Reynolds arena (NRE_{ar})**

$$NRE_{ar} = \left(\frac{V_f * (d_1/1000)}{v} \right)$$

$$NRE_{ar} = \left(\frac{300 \text{ m/d} * (0.5 \text{ mm} / 1000)}{86400 * 0.00000114 \text{ m}^2/\text{s}} \right) = 1.52$$

- **Coeficiente de arrastre antracita (Cd_{an})**

$$Cd_{an} = \left(\frac{24}{NRE_{an}} \right) + \left(\frac{3}{\sqrt{NRE_{an}}} \right) + 0.34$$

$$Cd_{an} = \left(\frac{24}{3.31} \right) + \left(\frac{3}{\sqrt{3.31}} \right) + 0.34 = 9.24$$

- **Coeficiente de arrastre arena (Cd_{ar})**



$$Cd_{ar} = \left(\frac{24}{NRE_{an}} \right) + \left(\frac{3}{\sqrt{NRE_{an}}} \right) + 0.34$$

$$Cd_{ar} = \left(\frac{24}{1.52} \right) + \left(\frac{3}{\sqrt{1.52}} \right) + 0.34 = 18.53$$

- **Perdida de cargas antracita (h_{an})**

$$h_{an} = 1.067 * Cd_{an} * \frac{1}{0.4^4} * \frac{H_{an}}{d_2} * \frac{V_f^2}{g}$$

$$h_{an} = 1.067 * 9.24 * \frac{1}{0.4^4} * \frac{0.45}{1.09 \text{ mm}/1000} * \frac{(300 \text{ m/d})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} = 0.20 \text{ m}$$

- **Perdida de cargas arena (h_{ar})**

$$h_{ar} = 1.067 * Cd_{ar} * \frac{1}{0.4^4} * \frac{H_a}{d_1} * \frac{V_f^2}{g}$$

$$h_{ar} = 1.067 * 18.07 * \frac{1}{0.4^4} * \frac{0.25}{0.5 \text{ mm}/1000} * \frac{(300 \text{ m/d})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} = 0.47 \text{ m}$$

- **Pérdidas totales medios filtrantes (H)**

$$H = h_{an} + h_{ar}$$

$$H = 0.20 + 0.47 = 0.67 \text{ m}$$

- **Canaleta de lavado:**
- **Volumen de agua para lavar:**

$$Q_L * L_{aa}$$



$$1.646 * 10 = 16.5 \text{ m}^3$$

- **Ancho canaleta de lavado (B):**

$$B = 0.5 \text{ m}$$

- **Largo de la canaleta (LC):**

$$LC = \text{Diámetro del filtro}$$

$$LC = 1.85 \text{ m}$$

- **Altura de la canaleta de lavado (y):**

$$y = 0.98 \left(\frac{Q_L}{B} \right)^{2/3}$$

$$y = 0.98 \left(\frac{1.646}{0.5} \right)^{2/3} = 0.14 \text{ m}$$

- **Caudal de la canaleta (Qc):**

$$Qc = \frac{Q_L}{1}$$

$$Qc = \frac{1.646/60}{1} = 0.0274 \text{ m}^3/\text{s} = 27.4 \text{ L/s}$$

- **Altura de la canaleta de lavado (h_{max})**

$$h_{max} = \left(\frac{73 * Qc}{B} \right)^{2/3}$$

$$h_{max} = \left(\frac{73 * 27.4}{0.5/100} \right)^{2/3} = 11.719 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$



17. DESINFECCIÓN Y CLORACIÓN.

Para el procedimiento de desinfección se utilizará una concentración de 3 mg/l de cloro, para un caudal de 28.57 L/s; el agua pasara por este proceso donde se dosificará cloro gaseoso desde cilindros de 68 Kg mediante un dosificador de cloro, en el cual se llevará agua a presión por una tubería donde se inyectará el cloro gaseoso para que allí se mezclen y posteriormente llegue al tanque de almacenamiento donde culminará el tratamiento.



