

Propuesta de Diseño para el Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del Acueducto Comunitario Acuamiramar de la Ciudad de Ibagué

Andrea Carolina Garzon Quiroga

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente Ingeniería Ambiental

Ibagué, Tolima

2020

Propuesta de Diseño para el Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano del Acueducto Comunitario Acuamiramar de la Ciudad de Ibagué

Andrea Carolina Garzon Quiroga

Proyecto aplicado de desarrollo social comunitario, como requisito para optar el título de Ingeniera Ambiental

Director

Carlos Guillermo Mesa Mejía

Ingeniero Sanitario y Ambiental

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente Ingeniería Ambiental

Ibagué, Tolima

2020

Nota de aceptación

Firma del Presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Ibagué Octubre de 2020

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y mostrarme el camino, a mis padres por sus buenos consejos y por hacer de mí una gran persona, a mi esposo por la voz de aliento, el apoyo incondicional y el impulso constante, a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, la Escuela de Ciencias Agrícolas, pecuarias y de Medio Ambiente ECAPMA y su programa de Ingeniería Ambiental, por ser el sistema de fortalecimiento, por darme los conocimientos básicos y específicos de la carrera hacia un futuro laboral. a todos mis maestros, tutores y demás profesionales por compartir sus conocimientos y formarme de manera integral como profesional y ser humano recordando siempre que somos los guardianes de los recursos naturales de nuestra tierra.

Resumen

El presente trabajo se orienta sobre la realización de una propuesta de diseño para el mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano del acueducto comunitario Miramar de la ciudad de Ibagué. se realizó un diagnóstico técnico operativo de Acumiramar, tomando las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento y del acueducto comunitario. se estimó una población futura de 1698 habitantes para un horizonte de 25 años, determinando un caudal máximo diario de 4.56 L/S, las unidades de tratamiento del sistema de abastecimiento de la planta de tratamiento tipo convencional idóneas serían: coagulación, vertedero triangular, floculación, sedimentador, filtración y desinfección, distribuyéndolas en 2 secciones cada una con capacidad para 2,28 L/S, finalmente se propone un presupuesto de obra. Esto para asegurar la prestación del servicio público que cumpla con la normatividad vigente y asegure buenas condiciones de salud con agua potable y continuidad en el abastecimiento.

Palabras clave: Abastecimiento, Acueducto, Calidad del agua, Caudal, Comunitario.

Abstract

The present work is oriented on the realization of a design proposal for the improvement of the quality of water for human consumption of the Miramar community aqueduct in the city of Ibagué. An operational technical diagnosis of Acuamiramar was made, taking the physical-chemical and microbiological characterizations of the supply source and the community aqueduct. a future population of 1698 inhabitants was estimated for a horizon of 25 years, determining a maximum daily flow of 4.56 L / S, the treatment units of the supply system of the conventional type treatment plant would be: coagulation, triangular dump, flocculation, settler, filtration and disinfection, distributing them in 2 sections each with a capacity of 2.28 L / S, finally a work budget is proposed. This ensures the provision of public service that complies with current regulations and ensures good health conditions with drinking water and continuity of supply.

Key words: Supply, Aqueduct, Water quality, Flow, Community.

Resumen Analítico Especializado RAE

Tema	Potabilización
Título	PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO MIRAMAR DE LA CIUDAD DE IBAGUÉ
Autores	Andrea Carolina Garzon Quiroga
Fuente Bibliográfica	<p>Bello Parra, W. Y., & Camacho Cuesta, S. J. (2017). Propuesta de Mejoramiento Técnico Operativo al Acueducto Veredal Servimazatas Vereda RioFrio Occidental, Tabio Cundinamarca.</p> <p>Cadavid, N. (2008). Criterios de sostenibilidad para acueductos comunitarios. Estudio de caso: Periferia urbana del Municipio de Envigado, Cuenca de la Quebrada La Ayurá (Doctoral dissertation, Tesis de maestría, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).</p> <p>Cardenas Parra, C. M., & Adame Erazo, F. A. (2014). Diseño De Una Planta De Tratamiento De Agua Potable: Caso De Estudio Un Municipio De Santander (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Química).</p> <p>Correa, H. (2006). Acueductos comunitarios, patrimonio público y movimientos sociales. Notas y preguntas hacia una caracterización social y política.[En línea] Ecofondo.[Citado mayo de 2008]. Disponible en Internet:< http://www. agua. org. mx/content/view/6172/101.</p> <p>Chacón, G., Lizcano, I., & Lara, Y. A. (2011). Consumo básico de agua potable en Colombia. Tecnogestión: Una mirada al ambiente, 8(1).</p> <p>Giraldo, N. C. (2009). Acueductos comunitarios: Patrimonio social y ambiental del Valle de Aburrá. Avances en recursos hidráulicos, (20).</p> <p>Molina, J. E., & Morales, S. A. (2018). El derecho humano al agua potable en Colombia: decisiones del estado y de los particulares. Vniversitas, 67(136), 1-14.</p> <p>Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS.</p> <p>Vidal, F. J. R. (2003). Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos</p>
Año	2020
Resumen	El presente trabajo se orienta sobre la realización de una propuesta de diseño para el mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano del acueducto comunitario Miramar de la ciudad de Ibagué. se realizó un diagnostico técnico operativo de Acuamiramar, tomando las caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas de la fuente de

	<p>abastecimiento y del acueducto comunitario. se estimó una población futura de 1698 habitantes para un horizonte de 25 años, determinando un caudal máximo diario de 4.56 L/S, las unidades de tratamiento del sistema de abastecimiento de la planta de tratamiento tipo convencional idóneas serían: coagulación, vertedero triangular, floculación, sedimentador, filtración y desinfección, distribuyéndolas en 2 secciones cada una con capacidad para 2,28 L/S, finalmente se propone un presupuesto de obra. Esto para asegurar la prestación del servicio público que cumpla con la normatividad vigente y asegure buenas condiciones de salud con agua potable y continuidad en el abastecimiento.</p>	
Palabras Clave	Abastecimiento, Acueducto, Calidad del agua, Caudal, Comunitario.	
Contenidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introducción 2. Planteamiento del problema 3. Objetivos 4. Justificación 5. Marco Referencial 	<ol style="list-style-type: none"> 6. Resultados 7. Conclusiones 8. Recomendaciones 9. Bibliografía 10. Anexos
Descripción del Problema	<p>Con la globalización y el rápido aumento de la población, el agua dulce se ha transformado en un recurso natural de gran demanda y de difícil acceso, esto ha conllevado a la creación de estrategias que permitan entregar agua dulce apta para el consumo humano. (Vidal, 2003). Sin embargo, las estrategias utilizadas para suministrar agua potable a nivel mundial han sido deficientes, según la organización mundial de la salud, 663 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable, 2600 millones de personas no disponen de estructuras adecuadas de saneamiento y depuración de aguas residuales, En muchos lugares existe agua abundante pero no en condiciones para ser usada para consumo humano, Esto da lugar a un aumento de la mortalidad por enfermedades y a una limitada calidad de vida, (Rojas, 2002).</p> <p>Cardona (2019) Afirma que según el Estudio Nacional del agua 2018, "La demanda de agua en Colombia aumentó cerca del 5 % al pasar de 35 582 millones de metros cúbicos al año en 2014 a 37 308 millones en 2018, además se encontró que el índice de la calidad de agua varía entre aceptable y muy malo, en ninguna estación de monitoreo se encontró el recurso dentro de la categoría buena, Se reveló que 350 de los municipios en Colombia el 32% no tiene acceso a agua potable de calidad y 450 sufren por la continuidad del líquido en sus casas". Según el informe sobre el Análisis preliminar de la problemática en el sistema de recolección y distribución de agua en Ibagué, (Ángel, 2017), la empresa encargada de potabilizar y suministrar agua al 85 % de la población es el IBAL S.A. E.S.P (Empresa de Acueducto y Alcantarillado). La planta de tratamiento de agua potable, PTAP, ubicada en el barrio la Pola luego es distribuida a gravedad a todas las comunas de la ciudad, Sin embargo, por la topografía del terreno y para garantizar la continuidad del servicio, la ciudad cuenta con 32 acueductos comunitarios, los cuales surten de agua al 15% restante de los ibaguereños; Estos se encuentran ubicados de la siguiente forma: 2</p>	

	<p>en la comuna 1, 3 en la comuna 2, 1 en la comuna 3, 7 en la comuna 6, 2 en la comuna 7, 1 en la comuna 12, 1 en la comuna 11 y 15 en la comuna 13. (Jiménez, 2016).</p> <p>No obstante, según reportes de la secretaria de salud del municipio, en los últimos años el Índice de Riesgo de Calidad del Agua –IRCA-. Este indicador mide la calidad del servicio de agua. El IRCA entre 14% y 35% indica que existe un nivel de riesgo medio y se considera que el agua no es apta para consumo humano (Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007) Esto se debe según el plan de desarrollo 2016 – 2019 de la ciudad.</p> <p>En el caso particular de Acuamiramar a nivel técnico y operativo se prioriza la captación a través de la construcción de la bocatoma, así como la infraestructura de abastecimiento (el tanque de almacenamiento y la red de distribución), postergando la construcción de los sistemas de tratamiento. Es por ello que este acueducto carece de la planta de potabilización, aunque en los últimos años y debido a una acción popular la justicia ha obligado a que estos prestadores tengan el sistema de tratamiento. Pero esto no ha sido solución ya que los prestadores no tienen capacidad económica por los costos que esto implica. Lo anterior trae como consecuencia que el suministro de agua, se realice sin cumplir con los valores establecidos por la legislación, incrementando de esta forma las enfermedades gastrointestinales y las afectaciones a la salud y salubridad públicas.</p>
Objetivo general	Realizar una propuesta de diseño para el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano en el acueducto comunitario Acuamiramar, ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> – Elaborar un diagnóstico de las condiciones y estructuras actuales del acueducto comunitario Acuamiramar, esto con el fin de identificar las fallas y las oportunidades de mejora. – Diseñar una propuesta de planta de tratamiento de agua potable, (PTAP), para el acueducto comunitario Acuamiramar, ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué. – Estimar el presupuesto total para la construcción de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto comunitario Acuamiramar.
Metodología	<ol style="list-style-type: none"> 1. Valoración técnico – operativa del acueducto Miramar 2. Diseño de la planta de tratamiento de agua potable 3. Presupuesto total de la construcción de la Ptap
Principales Referentes teóricos y conceptuales	<p>Calidad del agua</p> <p>Según la organización mundial de la salud (2011), Agua potable es aquella que se utiliza para usos domésticos, para beber, cocinar y para higiene personal. Se considera segura si cumple ciertas normas microbiológicas y químicas concernientes a la calidad del agua potable. En Colombia, el parámetro adoptado para valorar la calidad del agua potable es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). En la tabla 4, se relaciona el puntaje asignado a las características valoradas en el agua y los valores máximos permisibles.</p> <p>Acueductos comunitarios:</p>

	<p>La población urbana está acostumbrada a recibir agua para consumo doméstico a través de sistemas de gran escala, con fuentes de abastecimiento lejanas, de manera que no se crea ninguna relación con el territorio que provee el recurso. Salvo pequeños comités de usuarios, desconocidos por la mayoría, tampoco existe relación con la empresa que suministra el recurso, solo se establece un vínculo a través del pago mensual de la factura. (Giraldo, 2009).</p> <p>El mayor impacto sobre la salud pública se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua; la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario presente en el agua. (Lozada 2009).</p> <p>Sistema de abastecimiento de agua potable: Conjunto de obras que permiten que una comunidad pueda obtener el agua para fines de consumo doméstico, servicios públicos, industrial y otros. El agua suministrada debe ser en cantidades suficientes y de la mejor calidad, desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico (Concha y Guillén, 2014). Según Ramírez (2016) estos pueden ser convencionales o no convencionales.</p>
Resultados	<p>Con la finalización de las diferentes actividades como el diagnóstico se determinó que las condiciones técnico-operativas del acueducto Miramar no son las adecuadas para el suministro del agua potable.</p> <p>En la propuesta de diseño se elaboraron los planos según la normatividad legal vigente teniendo en cuenta los requerimientos de espacio y etapas idóneas para la potabilización del agua. En el presupuesto se calcularon las cantidades y los valores actuales para cada diseño.</p>
Conclusiones	<ul style="list-style-type: none"> –El caudal de concesión que tiene actualmente el acueducto comunitario Acuamiramar, 8.6 l/s, garantiza la construcción de la planta de tratamiento de agua potable diseñada en el presente trabajo con un horizonte de 25 años. –Se debe establecer un plan de manejo ambiental que ayude a mitigar los impactos ambientales generados por las actividades antrópicas desarrolladas agua arriba del lugar donde se capta el agua en la quebrada la gallinaza y el tejar. –Al analizar los estudios fisicoquímicos y microbiológicos realizados a la quebrada el tejar y la gallinaza, se encuentra que a pesar de que los niveles de turbiedad son mínimos, la presencia de coliformes obliga al acueducto comunitario Acuamiramar a diseñar una planta de tratamiento de agua potable de tipo convencional.

Glosario

AGUA POTABLE: agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

BOCATOMA: estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto.

CAUDAL DE DISEÑO: caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO: consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un período de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado.

DESINFECCIÓN: proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua.