18. CONCLUSIONES

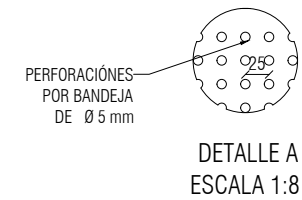
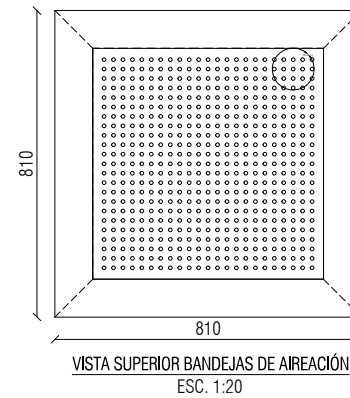
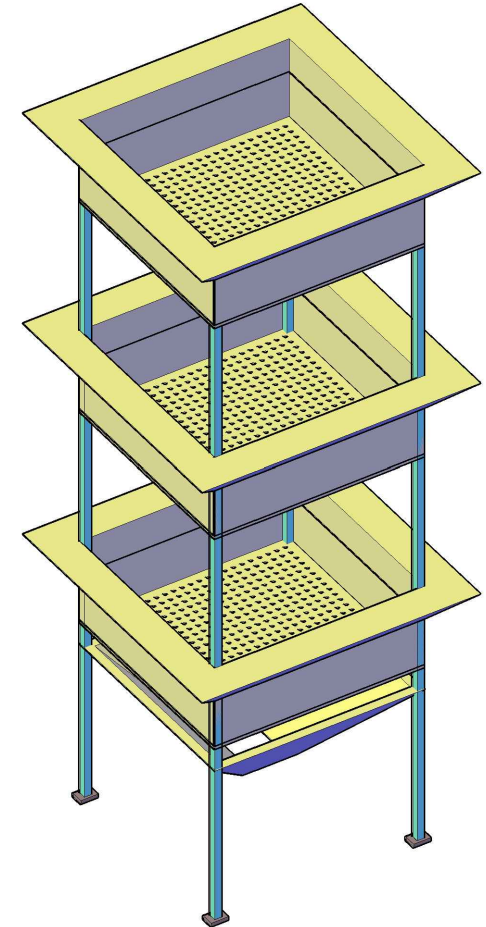
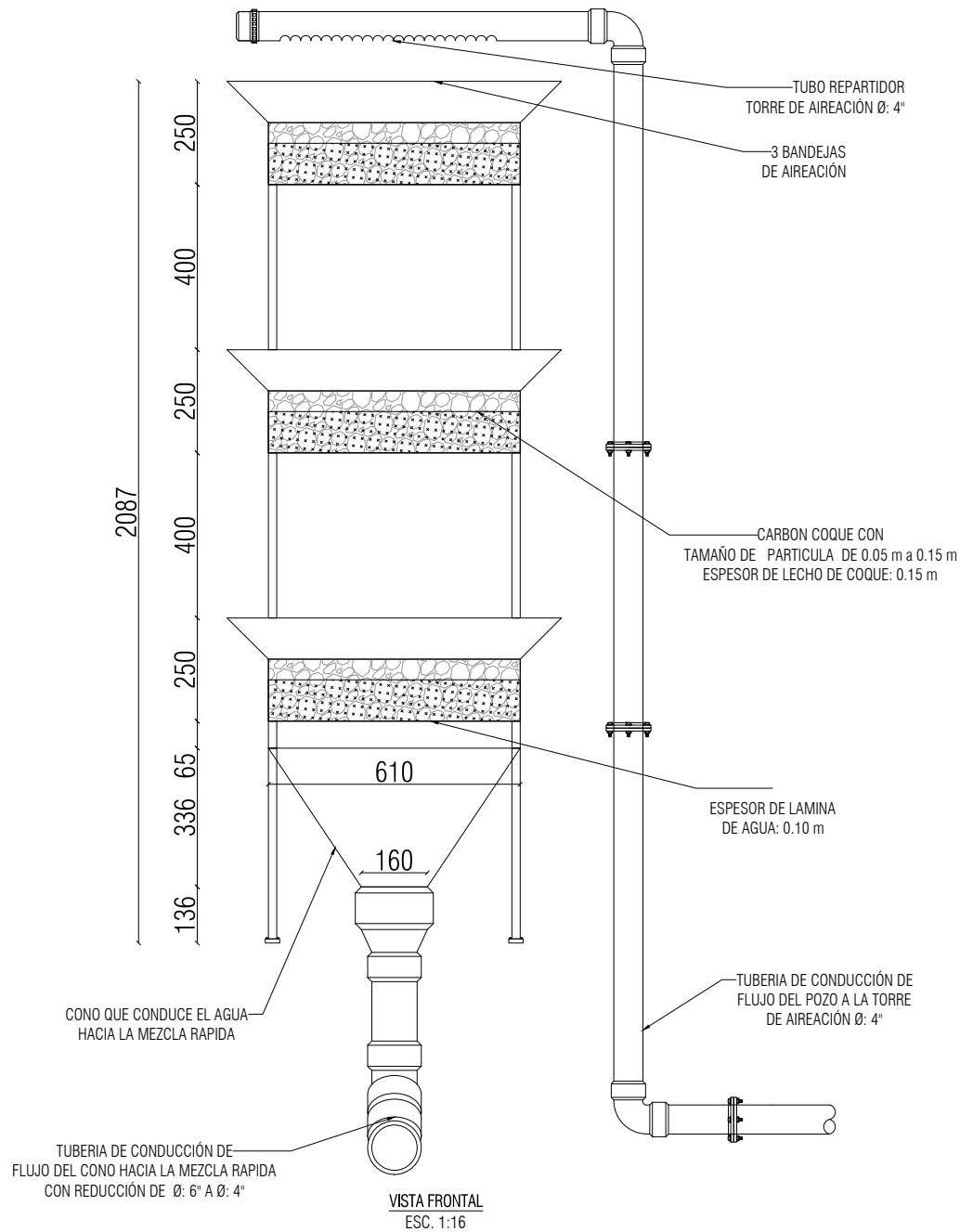
Se realizó el rediseño de ingeniería a detalle de la planta de tratamiento de agua potable el Sosiego donde por medio de estudios, análisis de calidad de agua, ensayos de laboratorio y cálculos especializados se determinó que es funcional con la capacidad de mejorar la calidad de vida para los habitantes de los barrios San José, San Carlos y Parques de Santa María, cumpliendo con la normatividad colombiana vigente.

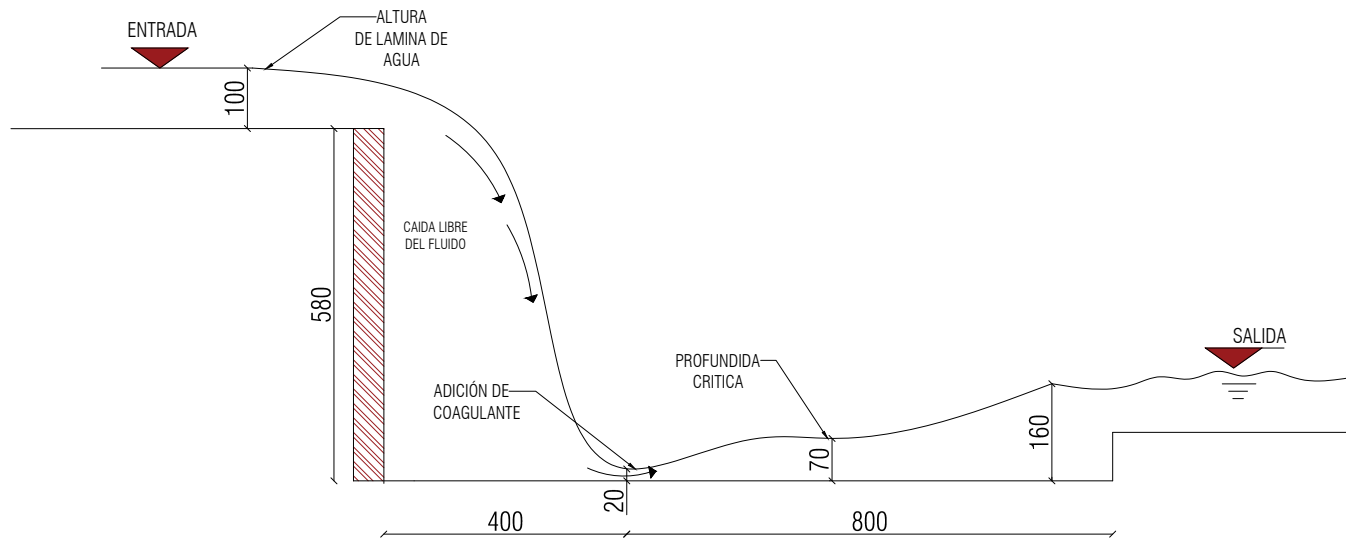
Se recopiló información por medio de entrevistas realizadas a los ciudadanos, donde se evidencia que por la suspensión del servicio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable la presión y calidad que llegan a sus hogares es deficiente, generando también aumentó en los recibos. Se espera que con la propuesta de rediseño de la PTAP del Sosiego los ciudadanos puedan recibir un suministro de agua potable adecuado y confiable para el consumo.