DIÁMETRO NOMINAL: es el número con el cual se conoce comúnmente el diámetro de una tubería, aunque su valor no coincida con el diámetro real interno.

MACROMEDICIÓN: sistema de medición de grandes caudales, destinados a totalizar la cantidad de agua que ha sido tratada en una planta de tratamiento y la que está siendo transportada por la red de distribución en diferentes sectores.

MICROMEDICIÓN: sistema de medición de volumen de agua, destinado a conocer la cantidad de agua consumida en un determinado período de tiempo por cada suscriptor de un sistema de acueducto.

PÉRDIDAS MENORES: pérdida de energía causada por accesorios o válvulas en una conducción de agua.

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN: pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

PERÍODO DE DISEÑO: tiempo para el cual se diseña un sistema o los componentes de éste, en el cual su(s) capacidad(es) permite(n) atender la demanda proyectada para este tiempo.

POBLACIÓN DE DISEÑO: población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el período de diseño.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo General.....	22
3.2 Objetivos Específicos	22
4. JUSTIFICACIÓN.....	23
5. MARCO REFERENCIAL	25
5.1 MARCO TEORICO	25
5.1.1. <i>Calidad del agua</i>	<i>25</i>
5.1.2. <i>Acueductos comunitarios</i>	<i>28</i>
5.1.3. <i>Potabilización del agua</i>	<i>32</i>
5.1.4. <i>Características del agua potable</i>	<i>34</i>
5.1.5. <i>Sistema de abastecimiento de agua potable</i>	<i>36</i>
5.1.6. <i>Planta de tratamiento de agua potable.....</i>	<i>37</i>
5.1.7. <i>Tipos de plantas de tratamiento de agua potable</i>	<i>40</i>
5.2 MARCO LEGAL.....	43
5.3 MARCO INSTITUCIONAL.....	44
6. METODOLOGÍA.....	46
6.1 AREA DE ESTUDIO.....	47
6.2 VALORACION TECNICO OPERATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL ACUEDUCTO ACUAMIRAMAR.....	49
6.3 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	50
6.3.1 <i>Tipo de planta de tratamiento de agua potable</i>	<i>50</i>
6.3.2 <i>Estimación población futura</i>	<i>50</i>
6.3.3 <i>Calculo de las dotaciones.....</i>	<i>51</i>
6.3.4 <i>Caudales de diseño</i>	<i>52</i>
6.3.5 <i>Unidades de tratamiento</i>	<i>53</i>

6.4 PRESUPUESTO TOTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO ACUAMIRAMAR.....	63
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	64
7.1 VALORACION TECNICO OPERATIVA DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL ACUEDUCTO ACUAMIRAMAR.....	64
7.2 ESTADO DE LA CUENCA	69
7.3 EVALUACION DEL INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA (IRCA), PARA EL ACUEDUCTO ACUAMIRAMAR	71
7.4 SELECCIÓN DEL GRADO DE TRATAMIENTO	72
7.5 CALCULO DE LA POBLACION FUTURA.....	73
7.6 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA POBLACION	75
7.6 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP).....	76
7.6.1 <i>Sistema de entrada</i>	77
7.6.2 <i>Coagulación</i>	80
7.6.3 <i>Floculación</i>	84
7.6.4 <i>Sedimentación</i>	88
7.6.5 <i>Filtración</i>	91
7.6.6 <i>Desinfección</i>	93
7.6.7 <i>Tanque de almacenamiento</i>	96
7.7. PRESUPUESTO TOTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO ACUAMIRAMAR.....	98
8. CONCLUSIONES	100
9. RECOMENDACIONES	101
10. BIBLIOGRAFIA	102

Tablas

Tabla 1. Indicadores de la prestación del servicio en los acueductos comunitarios.....	25
Tabla 2. IRCA medidos por los prestadores de suministro de agua en el municipio de Ibagué para el año 2015.....	27
Tabla 3. Calidad del agua de la fuente	29
Tabla 4. Características e incidencia en el IRCA	30
Tabla 5. Clasificación del nivel de riesgo IRCA.....	32
Tabla 6. Normatividad legal ambiental concerniente al recurso agua	43
Tabla 7. Dotación neta máxima según altura sobre el nivel del mar de la zona atendida	52
Tabla 8. Fórmulas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de aquietamiento	54
Tabla 9. Fórmulas para calcular los parámetros de diseño del vertedero triangular	55
Tabla 10. Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de la coagulación.....	56
Tabla 11. Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de repartición...	57
Tabla 12. .Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de floculación	57
Tabla 13. Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del Sedimentador.....	59
Tabla 14. Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del proceso de filtración	60
Tabla 15. Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del proceso de desinfección.	62
Tabla 16. Descripción de la cuenca del río Combeima	69
Tabla 17. Índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA), para los acueductos comunitarios ubicados en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué	71
Tabla 18. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la fuente de abastecimiento.....	72
Tabla 19. Población servida acueducto Acuamiramar.....	74
Tabla 20. Generalidades cumplimiento resolución 0330.....	77

Tabla 21. Tabla aforadora	79
Tabla 22. Secciones del Floculador.....	84
Tabla 23. Resumen datos floculador	85
Tabla 24. Parámetros diseño sedimentador	88
Tabla 25. Parámetros diseño filtración.....	91
Tabla 26. Lecho filtrante	92
Tabla 27. Resumen perdidas	93
Tabla 28. Componentes del filtro.....	93
Tabla 29. Presupuesto de Obra PTAP.....	99

Figuras

Figura 1. Esquema de una planta convencional.....	41
Figura 2. Esquema de una Planta de Filtración Rápida	42
Figura 3. Esquema de una planta de filtración rápida.....	42
Figura 4. Organigrama general de Acuamiramar, Fuente: (Acuamiramar, 2020).....	45
Figura 5. Metodología utilizada para la propuesta de mejoramiento.....	46
Figura 6. Ubicación de la comuna 13 en la ciudad de Ibagué	47
Figura 7. Esquema operacional Acueducto Acuamiramar	49
Figura 8. Bocatoma quebrada el Tejar.....	64
Figura 9. Bocatoma quebrada la Gallinaza	64
Figura 10. Tanque Radiocacique	65
Figura 11. Tanque el Diviso.....	67
Figura 12. Desarenador bocatoma el Tejar	67
Figura 13. Llegada de las líneas de aducción en el tanque El Diviso	68
Figura 14. Población futura para el año 2045	74
Figura 15. Vertedero Triangular	79
Figura 16. Sección cámaras desagües y aquietamiento corte	81
Figura 17. Sección canal de entrada planta.....	82
Figura 18. Sección canal de entrada corte	83
Figura 19. Planta zona Floculadores.....	86
Figura 20. Corte Floculadores.....	87
Figura 22. Planta zona sedimentadores.....	90
Figura 23. Planta zona Filtros	94
Figura 24. Corte zona Filtros	95
Figura 25. Planta tanque de almacenamiento	96
Figura 26. Corte tanque de almacenamiento.....	97

Introducción

Para dar un aporte social desde la academia, el presente proyecto aplicado contiene la propuesta para el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano en el acueducto comunitario Acuamiramar, empresa que surte agua a los habitantes del barrio Miramar ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué, departamento del Tolima, cuyo contenido se refiere al alcance, generalidades, estudio de población, demanda de agua, tipo de planta más adecuado según las características del sistema y presupuesto de obra. Por medio del diagnóstico integral se diseñó la planta de tratamiento de agua potable para Acuamiramar, esto con el fin de contribuir a mejorar la calidad de vida de la comunidad del barrio Miramar, promoviendo la prestación del servicio público que cumpla con la normatividad legal vigente y asegure buenas condiciones de salud con agua potable y continuidad en el abastecimiento, el ahorro y uso eficiente del agua y la conservación de los recursos naturales.

Todo esto dentro del marco de las resolutivas de obligatorio cumplimiento del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT): dentro de las cuales están la Resolución No. 1063 de 30 diciembre de 2016, la Resolución No. 0330 de 08 de junio de 2017 (por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y el RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009).

Igualmente se parte de los manuales de prácticas de buena ingeniería actualizados en 2010 del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico en

sus Títulos A - Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico, B - Sistemas de acueducto y C - Sistemas de potabilización.

Con la ejecución de este proyecto se dará cumplimiento a uno de los criterios que establece la Asamblea General de las Naciones Unidas (2010) sobre el derecho humano al agua y al saneamiento. La Asamblea reconoció el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día) y que sea segura, aceptable, asequible y accesible físicamente.

Planteamiento del Problema

Con la globalización y el rápido aumento de la población, el agua se ha transformado en un recurso natural de gran demanda y de difícil acceso, esto ha conllevado a la creación de estrategias que permitan entregar agua apta para el consumo humano. (Vidal, 2003). Sin embargo, las estrategias utilizadas para suministrar agua potable a nivel mundial han sido deficientes, según la organización mundial de la salud, 663 millones de personas en el mundo no tienen acceso al agua potable, 2600 millones de personas no disponen de estructuras adecuadas de saneamiento y depuración de aguas residuales, En muchos lugares existe agua abundante pero no en condiciones para ser usada para consumo humano, Esto da lugar a un aumento de la mortalidad por enfermedades y a una limitada calidad de vida, (Rojas, 2002).

Cardona (2019) Afirma que según el Estudio Nacional del agua 2018, "La demanda de agua en Colombia aumentó cerca del 5 % al pasar de 35 582 millones de metros cúbicos al año en 2014 a 37 308 millones en 2018, además se encontró que el índice de la calidad de agua varía entre aceptable y muy malo, en ninguna estación de monitoreo se encontró el recurso dentro de la categoría buena, Se reveló que 350 de los municipios en Colombia el 32% no tiene acceso a agua potable de calidad y 450 sufren por la continuidad del líquido en sus casas". Según el informe sobre el Análisis preliminar de la problemática en el sistema de recolección y distribución de agua en Ibagué, (Ángel, 2017), la empresa encargada de potabilizar y suministrar agua al 85 % de la población es el IBAL S.A. E.S.P (Empresa de Acueducto y Alcantarillado). La planta de tratamiento de agua potable, PTAP, ubicada en el barrio la Pola luego es distribuida a gravedad a todas las comunas de la ciudad, Sin embargo, por la topografía del terreno y para garantizar la continuidad del servicio, la ciudad cuenta con 32 acueductos comunitarios, los cuales surten de agua al 15% restante de los ibaguereños; Estos se encuentran ubicados de la

siguiente forma: 2 en la comuna 1, 3 en la comuna 2, 1 en la comuna 3, 7 en la comuna 6, 2 en la comuna 7, 1 en la comuna 12, 1 en la comuna 11 y 15 en la comuna 13. (Jiménez, 2016).

No obstante, según reportes de la secretaria de salud del municipio, en los últimos años el Índice de Riesgo de Calidad del Agua –IRCA-. Este indicador mide la calidad del servicio de agua. El IRCA entre 14% y 35% indicando que existe un nivel de riesgo medio y se considera que el agua no es apta para consumo humano (Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007) Esto se debe según el plan de desarrollo 2016 – 2019 de la ciudad.

En el caso particular de Acumiramar a nivel técnico y operativo se prioriza la captación a través de la construcción de la bocatoma, así como la infraestructura de abastecimiento (el tanque de almacenamiento y la red de distribución), postergando la construcción de los sistemas de tratamiento. Es por ello que este acueducto carece de la planta de potabilización, aunque en los últimos años y debido a una acción popular la justicia ha obligado a que estos prestadores tengan el sistema de tratamiento. Pero esto no ha sido solución ya que los prestadores no tienen capacidad económica por los costos que esto implica. Lo anterior trae como consecuencia que el suministro de agua, se realice sin cumplir con los valores establecidos por la legislación, incrementando de esta forma las enfermedades gastrointestinales y las afectaciones a la salud y salubridad públicas.

Objetivos

3.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de diseño para el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano en el acueducto comunitario Acuamiramar, ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué

3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un Diagnóstico de las condiciones y estructuras actuales del acueducto comunitario Acuamiramar, a fin de identificar las fallas y las oportunidades de mejora.

- Diseñar una propuesta de planta de tratamiento de agua potable, (PTAP), para el acueducto comunitario Acuamiramar, ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué.

- Estimar el presupuesto total para la construcción de la planta de tratamiento de agua potable del acueducto comunitario Acuamiramar.

Justificación

La calidad del agua es un indicador de calidad de vida, influyendo en la salud, la diversidad biológica, la realización de las actividades socioeconómicas y en todo el desarrollo del ser humano. De acuerdo a lo anterior, el objetivo principal de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano, es aportar información que permita la toma de decisiones para el mejoramiento de la misma, y así, proporcionar beneficios significativos para la salud, reduciendo la posibilidad de transmisión de enfermedades por agua contaminada, (Briñez, 2012). La corte constitucional en la sentencia T- 381 de 2009, expresa que el agua hace parte del núcleo esencial del derecho a la vida en condiciones dignas, cuando está destinada al consumo humano. Por tal motivo el presente proyecto aplicado contiene el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para el acueducto Acuamiramar, acueducto que presenta un IRCA en riesgo alto, a fin de cumplir con la normatividad y garantizar el agua potable a sus usuarios.