Mediante el estudio de calidad de agua se pudieron observar dos fuentes de abastecimiento, la primera es de la vereda Barro Blanco donde el pozo no cumplía con los parámetros establecidos en términos de calidad del agua, por esta razón se decidió usar otra fuente de abastecimiento ubicada en el pozo 8 dentro del acueducto del municipio, donde se realizaron una serie de estudios para evaluar los parámetros físico-químicos y microbiológicos, evidenciando que cumple con las características establecidas, adicionalmente se hizo el estudio del índice de riesgo de calidad del agua (IRCA) indicándonos que se encuentra en un riesgo bajo con un porcentaje de 8.82%, teniendo en cuenta que falta el proceso de filtración y cloración, los cuales solo se pueden medir cuando la planta ya está en funcionamiento.

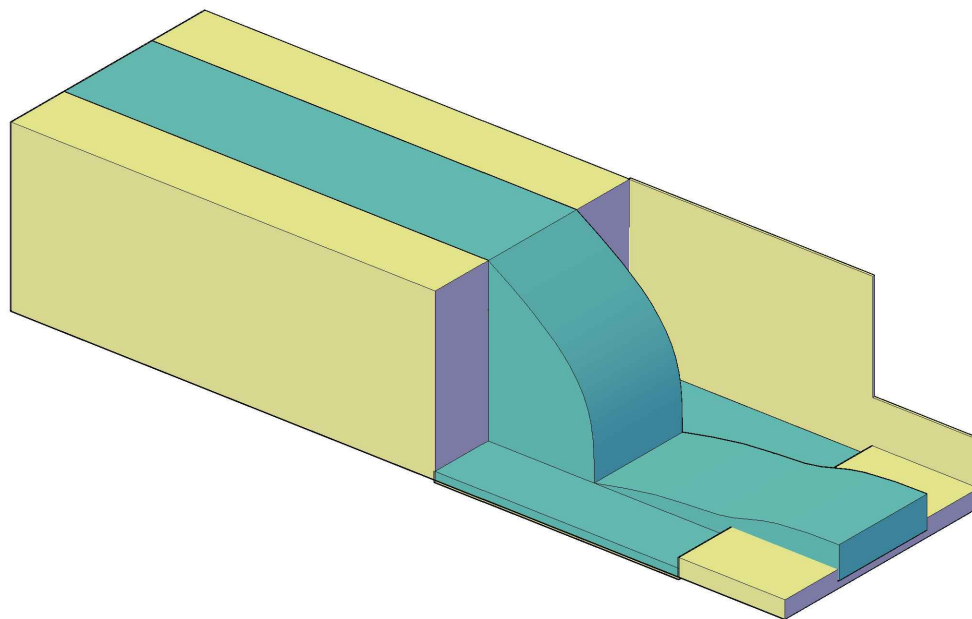
Mediante el uso de memorias de cálculo se contemplaron los parámetros de diseño establecidos por la normativa vigente usada para esta investigación (RAS 2000 y Resolución 0330 del 2017), teniendo en cuenta los procesos necesarios para el desarrollo de un rediseño de una PTAP, se dio inicio con un pretratamiento por medio de una torre de aireación la cual permite la oxigenación del fluido, continuando con la ejecución de la mezcla rápida por medio de un vertedero rectangular donde se adiciona la dosis de coagulante obtenida según los resultados de laboratorio, posteriormente se lleva a cabo la floculación mediante el proceso de mezcla lenta donde se generan las partículas denominadas Floc, continuando con el sedimentador donde las partículas pesadas se depositan en el fondo del fluido haciendo que mediante la filtración las partículas restantes sean removidas, dando como procesos finales la cloración y de esta manera hacer un proceso de verificación para hacer la distribución.



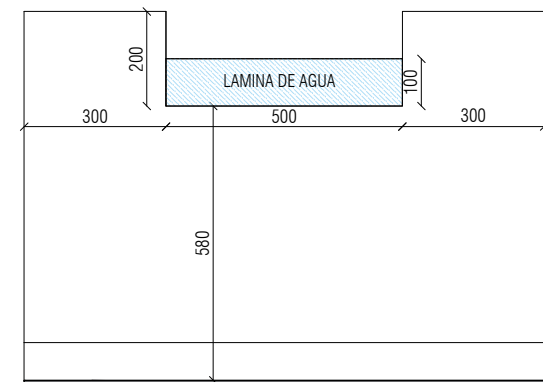




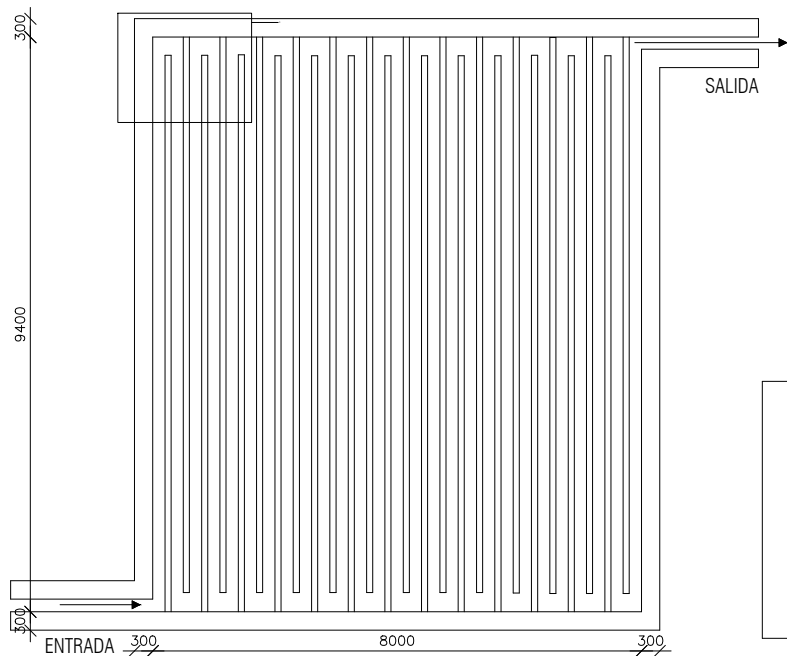
VISTA LATERAL MEZCLA RÁPIDA
ESC. 1:30



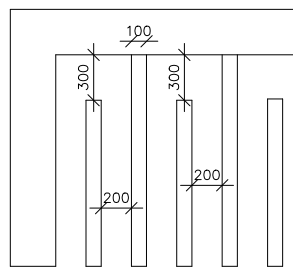
ISOMÉTRICO
ESC. SIN



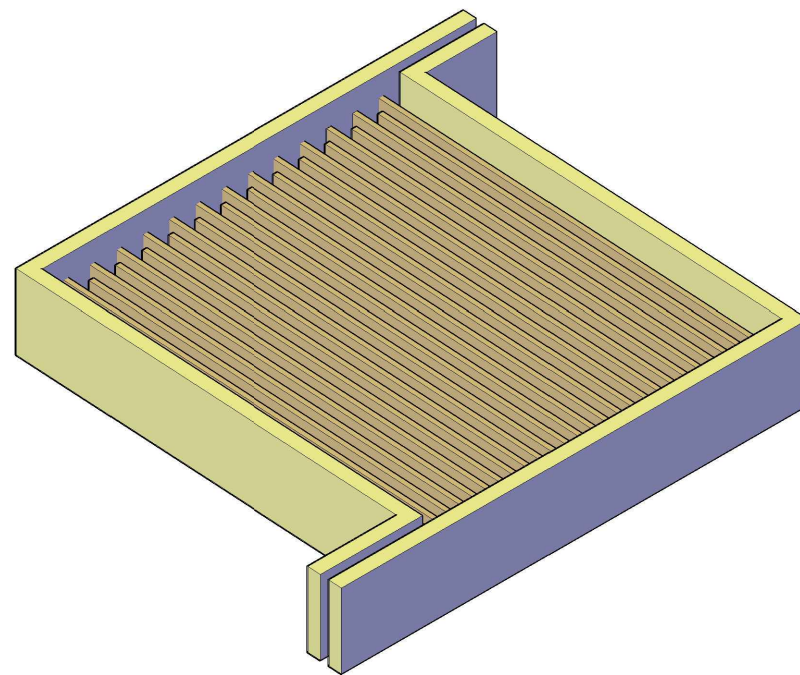
VISTA FRONTAL VERTEDERO RECTANGULAR
ESC. 1:16