Colombia estableció un sistema de protección y control de la calidad del agua para consumo humano, según la Resolución 2115 de 2007, utilizando la clasificación del Índice de Riesgo para la Calidad del agua (IRCA), en el cual la Secretaria de Salud analiza 22 parámetros del agua como son color aparente, turbiedad, calcio, alcalinidad total, cloruros, aluminio, dureza, hierro total, magnesio, manganeso, molibdeno, sulfatos, zinc, fosfatos, fluoruros, nitratos, nitritos, carbono orgánico total, coliformes totales, Escherichia colí, pH y cloro residual, (Ávila, 2012). Cada parámetro que obtenga un valor por fuera de los valores máximos aceptables tendrá una influencia en la evaluación del IRCA, la cual define si el agua tratada es inviable sanitariamente, (80,1 a 100%), riesgo alto (35,1 a 80%), riesgo medio (14,1 a 35%), riesgo bajo (5,1 a 14%) y sin riesgo (0 a 5 %), (Torres, 2010).

Según estudios realizados por la secretaria de salud del municipio, el índice de riesgo de la calidad del agua, (IRCA), de la ciudad de Ibagué para el año 2017, fue de los más altos para las capitales del país con un valor de 49.64, situación que se debe principalmente al aporte de los acueductos comunitarios con un 51 % en el Caso del acueducto comunitario de Acuamiramar presenta un valor de 75,8 indicando que el agua suministrada no es apta para el consumo humano, en cambio el IRCA del IBAL, empresa que abastece de agua potable al 85 % de los ibaguereños no presenta riesgo con un valor de 0,18, la comunidad del barrio Miramar se encuentra en riesgo por la falta de abastecimiento de agua potable de calidad, esta propuesta busca controlar el nivel de contaminantes presentes en el agua consumida por los habitantes, Finalmente, la comunidad del Barrio Miramar y sus alrededores serán los beneficiarios directos con este proyecto quienes podrán contar con agua potable para cubrir las necesidades diarias y evitar problemas de salud pública.

Marco Referencial

5.1 MARCO TEORICO

5.1.1. *Calidad del agua*

Según la organización mundial de la salud (2011), Agua potable es aquella que se utiliza para usos domésticos, para beber, cocinar y para higiene personal. Se considera segura si cumple ciertas normas microbiológicas y químicas concernientes a la calidad del agua potable. En Colombia, el parámetro adoptado para valorar la calidad del agua potable es el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA). En la tabla 1, se relaciona el puntaje asignado a las características valoradas en el agua y los valores máximos permisibles.

Tabla 1.

Características e incidencia en el IRCA

Características	Como se expresa	Valor máximo aceptable	Incidencia en el puntaje del IRCA
color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15	6
olor y sabor	Aceptable o no Aceptable	aceptable	-
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2	15
Calcio	CA	60 mg/L	1
Alcalinidad Total	CACO ₃	200 mg/l	1
Cloruros	Cl ⁻	250 mg/L	1
Aluminio	Al ³⁺	0,2mg/L	3

Dureza Total	CACO3	300 mg/L	1
Hierro Total	Fe	0,3mg/L	1,5
Magnesio	Mg	36mg/L	1
Manganeso	Mn	0,1mg/L	1
Molibdeno	Mo	0,07 mg/L	1
Sulfatos	SO42-	250 mg/L	1
zinc	Zn	3 mg/L	1
fosfatos	PO43-	0,5 mg/L	1
fluoruros	F-	1 mg/L	1
nitratos	NO3-	10 mg/L	1
nitritos	NO2-	0,1 mg/L	3
Carbono Orgánico Total	COT	5 mg/L	3
coliformes totales	Unidad Formadora de Colonia (UFC/100 cm3)	0	15
escherichia colí	Unidad Formadora de Colonia (UFC/100 cm3)	0	25
pH	unidades de pH	entre 6,5 a 9	1,5
cloro residual	mg Cl2/L	entre 0,3 y 2 mg/L	15
IRCA (%)		100	

Nota. Fuente: (Resolución N° 2115 de 2007, Decreto 1575 de 2007.)

El cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano, IRCA, se calcula con la siguiente ecuación:

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a características no deseables} \times 100}{\sum \text{Puntaje de riesgo asignado a todas las características analizadas}}$$

Teniendo en cuenta los resultados del IRCA, se define la siguiente clasificación del nivel de riesgo del agua suministrada para el consumo humano por la persona prestadora y se

señalan las acciones que debe realizar la autoridad sanitaria competente (Resolución 2115 de 2007), la clasificación del nivel de riesgo del agua se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 2.

Clasificación del nivel de riesgo IRCA

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, controlaría general y procuraduría general.	Agua no apta para consumo humano gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes y gobernadores respectivos.
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,

0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y vigilancia	susceptible de mejoramiento. Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.
-------	------------	-----------------------------------	--

Nota. Fuente: (Resolución N° 2115 de 2007, Decreto 1575 de 2007.)

5.1.2. *Acueductos comunitarios*

De acuerdo a lo expuesto por Giraldo en el documento Acueductos Comunitarios Patrimonio Social y Ambiental del valle de Aburrá en el año 2009, la población urbana está acostumbrada a recibir agua para consumo doméstico a través de sistemas de gran escala, con fuentes de abastecimiento lejanas, de manera que no se crea ninguna relación con el territorio que provee el recurso. Salvo pequeños comités de usuarios, desconocidos por la mayoría, tampoco existe relación con la empresa que suministra el recurso, solo se establece un vínculo a través del pago mensual de la factura.

No obstante, Muchos asentamientos informales resolvieron por si mismos el suministro de agua potable creando acueductos que han subsistidos por años. En otras ocasiones, ha sido el estado quien ha promovido este tipo de organización, aportando capital para que la comunidad invierta y cree su propio acueducto, A pesar de que estas organizaciones comunitarias no son visibles, su importancia en la prestación de este servicio es significativa en términos cualitativos y cuantitativos. La superintendencia de servicios públicos domiciliarios, (2006), calcula que en el país existen unos 12000 acueductos comunitarios, determinantes en la calidad de vida de muchos sectores donde no existe otra opción para acceder al servicio. Capitales como Pereira, Ibagué o

Villavicencio, cuentan con una cobertura alrededor del 20% de la población en manos de acueductos comunitarios (correa, 2006).

En lo que respecta a la construcción de la infraestructura para abastecerse del recurso hídrico, la comunidad a lo largo de los años ha aportado mano de obra y materiales; y ha gestionado recursos destinados a construir los sistemas de las obras de captación, tratamiento y abastecimiento, así como también lo ha hecho para su mantenimiento. Se debe reconocer, entonces, que estos acueductos son modelos de gestión comunitaria y son ejemplo de gestión que denotan el esfuerzo comunitario para su sostenimiento en el tiempo. En la tabla 3, se muestran algunos indicadores de servicio que se presentan en estos acueductos.

Tabla 3.

Indicadores de la prestación del servicio en los acueductos comunitarios

Organizaciones que emiten factura.	1.70%
Organizaciones que presentan estudio de costos y tarifas.	1.00%
Organizaciones que cuentan con micromedición.	1.70%
Recibieron capacitación en fontanería.	1.70%
Recibieron capacitación en administración.	1.70%
Contaban con comité de desarrollo y control social.	1.70%

Nota. Fuente: (IBAL, 2011)

Los índices anteriores muestran que debe ser una prioridad de los gobiernos fortalecer a las organizaciones comunitarias para que presten un servicio eficiente y oportuno a la población de las zonas periféricas del municipio.

Adicionalmente, los aportes en tarifas que hacen mensualmente los usuarios no alcanzan para cubrir el mantenimiento, ni para continuar la construcción de infraestructura requerida para

el mejoramiento de la operación. En la tabla 4, Se presentan los resultados del IRCA para los acueductos comunitarios de Ibagué en el año 2015.

Tabla 4.

IRCA medidos por los prestadores de suministro de agua en el municipio de Ibagué para el año 2015

Prestador de sistema de suministro de agua para consumo humano del municipio de Ibagué	Comuna	IRCA	Riesgo
Asociación acueducto barrio Ambala. "Acuambala"	6	26.1%	MEDIO
Acueducto del batallón Francisco Antonio Zea	13	23.6%	MEDIO
Acueducto del barrio bellavista	12	83.21%	INVIABLE
Acueducto comunitario de boquerón	13	8.87%	BAJO
Asociación de usuarios del acueducto de calambeo	3	18.97%	MEDIO
Acueducto del barrio calucaima	7	80.5%	INVIABLE
Acueducto comunitario del barrio Chapetón	1	73.11%	ALTO
Asociación acueducto barrio los ciruelos	6	78.85%	ALTO
Junta del barrio clarita botero Acuaclarita	2	10.03%	BAJO
Asociación acueducto del barrio colinas I	13	28.52%	MEDIO
Asociación acueducto del barrio colinas II	13	4.91%	SIN RIESGO
Asociación acueducto Acuagranate	13	87.30%	INVIABLE
Acueducto del barrio Dario Echandia	13	61.87%	ALTO

Asociación acueducto Delicias	6	84.96%	INVIABLE
Junta de acueducto del barrio la Florida	13	4.55%	SIN RIESGO
Junta del acueducto local barrio la gaviota	6	4.84%	SIN RIESGO
Acueducto del barrio granada	13	89.93%	INVIABLE
IBAL		0.18%	SIN RIESGO
Acueducto del barrio la isla	13	89.9%	INVIABLE
Junta acueducto del barrio Jazmín parte baja	13	88.26%	INVIABLE
Asociación acueducto Jazmín parte alta	13	71.43%	ALTO
Asociación acueducto urbano barrio la paz	2	24.19%	MEDIO
Asociación acueducto barrio la unión	13	80.39%	INVIABLE
Acueducto barrio Miramar	13	71.95%	ALTO
Asociación acueducto del barrio Modelia	7	27.19%	MEDIO
Acueducto del barrio Ricaurte	12	83.21%	INVIABLE
Asociación acueducto San Antonio	6	79.76%	ALTO
Acueducto del barrio San Isidro	13	46.72%	MEDIO
Asociación acueducto Santa Cruz	1	52.50%	MEDIO
Acueducto del barrio Mirador el triunfo	6	76.55%	ALTO
Acueducto del barrio los Tuneles	13	4.49%	SIN RIESGO
Acueducto comunitario del barrio La Vega	1	81.74%	INVIABLE

Nota. Fuente: (Secretaría de Salud Ibagué, 2015)

5.1.3. *Potabilización del agua*

Se debe entender la importancia del recurso hídrico en todos los ámbitos del ser humano Cárdenas (2017) afirma que el agua apta para el consumo humano es un tema muy importante en la ingeniería, el suministro, y su tratamiento. El agua cruda no siempre es la misma ya que provienen de distintas fuentes y necesita distintos tratamientos para garantizar las características óptimas tanto químicas, físicas y biológicas para su consumo. El proceso de saneamiento del agua debe realizarse con el fin de eliminar organismos patógenos. y así evitar el contagio de enfermedades que pueda transportar; En el momento de hacer la captación del agua debe identificarse su calidad, sus características físico-químicas y microbiológicas, con el fin de seleccionar los procesos de potabilización más adecuados. En la tabla 5 se presenta la clasificación de los niveles de calidad de las fuentes de abastecimiento en función de los parámetros físico-químicos y microbiológicos y el grado de tratamiento asociado

Tabla 5.

Calidad del agua de la fuente

PARAMETROS	ANÁLISIS SEGUN		NIVEL DE CALIDAD DE ACUERDO AL GRADO DE POLUCION			
	NORMA TECNICA NTC	STANDARD METHOD ASTM	1. FUENTE ACEPTABLE	2. FUENTE REGULAR	3. FUENTE DEFICIENTE	4. FUENTE MUY DEFICIENTE
DBO 5 DIAS PROMEDIO MENSUAL mg/L	3630		<1.5	1.5 – 2.5	2.5 - 4	>4
MAXIMO DIARIO mg/L			1 – 3	3 - 4	4 - 6	>6

COLIFORMES TOTALES (NMP/100mL)						
PROMEDIO MENSUAL		D - 3870	0 – 50	50 - 500	500 - 5000	>5000
OXIGENO DISUELTO mg/L	4705	D - 888	> = 4	> = 4	> = 4	<4
PH PROMEDIO	3651	D 1293	6 – 8.5	5 – 9	3.8 - 10.5	
TURBIEDAD (UNT)	4707	D 1889	< 2	2 - 40	40 – 150	>=150
COLOR VERDADERO (UPC)			< 10	10 – 20	20 – 40	>=40
GUSTO Y OLOR		D1292	Inofensivo	Inofensivo	Inofensivo	Inaceptable
CLORUROS (mg/L-Cl)		D 512	< 50	50 – 150	150 – 200	300
FLORUROS (mg/L-F)		D1179	< 1.2	< 1.2	<1.2	>1.7
GRADO DE TRATAMIENTO						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Si hay veces (ver requisitos para uso FLDE literal C7433)	SI
Necesita un tratamiento específico			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados			1 Desinfección + estabilización	2 Filtración lenta o filtración directa	3 Pretratamiento+ coagulación + sedimentación + filtración rápida o filtración lenta diversas etapas	4-3 Tratamientos específicos

Nota. Fuente: RAS – 2000. Título B - Sistemas de Acueductos

Para determinar la calidad del agua es determinante conocer las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas, así como realizar una tratabilidad para seleccionar los procesos de potabilización, y realizar un procedimiento de muestreo para el control de calidad que debe cumplir la fuente para el abastecimiento que se requiere, la protección que debe suministrarse a este recurso.