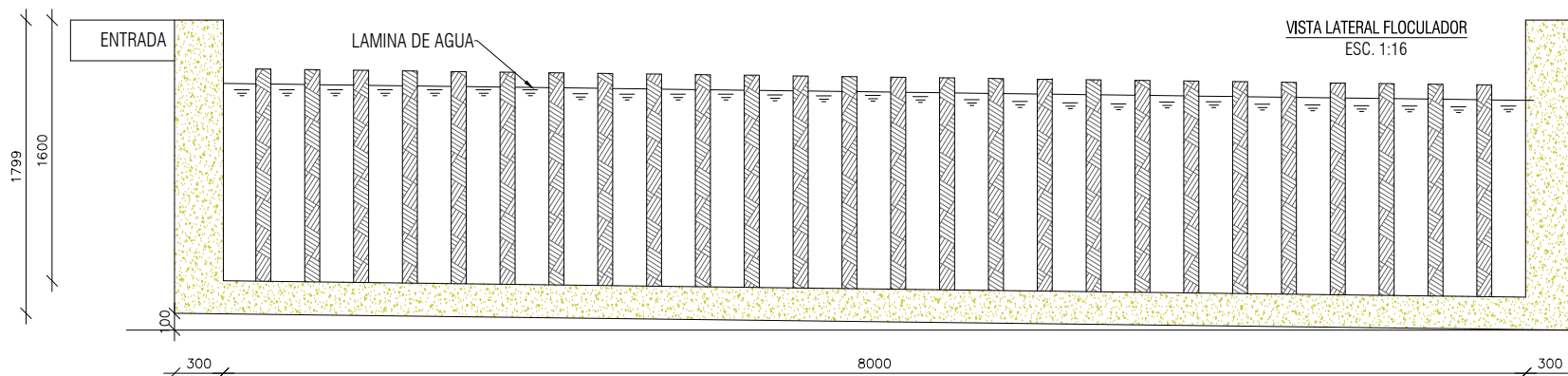
VISTA EN PLANTA FLOCULADOR
ESC. 1:100



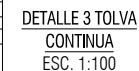
DETALLE MEDIDAS DE TABIQUES
ESC: 1:50

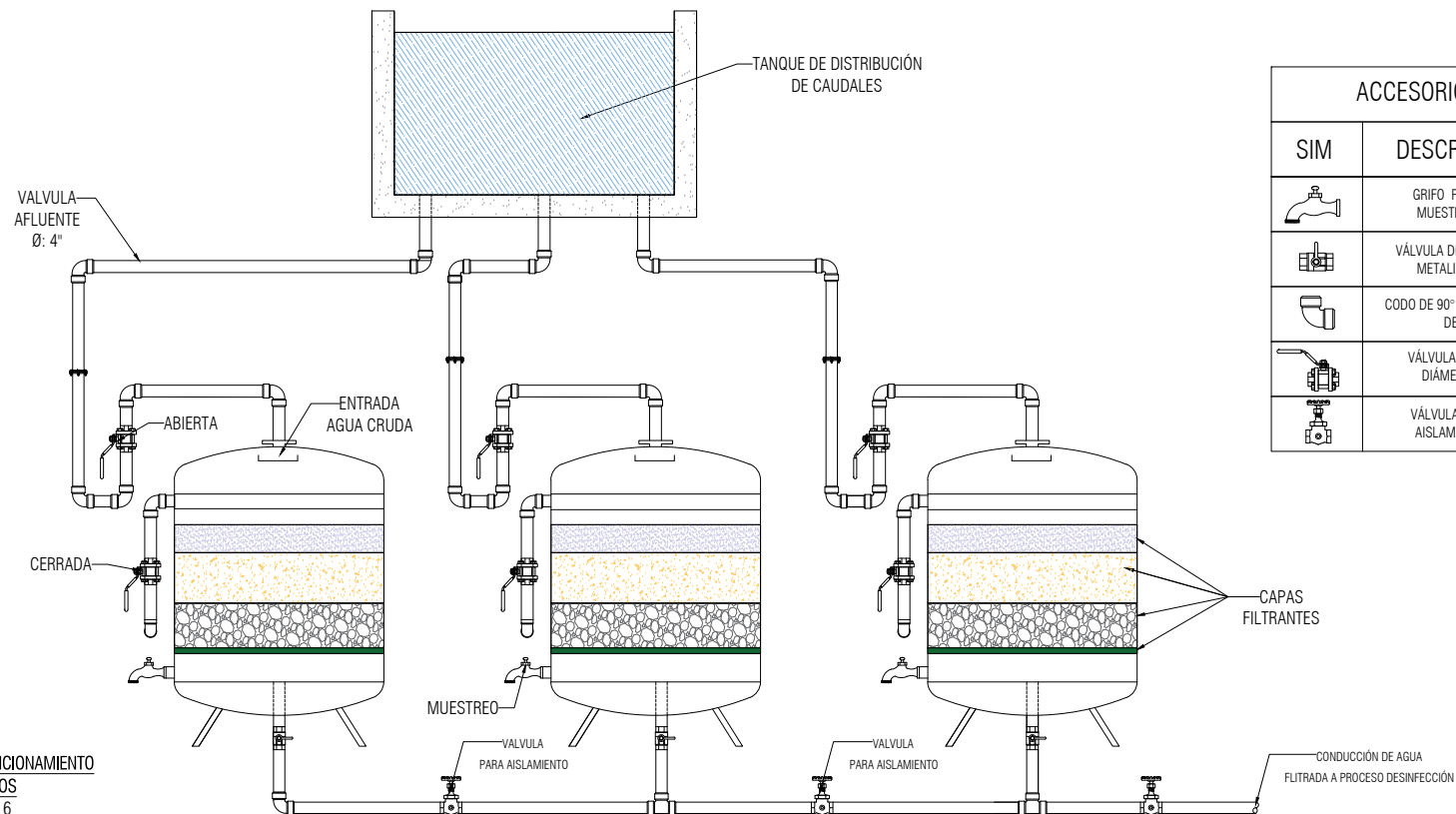


ISOMETRICO
ESC: SIN



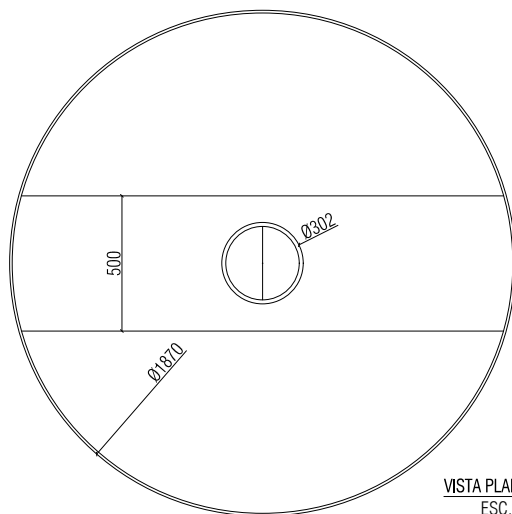
VISTA LATERAL FLOCULADOR
ESC. 1:16



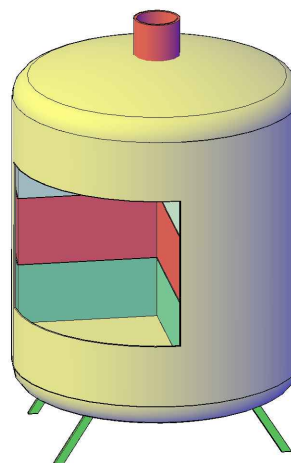