5.1.4. *Características del agua potable*

A continuación, se hace referencia a la terminología utilizada según Cárdenas (2017), la palabra característica es un término usado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua para consumo humano. Estas pueden ser físicas, químicas y microbiológicas. A continuación, se enumeran las más importantes:

- **Turbiedad:** La turbiedad ocurre cuando el agua pierde su transparencia. Esta pérdida se debe a la presencia de sólidos en suspensión, es decir que la cantidad de sólidos será directamente proporcional a la turbidez en el agua. La unidad nefelométrica de turbidez o NTU por su sigla en inglés es la unidad de medida de turbidez para el agua y demás líquidos. Para determinar los NTU del agua se usa el turbidímetro o nefelómetro.

- **Temperatura:** La temperatura es uno de los aspectos más importantes, ya que de esta depende la absorción de oxígeno, los tiempos de retención en los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración. De la temperatura depende la velocidad de las reacciones, los tipos de organismos existentes, los gases disueltos y la facilidad de desinfección.

- **Color:** El color del agua puede presentarse junto a la turbiedad o independiente de esta. Esta característica se produce por la presencia de materia orgánica, metales como el hierro o el manganeso, descomposición de materia entre otras. El color puede ser aparente y real.

- **Olor y Sabor:** El olor y el sabor del agua son dos de los factores de mayor rechazo por parte del consumidor, existen diversos orígenes para los diferentes olores y sabores que toma el agua. El agua cruda tiene olor y sabor más intenso cuando hay mayor presencia de compuestos orgánicos producto de microorganismos y algas.

- **Potencial de Hidrógeno pH:** El pH mide la concentración de iones de hidrógeno en el agua, determinando la acidez o alcalinidad de la misma. Su valor en corrientes superficiales debe estar en un rango entre 5 a 9. Tratar agua que no esté en el rango adecuado hace más difícil los procesos de coagulación y desinfección dadas las reacciones químicas generadas con el sulfato de alúmina o el cloro. Es necesario neutralizar el pH para hacer más fácil y económico el tratamiento de agua; para tal fin.

- **Dureza:** Se asocia a la presencia de metales en el agua. En aguas continentales la disolución y lavado de minerales componentes de rocas como calcio y magnesio producen dureza en el agua. La dureza genera problemas de incrustaciones en tuberías.

- **Microbiológicos:** Existen diversos organismos presentes en el agua, sin embargo, por la actividad humana, se depositan virus y bacterias perjudiciales, estas bacterias son los coliformes las cuales están presentes en la materia fecal. La calidad bacteriológica se puede expresar en UFC por su sigla, Unidades Formadoras de Colonias.

5.1.5. *Sistema de abastecimiento de agua potable*

Conjunto de obras que permiten que una comunidad pueda obtener el agua para fines de consumo doméstico, servicios públicos, industrial y otros. El agua suministrada debe ser en cantidades suficientes y de la mejor calidad, desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico (Concha y Guillén, 2014). Según Ramírez (2016) estos pueden ser convencionales o no convencionales.

Sistemas de abastecimiento de agua potable convencionales y no convencionales, los primeros son aquellos que toman el agua cruda de corrientes superficiales y/o pozos subterráneos, posteriormente es llevada a un proceso de tratamiento donde se potabiliza, se almacena y se distribuye mediante un sistema de red de tuberías a cada uno de los hogares. Los segundos sistemas no tienen una red de distribución, son sistemas individuales, el agua es llevada a la población por medio de transporte, tanqueros y/o por medio de barriles arreados por mular. La desinfección la realizan en los tanques de los domicilios. Los componentes básicos del sistema de abastecimiento según Jiménez (2006) son:

- Captación: Parte inicial del sistema hidráulico, consiste en las obras donde se capta el agua para poder abastecer a la población, Jiménez (2006).

- Conducción: consiste en todas las estructuras civiles y electromecánicas, cuya finalidad es la de llevar el agua desde la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regularización, una planta de tratamiento de potabilización o el sitio de consumo, Jiménez (2006).

- **Tratamiento:** Son todos los procesos físicos, mecánicos y químicos que hacen para que el agua adquiera las características necesarias para que sea apta para su consumo. Los tres objetivos principales de una planta potabilizadora son lograr que el agua sea: Segura para consumo humano; estéticamente aceptable y económica, Jiménez (2006).

- **Red de distribución:** Sistema de tuberías encargado de entregar el agua a los usuarios en su domicilio, siendo un servicio constante durante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad requerida para todos, y cada uno de los tipos de zonas, Jiménez (2006).

5.1.6. *Planta de tratamiento de agua potable*

El agua en el momento en que se capta de las fuentes superficiales o subterráneas, presenta unas características físicas, químicas y microbiológicas, que afectan el bienestar y la salud humana, por tanto se hace necesario someter al agua a una serie de operaciones o procesos unitarios, con el fin de purificarla o potabilizarla para hacerla más segura para el consumo de los seres humanos de acuerdo con las normas de calidad del agua potable establecidas en el Decreto 1575 del 2007 (Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano) y la Resolución 2115 de 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. Las operaciones y procesos se presentan a continuación:

- **Coagulación:** También conocida como mezcla rápida, es un proceso empleado en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el

propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida.

- **Floculación:** Cuando se habla del término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas, que forman una partícula de mayor tamaño llamada floc. La floculación está influenciada por fuerzas químicas y físicas como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de electrolitos, El floculador sencillamente es un tanque con algún medio, ya sea hidráulico o mecánico, que efectúe una mezcla suave y lenta, en un tiempo de retención prolongado, los floculadores se clasifican en dos tipos mecánicos e hidráulicos, los mecánicos realizan la mezcla utilizando rotores de paletas tanto horizontales como verticales y los hidráulicos usan el flujo libre del agua, que produce una ligera turbulencia que genera la mezcla.

- **Sedimentación:** La sedimentación es la operación en la que se remueven las partículas, previamente coaguladas y floculadas, el objetivo del sedimentador es separar las partículas del agua por medio de la fuerza de gravedad la sedimentación se puede dar de distintas formas, según la naturaleza de los sólidos. En los tipos de sólidos se encuentran las partículas discretas, estas no cambian su tamaño, forma o peso cuando se están sedimentando; las partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad

y el volumen cambia cuando se produce el choque entre estas a medida que se están sedimentando.

Existen distintos tipos de sedimentación: La sedimentación tipo 1 se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas de características floculentas mínimas en suspensión diluida, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados inertes; La sedimentación tipo 2, se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas.

- **Filtración:** Es donde se remueve el material suspendido, compuesto de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo, son removibles mediante filtración, El papel más importante es el de la adsorción, distinta de absorción, la adsorción es la capacidad de un material de adherir partículas en sus diferentes caras, el medio filtrante y las partículas presentan fuerzas de atracción, de esta forma se retiene el floculo que se desea remover del agua.

- **Desinfección:** El proceso de desinfección también se conoce como cloración, consiste en la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. La destrucción y/o desactivación de los microorganismos supone el final de la reproducción y crecimiento de estos microorganismos. Si estos microorganismos no son eliminados del agua, no es potable y

es susceptible de causar enfermedades, La desinfección del agua se logra utilizando desinfectantes químicos y/o físicos. En la desinfección no solo se mata al microorganismo, sino además se debe tener en cuenta un efecto residual, como medida preventiva para que los microorganismos no reaparezcan y contaminen de nuevo el agua potable.

Los compuestos químicos utilizados en la desinfección son:

- Cloro Cl_2
- Dióxido de Cloro ClO_2
- Hipoclorito OCl^-
- Ozono O_3
- Halógenos: Bromo Br_2 Yodo I
- Cloruro de Bromo BrCl
- Metales: Cobre Cu^{2+} , Plata Ag^+
- Permanganato potásico KMnO_4
- Fenoles
- Alcoholes
- Jabones y detergentes
- Sales de amonio
- Peróxido de hidrogeno
- Distintos ácidos y bases

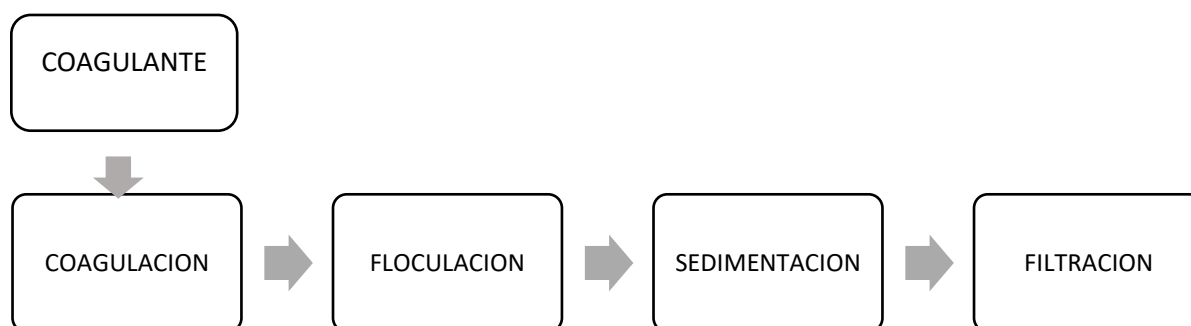
5.1.7. Tipos de plantas de tratamiento de agua potable

Previamente se identificó que cada fuente de agua, contiene unas características físicas, químicas y biológicas diferentes. Por tanto, deben determinarse las características del agua, con el fin de determinar qué tipo de planta es la más conveniente para realizar la purificación.

– **Planta Convencional:** Este tipo de plantas son utilizadas cuando el agua presenta un contenido alto de turbiedad, de tal forma que se puede apreciar en su coloración. Debido a esto, se somete a la coagulación, floculación y sedimentación para la remoción de la turbiedad, y a la filtración para remover las partículas que alcancen a pasar del sedimentador además de contener microorganismos patógenos, que afecten la salud.

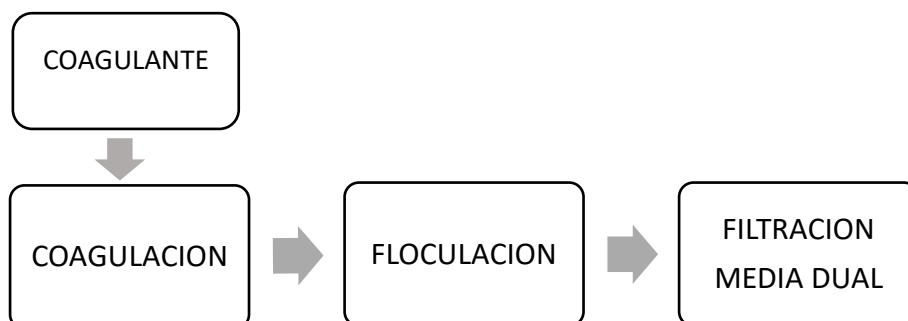
Figura 1.

Esquema de una planta convencional

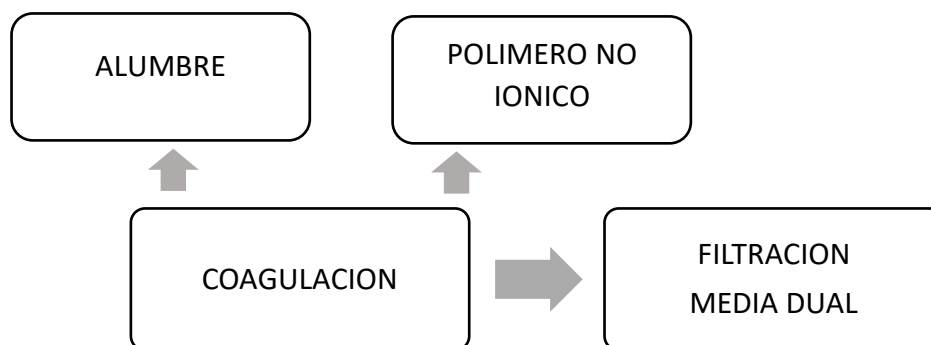


Nota. Fuente: (Arboleda Valencia, 2000)

- **Planta de filtración rápida:** Este tipo de plantas son utilizadas cuando el agua presenta un porcentaje moderado de turbiedad, de tal forma que se puede apreciar en su coloración. Normalmente cuando la fuente de agua es una presa o embalse se le realiza la filtración directa, ya que la turbiedad que presenta es moderada, pues se considera que un cuerpo de agua tan extenso sedimenta gran cantidad de partículas antes de someterla al tratamiento. La planta cuenta con las siguientes operaciones y procesos unitarios: Coagulación, Floculación y Filtración, las cuales se pueden apreciar en la figura 2.

Figura 2*Esquema de una Planta de Filtración Rápida***Nota.** Fuente: (Arboleda Valencia, 2000)

- **Planta de filtración en línea:** son utilizadas cuando el agua presenta un porcentaje bajo de turbiedad, y su coloración se acerca a cristalina. Cuenta con las siguientes operaciones y procesos unitarios, las cuales se pueden apreciar en la figura 3.

Figura 3.*Esquema de una planta de filtración rápida***Nota.** Fuente: (Arboleda Valencia, 2000)

5.2 Marco Legal

En la tabla 6, se encuentran todos los aspectos de ordenamiento legal ambiental y sanitario en relación con el uso, aprovechamiento y afectación del recurso agua en nuestro país.

Tabla 6.

Normatividad legal ambiental concerniente al recurso agua

Nombre	Descripción
Decreto ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Ley 09 de 1979	Código sanitario
Decreto 2105 de 1983	Potabilización del agua
Decreto 1594 de 1984	Establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico
Constitución política	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Decreto 475 marzo de 1998	Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable
RAS 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Título B
Decreto 1575 del 2007	Decreto del Ministerio de Protección Social por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano
Resolución 2115 del 2007	Por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Resolución 811 del 2008	Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución

Nota. Fuente: (Autor 2020)

5.3 Marco Institucional

“ACUAMIRAMAR” es una Asociación de la JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL DEL BARRIO MIRAMAR, de economía solidaria, sin ánimo de lucro, de derecho privado, prestadora de los servicios públicos domiciliarios enmarcados en la Ley 142 de 1994, dotada de personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio. Está Constituida por los Suscriptores del Sistema de Acueducto Comunitario “ACUAMIRAMAR”, y que a la vez son Afiliados Activos de la Junta de Acción Comunal del Barrio Miramar Comuna trece, de la Ciudad de Ibagué, departamento del Tolima, el objetivo social principal de “ACUAMIRAMAR” es el de la prestación de los servicios públicos domiciliarios enmarcados en la Ley 142 de 1994, y demás normas complementarias que la regule, modifique, adicione o derogue, y además de manera general los siguientes objetivos:

1. Promover la defensa y protección de los recursos naturales que tengan relación directa con los servicios prestados.
2. En general, cumplir las demás funciones o actividades que, por razón de su objeto, le señalan la Ley, los Acuerdos y Decretos y las decisiones de la Junta Directiva.

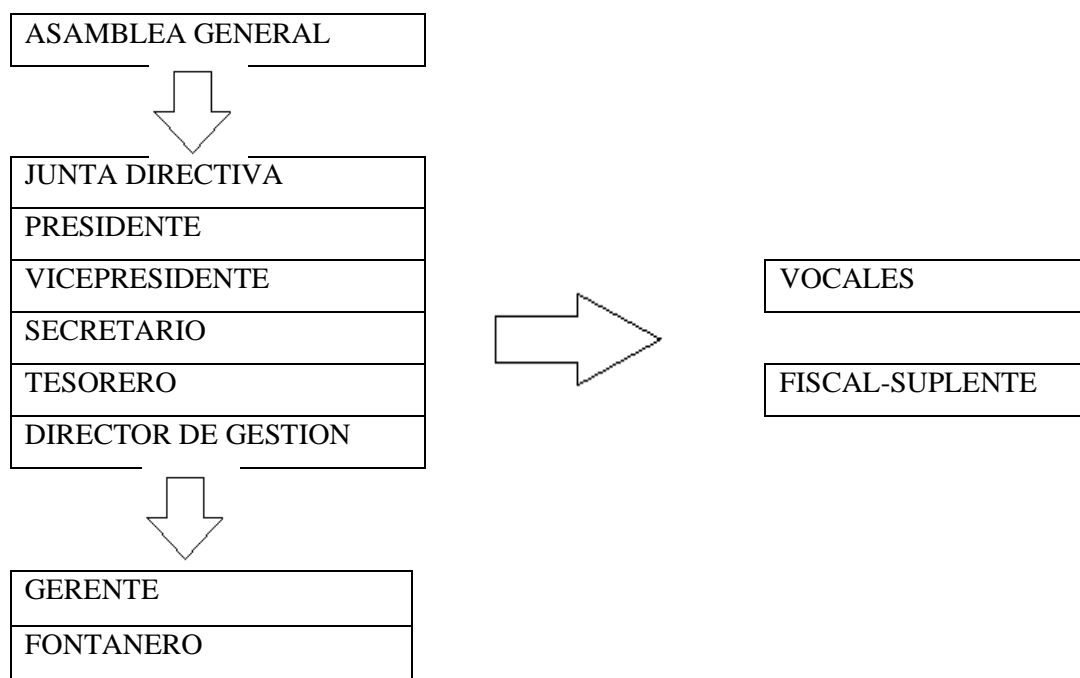
- Principios: En términos generales, los servicios públicos domiciliarios, en virtud de no ser mercancías suntuarias que se deben vender y comprar en mercado libre, deben ser regulados por un régimen especial, entre el derecho público y el privado, con principios de calidad, continuidad, cobertura, control y vigilancia.

- Misión: El acueducto comunitario MIRAMAR es una empresa prestadora del servicio público domiciliario de acueducto, comprometida con la gestión integral del agua como elemento de vida y bienestar comunitario ofreciendo a la comunidad el servicio de suministro del agua de forma oportuna, con eficiencia, continuidad y cobertura; buscando la mejora continua y la satisfacción del usuario, respetando el compromiso con el desarrollo sostenible. Promoviendo los procesos organizativos garantizando la propiedad comunitaria.

- **Visión:** Como organización comunitaria constituirse como la empresa líder en la prestación del servicio público domiciliario de acueducto, y los que posteriormente se implementen garantizando a los usuarios, disponibilidad, Accesibilidad y Calidad dando cumplimiento de los estándares de calidad, eficiencia y economía, contribuyendo al desarrollo humano y a su calidad de vida, creando conciencia sobre la importancia del respeto, la protección, la preservación y uso racional de los recursos naturales.
- **Organigrama:** El acueducto comunitario ACUAMIRAMAR, cuenta con una junta conformada por miembros de la comunidad, los cuales, en reuniones de apertura, establecieron la estructura organizacional para la empresa, la cual se presenta en la figura 4.

Figura 4.

Organigrama general de Acuamiramar



Nota. Fuente: (Acuamiramar, 2020)

Metodología

El desarrollo del presente proyecto se efectuó en dos fases; en la primera se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales de las fuentes de abastecimiento y de las instalaciones del acueducto; posteriormente en la fase dos, se diseñó la planta de tratamiento de agua potable para Acuamiramar; esto con el fin de que la empresa cumpla con las condiciones técnicas exigidas en la resolución 2115 de 2007 y en la resolución 0330 de 2017. En la figura 5, se presenta la metodología utilizada en el proyecto aplicado

Figura 5.

Metodología utilizada para la propuesta de mejoramiento



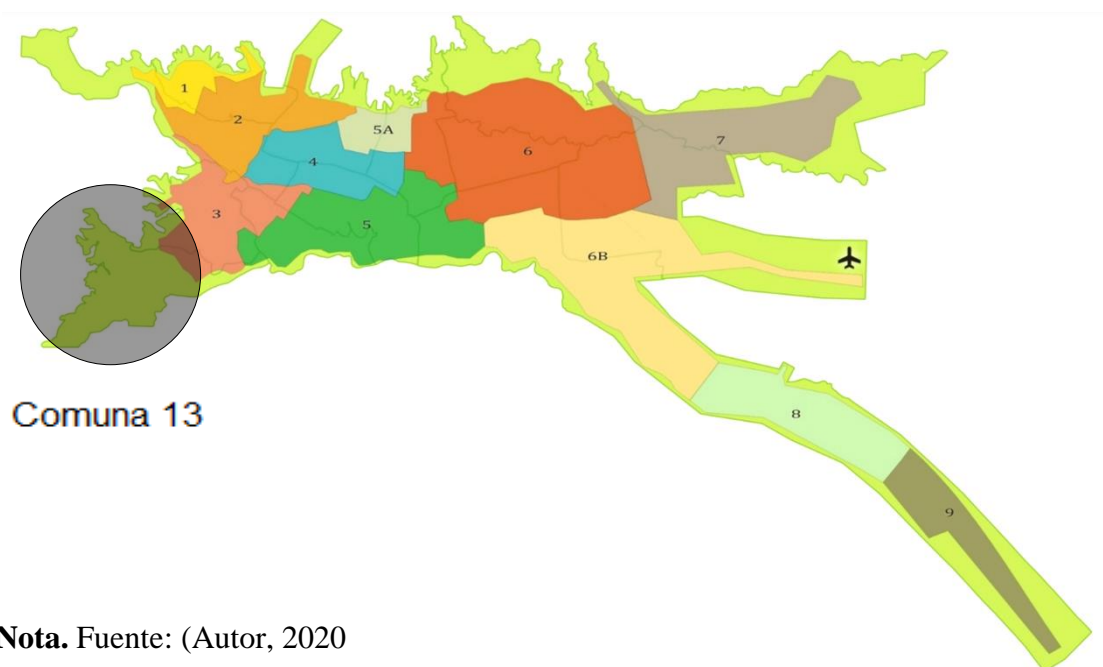
Nota. Fuente: (Autor 2020)

6.1 Área de Estudio

Ibagué es la capital del departamento del Tolima, ubicado en el centro del país. Cuenta con una población de alrededor de 574 000 habitantes. Según el plan de desarrollo 2016-2019 de la alcaldía municipal; el municipio tiene un área aproximada de 1.439 Km², de los cuales el 2,41%, pertenece al área urbana y 97,59% al área rural. El área urbana está dividida en 13 comunas y 445 barrios, el área rural está integrada por 19 centros poblados en 17 corregimientos y 140 veredas (Alcaldía Municipal de Ibagué, 2016). El barrio Miramar se encuentra ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué, (Figura 6), y según la proyección por comuna del CIMPP cuenta a 2019 con una población de 16.086 habitantes y una densidad poblacional de 5563,53 (hab/Km²). (Centro de Información Municipal para la Planeación Participativa - CIMPP, 2016).

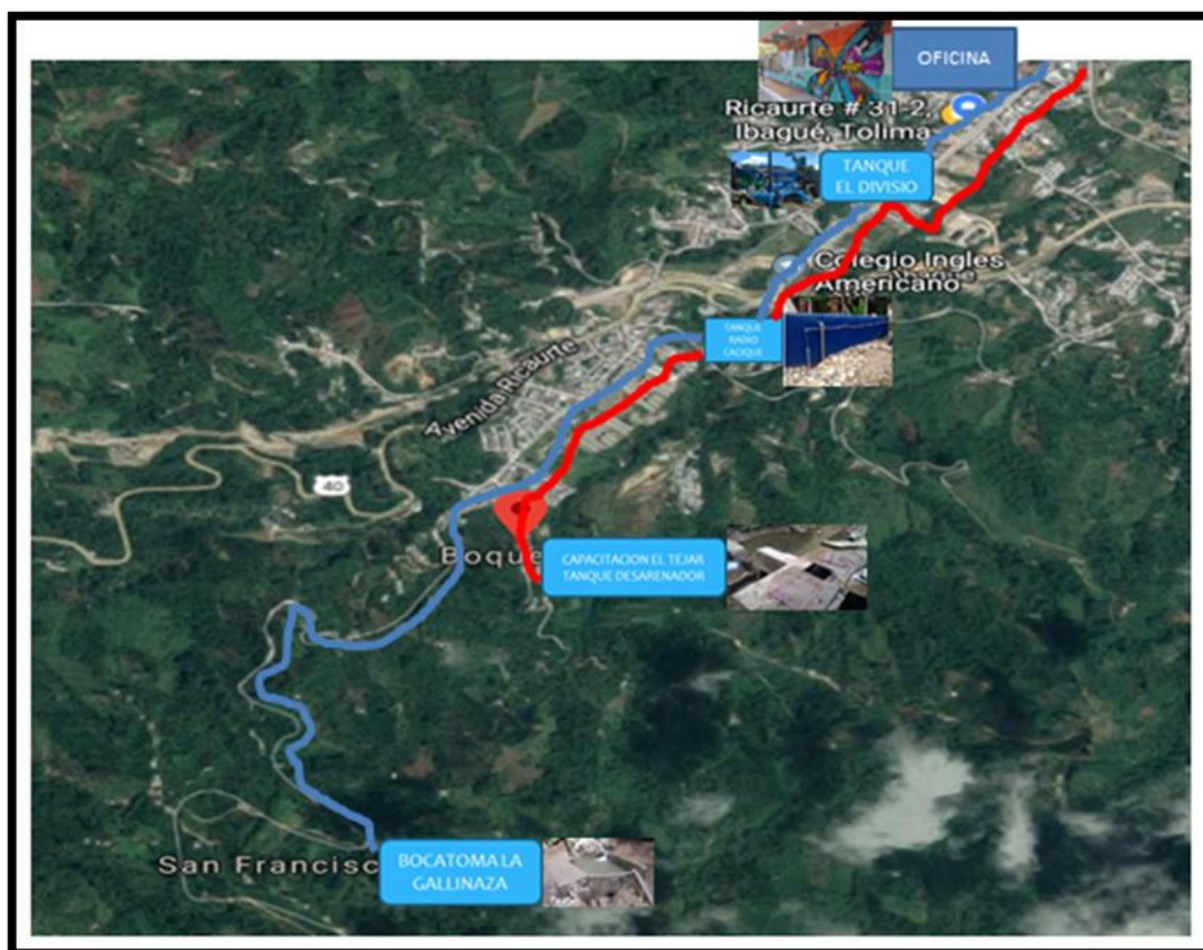
Figura 6.