ACCESORIOS	
SIM	DESCRIPCIÓN
	GRIFO PARA MUESTREO
	VÁLVULA DE ESFERA METALICA 4"
	CODO DE 90° DE DIÁMETRO DE 4"
	VÁLVULA DE BOLA DIÁMETRO 4"
	VÁLVULA PARA AISLAMIENTO

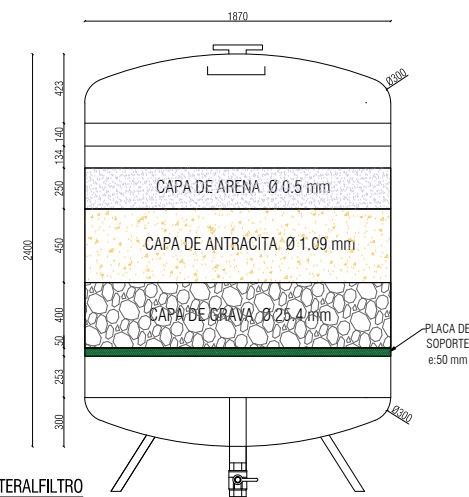
VISTA LATERAL FUNCIONAMIENTO
DE FILTROS
ESC. 1:16



VISTA PLANTA FILTRO
ESC. 1:20



ISOMÉTRICO
ESC. SIN



VISTA LATERAL FILTRO
ESC. 1:40