Ubicación de la comuna 13 en la ciudad de Ibagué



Gracias a un catastro de usuarios realizado por la entidad y alumnos de la universidad de Ibagué en el año 2019, el acueducto Acuamiramar en la actualidad cuenta con una totalidad de 280 suscriptores, y pese a esto, no cuenta con un índice aceptable de calidad, con los reportes de los últimos años, en 2011 registraba un IRCA de 49,2, en 2015 IRCA de 71,95, en 2016 IRCA de 71,9 y 2018 IRCA de 75,8, se evidencia que el agua suministrada en el acueducto no es apta para el consumo humano. Esto afecta directamente la calidad de vida de los residentes del sector, y por tanto el desarrollo del territorio.

El acueducto del barrio Miramar es abastecido por dos fuentes hídricas: El Tejar y La Gallinaza. La bocatoma de la quebrada Tejar se encuentra ubicada en la vereda el Tejar y dota al acueducto con un caudal de aproximadamente 2 L/s. La bocatoma de la quebrada Gallinaza se encuentra ubicada en la vereda San Francisco; ésta quebrada aporta un caudal de 8L/s, de los cuales 6L/s se conducen al acueducto de Miramar, y 2L/s a la vereda. La estructura del acueducto comunitario Acuamiramar, se encuentra en la figura 7.

Figura 7.*Esquema operacional Acueducto Acuamiramar*

Nota. Fuente: (Acuamiramar, 2020)

6.2 Valoración Técnico Operativa de las Condiciones Actuales del Acueducto Acuamiramar.

Se realizó una evaluación cualitativa al acueducto comunitario Acuamiramar, mediante visitas técnicas con su registro fotográfico a las bocatomas y tanques de almacenamiento del sistema de abastecimiento. En estas visitas se identificaron las condiciones actuales de las fuentes hídricas y de las estructuras civiles; se recopiló información básica para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable como lo es: ubicación geográfica, cobertura del acueducto,

número de usuarios, actividad económica, caudal captado y análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las fuentes hídricas.

6.3 Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

6.3.1 *Tipo de planta de tratamiento de agua potable*

Para escoger el tipo de planta de tratamiento de agua potable a diseñar en Acuamiramar, se tuvo en cuenta las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas anteriormente a las fuentes hídricas que abastecen dicho acueducto. Con base en los resultados de estos parámetros se estableció el nivel de contaminación del agua de acuerdo con el criterio del RAS 2000 en el título C. En este sentido, de acuerdo al nivel de contaminación, se determinó el tratamiento que se requiere, es decir, los tratamientos convencionales y específicos que se deben emplear para obtener agua apta para el consumo humano.

6.3.2 *Estimación población futura*

Dentro de la formulación de un proyecto de abastecimiento de agua potable es fundamental calcular la población futura con base en la información censal que exista. Para el caso de Acuamiramar, existe un estudio realizado por estudiantes de la Universidad de Ibagué en el año 2019, donde se determinó el catastro de redes y de usuarios. Según dicha investigación, el acueducto en la actualidad cuenta con 280 suscriptores, para un total de 1204 habitantes suponiendo que el número de personas por hogar para el municipio de Ibagué, es de 4.3 hab/vivienda, de acuerdo a lo reportado en las encuestas realizadas por el DANE.

Para el diseño de la planta, se estimó el número de usuarios realizando una proyección para los años de vida útil de la planta, Según lo establecido en el artículo 40 – período de diseño- de la resolución 0330 del 8 de junio de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como período de diseño 25 años. El horizonte de diseño para el proyecto será el año 2045 iniciando en el año 2020. La proyección se realizó mediante una regresión polinomial utilizando datos de crecimiento poblacional presentados años anteriores por Acumiramar.

6.3.3 *Calculo de las dotaciones*

A continuación, se describe el cálculo de las dotaciones o la cantidad de agua que requiere la población del acueducto Miramar para satisfacer sus necesidades en un tiempo determinado que por lo general es de un año.

- Dotación neta residencial: como no se cuenta con información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores por parte de la entidad prestadora del servicio público domiciliario de acueducto y/o alcantarillado y que tampoco existe información reportada al respecto en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), se adopta un valor de dotación de acuerdo a lo establecido en el artículo 43, dotación neta máxima de la resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). (tabla 7), el cual requiere como información de entrada la altura sobre el nivel del mar del municipio de Ibagué.

Tabla 7.

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

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
> 2000 msnm	120
1000 – 2000 msnm	130
>1000 msnm	140

Nota. Fuente: (Ras 0330 de 2017)

- Análisis y determinación del nivel de pérdidas: de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, El indicador normalmente utilizado para revisar el nivel de pérdidas es el índice de agua no contabilizada (IANC), que relaciona el volumen total de agua que se suministra a las redes con el volumen total de agua que se factura a los usuarios de éstas en un periodo determinado, expresado en porcentaje.

- Dotación bruta: La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto se calcula conforme a la ecuación 1:

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

Dbruta: Dotación bruta, dneta: Dotación neta, % p: Pérdidas técnicas máximas admisibles para diseño.

6.3.4 Caudales de diseño

La cantidad de agua demandada por los usuarios del sistema no es uniforme en el tiempo debido a las características sociales, culturales y económicas de los habitantes. Por lo tanto, el acueducto Acuamiramar se encuentra sometido a diferentes niveles de consumos. Estas son variaciones dinámicas que fluctúan a lo largo del día y del año y se describen a continuación:

- Caudal medio diario (Qmd): corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año. Se calcula por medio de la ecuación 2

$$Qmd = (P * dbruta) / 86400 \quad (2)$$

Qmd: Caudal medio diario, P: población futura, Dbruta: dotación bruta

- Caudal máximo diario (QMD): corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. Se calcula por medio de la ecuación 3

$$QMD = Qmd * K1 \quad (3)$$

QMD: caudal máximo diario, Qmd: caudal medio diario, K1: coeficiente de consumo máximo diario

- Caudal máximo horario (QMH): corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula por medio de la ecuación 4.

$$QMH = QMD * K2 \quad (4)$$

QMH: Caudal máximo horario, QMD: Caudal máximo diario, K2: Coeficiente de consumo máximo horario.

6.3.5 *Unidades de tratamiento*

Con base en la caracterización fisicoquímica de las corrientes superficiales que abastecen el acueducto comunitario Acuamiramar, se determinó las unidades a diseñar en la planta de

tratamiento de agua potable, las cuales son: cámara de aquietamiento, mezcla rápida (Vertedero triangular de 90°), floculación, sedimentador, filtración y desinfección.

- Cámara de aquietamiento: el agua cruda tomada de la quebrada el tejtar y la gallinaza, llegan con mucha energía de manera que puede entorpecer la lectura del caudal de llegada si se usan vertederos como aforadores. Para disipar esta energía que trae el agua en la aducción se diseñó la cámara de aquietamiento. las fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de aquietamiento se presentan en la tabla 8.

Tabla 8.

Fórmulas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de aquietamiento

Parámetro	Fórmula	Significado
Velocidad de ascenso (m/s)	$V = \frac{Q}{L^2}$	V: velocidad (m/s) L: longitud (m)
Tiempo de retención (seg)	$Tr = \frac{L * L * H}{Q}$	L: longitud (m) H: altura (m) Q: caudal (m ³ /seg)
Área de la válvula (m ²)	$A = \frac{\pi}{4} * d^2$	d: diámetro de la válvula (m)
Carga sobre la válvula (m)	$h = H + \frac{d}{2}$	H: altura (m) d: diámetro de la válvula (m)
Desagüe cámara de aquietamiento (m/s)	$Q = 0.60 * A * (2 * g * h)^{0,5}$	Q: caudal de diseño (m ³ /seg) h: carga sobre la válvula (m) A: área de la válvula (m ²) g: gravedad

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Canal de transporte de agua cruda y Vertedero triangular: Se diseñó un canal para el transporte de agua cruda hasta el vertedero triangular, estructura que sirve para medir las variables de tratamiento como son el caudal y velocidad del fluido, además sirve para la aplicación de las sustancias químicas. las fórmulas utilizadas se presentan en la tabla 9.

Tabla 9.

Fórmulas para calcular los parámetros de diseño del vertedero triangular.

Parámetro	Fórmula	Significado
Diseño del vertedero triangular (m ³ /s)	$Q = \frac{8}{15} * (19.6)^2 * 1.9 * H^{\frac{5}{2}} * \tan(\phi/2)$	Q: caudal de diseño H: carga sobre el vertedero Ø: ángulo del vértice del vertedero
Caudal unitario del vertedero	$q = \frac{Q}{B}$	q: caudal unitario B: ancho del vertedero Q: caudal de diseño
Altura crítica	$hc = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$	hc: altura crítica q: caudal unitario g: gravedad
Altura del agua sección 1	$h1 = \frac{\sqrt{2} * hc}{1.06 + \sqrt{\frac{0.5}{hc} + 1.5}}$	h1: altura del agua sección 1 hc: altura crítica
Velocidad en la sección 1	$v1 = \frac{q}{h1}$	v1: velocidad en la sección 1 q: caudal unitario h1: altura del agua sección 1
Numero de Froude	$F1 = \frac{v1}{\sqrt{g * h1}}$	F1: Froude sección 1 v1: velocidad en la sección 1 g: gravedad
Altura del agua en la sección 2	$h2 = \frac{h1}{2} * (\sqrt{1 + 8 * F1^2})$	h1: altura del agua sección 1 F1: Froude sección 1 h2: altura sección 2
Velocidad en la sección 2	$v2 = \frac{q}{h2}$	v2: velocidad en la sección 2 q: caudal unitario h2: altura sección 2
Longitud del resalto	$Lj = 6 * (h2 - h1)$	Lj: longitud del resalto h2: altura sección 2 h1: altura sección 1
Distancia vertedero a la sección	$Lm = 4.3 * 0.5 * (\frac{hc}{0.5})^{0.9}$	Lm: distancia vertedero a la sección hc: altura crítica
Perdida de carga en el resalto	$hp = \frac{(h2 - h1)^3}{4 * h1 * h2}$	Hp: pérdida de carga en el resalto h2: altura sección 2 h1: altura sección 1
Velocidad media	$vm = \frac{v1 + v2}{2}$	vm: velocidad media v1: velocidad en la sección 1 v2: velocidad en la sección 2
Tiempo de mezcla	$t = \frac{Lm}{Vm}$	T: tiempo de mezcla Lm: distancia vertedero Vm: velocidad media
Gradiente velocidad	$G = \sqrt{\frac{9800 * hp}{1.139 * 10^{-3} * t}}$	G: gradiente de velocidad hp: pérdida de carga T: tiempo de mezcla

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Coagulación: se utilizará sulfato de aluminio tipo B, como coagulante en la planta de tratamiento de agua potable. las fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de la coagulación se presentan en la tabla 10.

Tabla 10.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de la coagulación

Parámetro	Fórmula	Significado
Caudal unitario (m ³ /s)	$q = (D * Q)/(P * C)$	Q: caudal de diseño de la planta (L/s) D: dosis promedio de coagulante (mg/L) q: caudal promedio de solución por aplicar (L/s) P: peso del reactivo por dosificar (m ³ /s) o (Kg/d) C: concentración solución (mg/l)
Volumen solución del tanque (m ³)	$v \text{ por dia} = q * t$	v: volumen del tanque (m ³) q: caudal promedio de solución por aplicar (m ³ /s) t: tiempo (seg)
Consumo promedio diario coagulante (mg)	$P = Q * D$	P: peso del reactivo por dosificar (mg) Q: caudal de diseño de la planta (L/s) D: dosis promedio coagulante (mg/L)

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Cámara de repartición: El sistema descarga o entrega el agua cruda, después del vertedero triangular, aguas abajo a un canal repartidor para que con una buena dispersión del coagulante primario se realice una buena floculación. las fórmulas utilizadas para calcular los parámetros se presentan en la tabla 11.

Tabla 11.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de repartición

Parámetro	Fórmula	Significado
Altura de la cámara	$Q = 1.84 * L * H^{3/2}$	Q: caudal de diseño de la planta L: longitud de la cámara H: altura de la cámara
Chequeo velocidad del canal	$A = Q / v$	Q: caudal de diseño de la planta V: velocidad en el canal
chequeo caudal de transporte	$Q = \left(\frac{1}{n}\right) * (RH)^{2/3} * (p)^{0.5} * B * H$	Q = Caudal de diseño Rh= Area / Perimetro mojado p= Pendiente B= Base del canal H= Altura del canal n= Coeficiente

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Cámara de floculación: Se diseña un floculador hidráulico, teniendo en cuenta que se plantearán dos unidades de floculación, cada una con un caudal equivalente a la mitad del caudal de diseño. Las fórmulas utilizadas se presentan en la tabla 12

Tabla 12.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño de la cámara de floculación

Parámetro	Fórmula	Significado
Longitud de los canales	$L = v * t$	L: longitud de los canales v: velocidad t: tiempo de retencion
Área de los canales	$A = \frac{Q}{v}$	A: area de los canales Q: caudal de diseño v: velocidad
Espaciamiento	$E = \frac{A}{H}$	E: espaciamiento A: Area de los canales H: altura
Espaciamiento entre el tabique y la pared	$Et = 1.5 * E$	Et: espaciamiento entre el tabique y la pared E: espaciamiento At: ancho del tabique
Ancho del tabique	$At = Et + l$	Et: espaciamiento entre el tabique y la pared l:largo de la camara

Numero de tabiques	$Nt = \frac{L}{At}$	Nt: Numero de tabiques L: longitud del canal At: ancho del tabique
Longitud de los canales	$Lt = Nt + Et$	Lt: longitud de los canales Nt: numero de tabiques Et: espaciamiento entre tabique y pared
Perdidas de carga	$h = 3 * N * \frac{v^2}{2} * g$	h: perdidas de carga N: numero de tabiques v: velocidad g: gravedad
Perímetro	$P = (Et + H) * 2$	P: perimetro Et: espaciamiento entre tabiques H: altura
Radio hidráulico	$Rh = P/A$	Rh: radio hidraulico P:perimetro A: area
Número de vueltas	$Nv = Nt - 1$	
Potencia disipada	$Pd = (h * 100)/(Tr * 60)$	Pd: potencia disipada h: perdidas Tr:
Gradiente de velocidad	$\sqrt{\frac{981 * Pd}{to}}$	Pd: potencia disipada
Longitud del floculador	$Lf = (Nt * A) + (Nt + e)$	Lf: longitud del floculador Nt: numero de tabiques e: espesor
Ancho total del floculador	$Af = L + Et$	Af: ancho del floculador L: largo Et: espaciamiento entre tabiques
Pendiente del floculador	$m = \frac{h}{Lt}$	m: pendiente h: perdidas totales Lt: longitud total
Desagüe de la floculación	$Q = 0.6 * A * \sqrt{2 * g * h}$	Q: Caudal de diseño H: Carga sobre la válvula A: Area de la válvula D: Diámetro de la válvula
Diseño ducto de entrada al sedimentador	$Q = C * L * H^{\frac{3}{2}}$	Q: Caudal de diseño C: Constante de la ecuación 1.84 L: Longitud del vertedero H: Carga sobre el vertedero

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Sedimentación: Debido a las limitaciones de espacio y por las características del sistema de potabilización, se diseñó un sedimentador de alta rata y flujo ascendente, dos módulos, doble celda, de tipo acelerado. El sedimentador será alimentado por una tubería perforada tipo

multidifusor, para que reparta equitativamente el agua floculada por el mismo. Las fórmulas utilizadas se presentan en la tabla 13

Tabla 13.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del Sedimentador

Parámetro	Fórmula	Significado
Área del canal de entrada	$A = b * h$	A: area b:base h: altura
Velocidad de entrada	$v = Q/A$	v: velocidad Q: caudal A: area
Perdidas en la entrada	$h = v^2/2 * g$	h: perdidas v: velocidad g: gravedad
Área del multidifusor	$A = \pi/4 * d^2$	A: area d: diametro
Área total multidifusor	$At = A + N$	At: area total A: area N: numero de orificios
Área superficial sedimentador	$As = (Q/cs) * (1 + (Ep / sp))$	As: Area superficial sedimentador Q: caudal Cs: carga superficial Ep: espesor de la placa Sp: superficie placa
Separación Horiz	$SH = Se/0.866$	SH: separacion Horiz Se: separacion ejes
Número de placas	$Np = Ls/SH$	Np: numero de placas Ls:longitud sedimentador
Velocidad entre las placas	$vo = cs/86400$	SH: separacion Horiz vo: velocidad en placas cs: carga superficial
Numero de Reynolds	$Re = (sp * Vo)/v$	Re: numero Reynolds Sp: separacion placas vo: velocidad placas v: viscosidad cinematica
Longitud relativa útil de la placa	$Lu = (1.2/sp) - (0.058 * Re)$	Lu: longitud relativa util de la placa Sp: separacion placas Re: numero Reynolds
Carga superficial equivalente	$vsc = vo(sen\alpha + Lu \cos \alpha)$	vsc: velocidad carga superficial vo: velocidad entre placas Lu: longitud relativa util de la placa
Numero de orificios sistema de salida	$n \times \emptyset 2 / D2 = 0.10$	n: Número de orificios $\emptyset 2$: Diámetro del orificio D2: Diámetro tubería

Caudal de cada tramo	$Qt = Q/22000$	Qt: caudal de cada tramo Q: caudal
Caudal en el orificio	$Qo = Qt/n$	Qo: caudal orificio Qt: caudal cada tramo n: numero orificios
Perdidas en el orificio	$ho = \frac{\left(\frac{Qo}{0.6 * Ao}\right)^2}{19.6}$	ho: perdidas en el orificio Qo: caudal orificio Ao: area orificio

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Filtración: Se selecciona un sistema de filtración de tasa constante, para lo cual la admisión a cada filtro, se hará por vertedero, y cuanto al lavado será de lavado de una unidad con la carga que producen los demás filtros. Las fórmulas usadas a continuación.

Tabla 14.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del proceso de filtración

Parámetro	Fórmula	Significado
Caudal de cada filtro	$Qf = \frac{Qt}{n}$	Qf: caudal de cada filtro Qt: caudal de diseño n: numero de filtros
Área de un filtro	$Af = Qf * \frac{86400}{cs}$	Af: area del filtro Qf: caudal del filtro Cs: carga superficial
Numero de viguetas falso fondo	$Nv = \frac{Lf}{av}$	Nv: numero de viguetas Lf: largo del filtro Av: ancho vigueta
Longitud de las viguetas	$LV = Lf - 0.05$	Lv: longitud viguetas Lf: largo del filtro
Numero de orificios por cada cara	$No = \frac{Lv}{so}$	Nv: Numero de viguetas Lv: longitud viguetas So: separacion orificio
Numero de orificios por todo	$Not = No * 2$	Not: numero de orificios por todo No: numero de orificios
Número total de orificios en el filtro	$Nto = Nv * Not$	Nto: numero total de orificios en el filtro Nv: numero de viguetas Not: numero de orificios por todo
Área del orificio	$Ao = \frac{\pi}{4} * d^2$	Ao: area del orificio d: diametro del orificio
Área total	$At = Ao * Nto$	At: area total Ao: area del orificio Nto: numero total orificio

Caudal de lavado del filtro	$Qlf = Af * vl$	Qlf: caudal lavado filtro Af: area filtro vl: velocidad de lavado
Caudal que se envía a la red	$Qr = Qt - Qlf$	Qr: caudal a la red Qt: caudal de diseño Qf: caudal de lavado
Caudal de lavado por canaleta	$Qlc = \frac{QL}{c}$	Qlc: caudal de lavado por canaleta Ql: caudal de lavado C: numero de canaletas
Perdidas de carga en la canaleta	$hc = \left(\frac{QLc^2}{9.81 * (Ac^2)} \right)^{0.33}$	hc: perdidas decarga canaleta Qlc: caudal lavado canaleta Ac: area de la canaleta
Caudal lamina sobre vertedero	$Qlv = \frac{QLc}{4}$	Qlv: caudal lamina vertedero QLc: caudal lamina canaleta
Perdidas de la lámina de agua sobre el vertedero	$hv = (Qlv/0.85)^{0.667}$	hv: perdidas de carga en el vertedero Qlv: caudal lamina vertedero h: perdidas de carga en el lecho filtrante
Pérdidas en el lecho filtrante (antracita y arena)	$h = \frac{180 * e * V * U * (\dots)}{g * Po^3 * d^2 * \dots}$	e: espesor v: velocidad de filtracion u: viscosidad po: porosidad d: diametro particula
Perdidas de carga en el lecho filtrante (grava)	$h = \frac{v * e}{3}$	e: esfericidad g: gravedad h: perdidas de carga en el lecho filtrante e: espesor v: velocidad de filtracion
Perdidas en el lecho durante el lavado	$h = e * \frac{ps - p}{p} * (1 - po)$	h: perdidas de carga en el lecho durante el lavado e: espesor ps: peso especifico p: peso especifico del agua po: porrosidad

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Desinfección: una vez diseñada la planta de tratamiento de agua potable para el acueducto comunitario Acuamiramar, se plantea que la desinfección se realice con hipoclorito de sodio. La dosis de cloro a aplicar depende del caudal de diseño de la planta tal como se puede apreciar en la tabla 15.

Tabla 15.

Fórmulas utilizadas para calcular los parámetros de diseño del proceso de desinfección

Parámetro	Fórmula	Significado
Dosis promedio que se va a aplicar	$D = \frac{D_{max} - D_{min}}{2}$	D: dosis promedio Dmax: dosis maxima Dmin: dosis minima
Caudal promedio de solución por aplicar	$q = \frac{Q * D}{C}$	q: caudal promedio Q: caudal diseño planta D: dosis promedio del desinfectante C: concentración de la solución
Consumo promedio diario	$P = Q * D$	P: consumo promedio diario Q: caudal diseño planta D: dosis promedio

Nota. Fuente: (Autor, 2020)

- Tanque de almacenamiento: La topografía del terreno donde se encuentra ubicado el barrio Miramar, favorece la distribución del agua tratada por gravedad, por tal motivo se selecciona un tanque superficial como reservorio, el cual se alimentará directamente de la planta de tratamiento. Los tanques superficiales se sitúan en una elevación natural en la proximidad de la zona por servir de manera que la diferencia de nivel del piso del tanque con respecto al punto más alto por abastecer sea de quince metros y la diferencia de altura entre el nivel del tanque en el nivel máximo de operación y el punto más bajo por abastecer sea de cincuenta metros.

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_r = \text{Volumen de Regulación } m^3$$

$$V_r \frac{1}{3} * QMD \text{ L/s}$$

$$V_{\text{almacenamiento}} = \frac{V_r}{1000} * 86400 \text{ m}^3$$

Estas fórmulas de ecuación están dispuestas en la Resolución 0330 de 2017.

6.4 Presupuesto Total para la Construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Acueducto Comunitario Acuamiramar

Una vez diseñada la planta de tratamiento de agua potable del acueducto Acuamiramar, con la ayuda de programas de diseño especializados se desglosó para cada unidad el tipo de cemento a utilizar, tipos de concreto, varillas, equipos a utilizar y los costos de los lechos utilizados en el filtro y demás componentes requeridos en el proceso.

Con la orientación de ingenieros y personas especializadas en la materia se estimó el presupuesto de obra, para tal fin se realizó un estudio de mercado de precios actuales de los materiales a disponer organizando esta información por medio de tablas dinámicas con valores relacionados entre sí, para que, al modificar un valor todo automáticamente sea actualizado.

Análisis y Resultados

7.1 Valoración Técnico Operativa de las Condiciones Actuales del Acueducto Acuamiramar.

El acueducto del barrio Miramar es abastecido por dos fuentes hídricas: El Tejar y La Gallinaza. La bocatoma de la quebrada Tejar, (figura 8), construida en 1990, se encuentra ubicada en la vereda el Tejar y dota al acueducto con un caudal de aproximadamente 2 L/s. La bocatoma de la quebrada Gallinaza, (figura 9), se encuentra ubicada en la vereda San Francisco, ésta quebrada aporta un caudal de 8L/s, de los cuales 6L/s se conducen al acueducto de Miramar, y 2L/s a la vereda.

Figura 8.

Bocatoma quebrada el Tejar



Nota. Fuente: (Autor, 2020)

Figura 9.

Bocatoma quebrada la Gallinaza



Nota. Fuente: (Acuamiramar, 2019)

La tubería de la línea de conducción del acueducto Acuamiramar se encuentra ubicada en el margen izquierdo de la vía en el carril subiendo; sale desde la bocatoma Gallinaza con un

diámetro de 4” y aproximadamente 40 m se reduce a diámetro 3”; de la Bocatoma el Tejar la tubería sale de 2 ½”. El agua captada de las dos quebradas, es almacenada en el tanque radio caciente, figura 10, el cual tiene una capacidad de 60 m³ y está ubicado en el barrio Albania; en el tanque el Diviso, figura 11, ubicado en el barrio Miramar, solo se almacena agua captada de la gallinaza, El sistema de acueducto no cuenta con macro ni micromedidores instalados en la red, ni con una planta de tratamiento; únicamente cuenta con un tratamiento primario del recurso, donde el agua es captada de las quebradas y posteriormente dispuesta en los desarenadores, (figura 12).



Nota. Fuente: (Autor, 2020)

Figura 11.

Tanque el Diviso



Nota. Fuente: (Autor, 2020)

Figura 12

Desarenador bocatoma el Tejar



Nota. Fuente; (Autor, 2020)

La red en la actualidad se compone de la bocatoma en la quebrada Gallinaza y quebrada Tejar, las correspondientes líneas de aducción, el tanque desarenador, 3 tanques de almacenamiento, la línea de conducción con diámetros de 4", 3", 2", 2 ½", y ¾"; y la red de distribución con diámetros de ½, 1, 1 ½, 2 y 2 ½. En la figura 12, se puede observar la llegada de las líneas de aducción para almacenamiento en el tanque El Diviso. El manejo de la red está a cargo de un fontanero, quien verifica que el flujo de agua llegue a cada una de las viviendas de los suscriptores; e implementa las medidas necesarias para que todo el barrio cuente con el servicio.

Figura 13.

Llegada de las líneas de aducción en el tanque El Diviso



Nota. Fuente: (Autor, 2020)

7.2 Estado de la Cuenca

Las fuentes de abastecimiento de agua para Acuamiramar, corresponden a la sectorización hidrográfica departamental elaborada por CORTOLIMA, a la cuenca del río Combeima presentada en la tabla 16.

Tabla 16.

Descripción de la cuenca del río Combeima

Cuenca	Longitud	Caudal	Área	Afluentes	Oxígeno disuelto	Porcentaje saturación
Combeima	55 Km	4.5 m ³ /s	272 Km ²	El Guamal Las Perlas Las Peñas Cay Corazón Ánimas El Tejar Altagracia Gallinaza Tigrera Granate Esmeralda Cristalina Lavapatás Volcana Salero Pozos El Billar La Honda	7.8 mg/L	69 %

Nota. Fuente: Proyecto Regional, Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial, 2002.

Al visitar La quebrada el Tejar y la gallinaza se observó, una lámina de agua al 60 y 70%, lo cual garantiza el caudal biológico en ambas corrientes superficiales; la vegetación predominante en las microcuencas son arrayanes, guaduas, cedros, robles y arbustos. El agua en

ambas microcuencas es poco turbia, sin trazas de grasa, aceites, material flotante ni vectores. El cauce es de tipo recto de lecho arenoso y pendiente del terreno media. Se observan viviendas y cultivos cerca de las bocatomas.

El agotamiento del caudal de la corriente superficial de la quebrada El Tejar y La Gallinaza y algunos de sus afluentes, se debe principalmente al deterioro ambiental generado por el conflicto de uso del suelo cerca de las microcuencas y a la falta de programas de uso eficiente y ahorro del agua, el cual exige estimar el índice de agua no contabilizada. Esta disminución y control requiere de la reforestación en las microcuencas, la implementación y operación de macro y micromedidores y del mejoramiento de las redes e infraestructuras de acueducto. Sin embargo, el caudal concesionado de 8.3 L/s que tiene en la actualidad el acueducto permite la ampliación de cobertura de suscriptores

En cuanto al conflicto por el uso del agua, se concluye que, si se presenta, debido al desarrollo de actividades productivas o domésticas por encima de los sistemas de captación, lo que genera la afectación de la calidad del agua captada. Estas actividades se refieren específicamente a plantaciones forestales de tipo comercial, monocultivos como de café, plátano y yuca. Por tal motivo es importante que el acueducto de la mano con Cortolima trabajen en la recuperación y conservación de las microcuencas en campañas de reforestación y limpieza de la misma

7.3 Evaluación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA), para el Acueducto Acuamiramar

A fin de conocer si el agua suministrada por el acueducto comunitario Acuamiramar es apta o no para el consumo humano, la secretaria de planeación mediante resolución trimestral, proporciona a la comunidad en general el reporte sobre índice de riesgo de la calidad del agua, (IRCA), suministrados por la secretaria de salud de Ibagué.

El acueducto comunitario Acuamiramar en la actualidad no tiene una planta de tratamiento de agua potable, por tal motivo el valor del IRCA no se encuentra en intervalo de agua potable, el cual es de 0 a 5 %, todo lo contrario, el respectivo valor se encuentra en un intervalo entre 35 y 80, el cual corresponde a un riesgo alto. En la tabla 17 se presentan los IRCA de los acueductos comunitarios ubicado en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué.

Tabla 17.

Índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA), para los acueductos comunitarios ubicados en la comuna 13 de la ciudad de Ibagué

	2011		2016		2018	
Boquerón	64.2	Alto	8.8	Bajo	7.5	Bajo
Colinas 1	27	Medio	28.5	Medio	26.3	Medio
Colinas 2	77.3	Alto	4.91	Sin riesgo	7.35	Bajo
Florida	18.6	Medio	4.55	Sin riesgo	11,2	Bajo
Batallón	19.8	Medio	23.6	Medio	14.3	Medio
San Isidro	32.8	Medio	46.7	Alto	58.9	Alto
Miramar	49.2	Alto	71.9	Alto	75.8	Inviabile
La Unión	79	Alto	80.3	Inviabile	81.5	Inviabile
D. Echandia	72.6	Alto	61.8	Alto	55.8	Alto
Jazmín Alto	77.6	Alto	71.4	Alto	75	Alto
Granate	77.3	Alto	87.3	Inviabile	86.4	Inviabile
Granada	71.9	Alto	89.9	Inviabile	85,1	Inviabile
Tuneles	81.4	Inviabile	4.49	Sin riesgo	8.5	Bajo
La Isla	76.5	Alto	89.9	Inviabile	88.4	Inviabile
jazmín bajo	79.4	Alta	88.2	Inviabile	87.2	Inviabile

Nota. Fuente: (Secretaría de salud de Ibagué, 2011,2016 y 2018).

En la tabla 17, se puede observar que acueductos comunitarios que tenían en el año 2011, valores del IRCA en rango alto e inviable sanitariamente, como lo son Boquerón, Florida, Colinas 2 y Túneles, lograron mejorar significativamente para el año 2016 la calidad del agua ofertada. Esto fue posible principalmente a la construcción de plantas de tratamiento de agua potable en los respectivos acueductos. Por el contrario, en el acueducto Acuamiramar se puede observar un aumento en el valor del IRCA. Esto se debe principalmente a la ausencia de una planta de tratamiento de agua potable y al desmejoramiento de las microcuencas el Tejar y la Gallinaza, las cuales presentan conflictos con el uso del suelo por el desarrollo de actividades productivas o domésticas por encima de los sistemas de captación.

7.4 Selección del Grado de Tratamiento

Con el fin de seleccionar el tipo de tratamiento que requiere el agua que capta el acueducto Miramar de la quebrada Gallinaza y el Tejar, se promedió los valores de los parámetros obtenidos de las diferentes caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas realizadas al acueducto en la red de abastecimiento. Los resultados suministrados por el acueducto se presentan en la tabla 18.

Tabla 18.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la fuente de abastecimiento

Parámetro	Unidades	Valor
pH	Unidades de pH	8.07
Color aparente	UPC	22
Turbiedad	UNT	4.12

olor	Aceptable	Aceptable
Cloro residual libre	mg/L	< 0.02
Conductividad	uS/cm	135
Temperatura	°C	25.5
Dureza total	mg/L	75.7
Hierro total	mg/L	0.02
Calcio	mg/L	20.6
Magnesio	mg/L	7.46
Alcalinidad total	mg/L	76.2
Cloruros	mg/L	1.2
Nitratos	mg/L	3
Nitritos	mg/L	0.01
Sulfatos	mg/L	1.11
Fosfatos	mg/L	0.33
Coliformes totales	UFC/ 100 cm ³	1360
E-coli	UFC/ 100 cm ³	240

Nota. Fuente: (Acuamiramar, 2019)

Al comparar los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos reportados en la tabla 18, con el criterio RAS título C, (tabla 3), se determinó que la planta de tratamiento de agua potable a diseñar es una convencional, la cual está conformada por los siguientes procesos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y Desinfección.

7.5 Cálculo de la Población Futura.

El acueducto en la actualidad cuenta con 280 suscriptores, para un total de 1204 habitantes, suponiendo el valor de 4.3 hab/vivienda, el número de personas por hogar para el municipio de Ibagué. Adicional a esto, se revisó en la oficina de Acuamiramar el número de usuarios que el

acueducto ha tenido a través del tiempo; encontrándose información para el año 2009, 2013 y 2019. Los datos se encuentran en la tabla 19, además se realizó una regresión polinomial con el fin de estimar la población futura para los próximos 25 años. La gráfica se presenta en la figura 14.

Tabla 19.

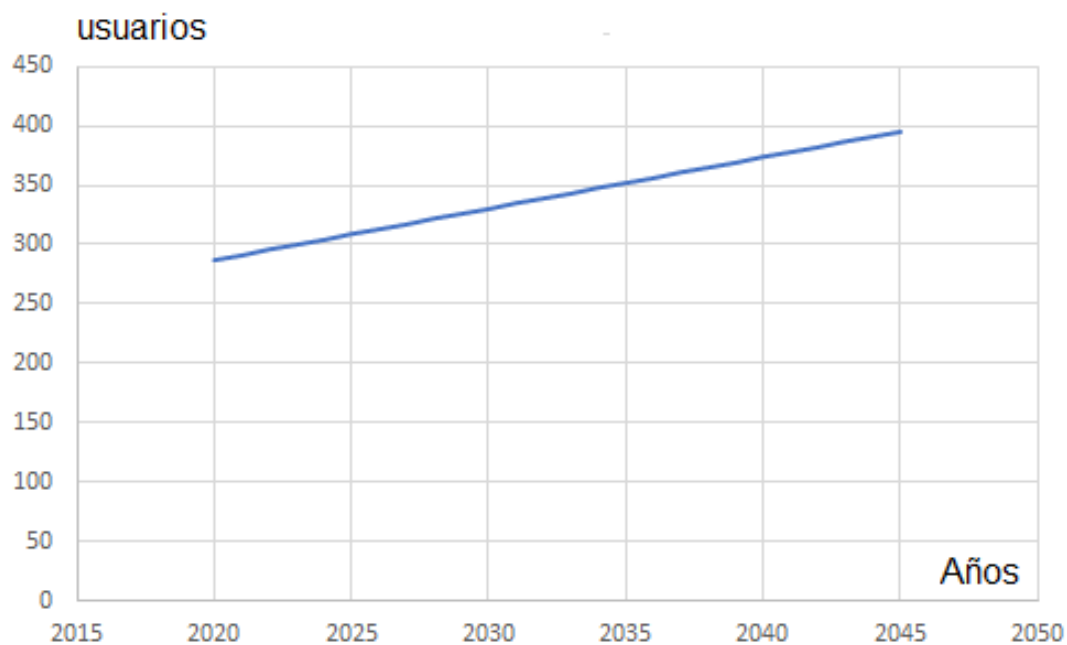
Población servida acueducto Acuamiramar

Año	Usuarios	Población
2009	235	1010
2013	265	1140
2019	280	1204

Nota. Fuente: Autor, 2020

Figura 14.

Población futura para el año 2045



Nota. Fuente (Autor, 2020)

La Ecuación de la recta es: $\text{Usuarios} = 4.342 * \text{años} - 8483.6$.

El margen de error es de 0.91, el cual es aceptable para el cálculo de viviendas.

Los usuarios para el año 2045 serán 395; que al multiplicarlo por 4.3, valor reportado por las encuestas realizadas por el DANE, nos da una población futura aproximada de 1698 habitantes, La población flotante es del 3%. De los habitantes año.

7.6 Distribución Espacial de la Población

- Dotación neta residencial: la altura sobre el nivel del mar de la ciudad de Ibagué es de 1285 msnm, valor que se encuentra en el intervalo de 1000 a 2000 msnm de la tabla 7, el cual le corresponde una dotación neta residencial 130 L/hab-día.

- Análisis y determinación del nivel de pérdidas: como no se cuenta con información histórica de volúmenes de agua producidos ni facturados y que tampoco existe información reportada al respecto en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), se adopta un valor de pérdidas técnicas del 25%, de acuerdo al máximo establecido en el parágrafo del artículo 44 – dotación bruta –de la resolución 0330 de 2017 del (MVCT).

- Dotación bruta: Teniendo el valor de la dotación neta y el nivel de pérdidas, se obtiene una dotación bruta de 173.7 L/hab-día

7.7 Demanda de Agua

- Caudal medio diario (Qmd): utilizando la ecuación 2, se obtiene un caudal medio diario para el año 2045 de 3.5 L/s con una población flotante de 50 personas.

- Caudal máximo diario (QMD): el valor K1 de la ecuación 3, 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, Se adopta un valor del coeficiente de consumo máximo diario (k1) de acuerdo lo establecido en el parágrafo 2 del artículo 47 – caudales de diseño –de la resolución 0330 de 2017, en donde para poblaciones menores o iguales de 12500 habitantes el factor k1 no será superior a 1.3 y para poblaciones mayores de 12500 habitantes el factor k1 no será superior a 1.2. Es así que se adopta un coeficiente de consumo máximo diario k1 para la localidad de estudio con un valor de 1.30. De acuerdo a esto el caudal máximo diario es de 4.56 L/S.

7.6 Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

Para que el diseño de la PTAP sea viable, se debe cumplir con unos requisitos mínimos que son: calidad de agua, cantidad de agua necesaria y continuidad en el servicio de suministro de agua; las dimensiones trabajadas en el presente diseño son de aplicación.

En la tabla 20 se presenta un resumen de los datos obtenidos para el cálculo, dimensionamiento y posterior diseño de la planta de tratamiento de agua potable para el acueducto del barrio Miramar.

Tabla 20.*Generalidades cumplimiento resolución 0330 de 2017*

Nivel de complejidad	Medio	
Periodo de diseño	25	Años
Usuarios 2018	280	Usuarios
Habitantes por usuario	4,3	Hab/Usuario
Población actual	1204	Habitantes
Población total	1204	Habitantes
rata de crecimiento	2,00%	
Población futura 2045	1698	Habitantes
Dotación neta	115	L/Hab-dia
Temperatura ambiente	15	°C
Condición vs 28°	SI	
Pérdidas del sistema resolución 2320	25	%
Dotación bruta	153,33	
Caudal medio	3,51	L/seg
k_1	1,30	
Caudal máximo diario	4,56	L/seg
Tipo de red del proyecto	Matriz	
k_2	1,00	
Caudal planta de tratamiento	4,56	L/SEG

Nota. Fuente: (Autor,2020)

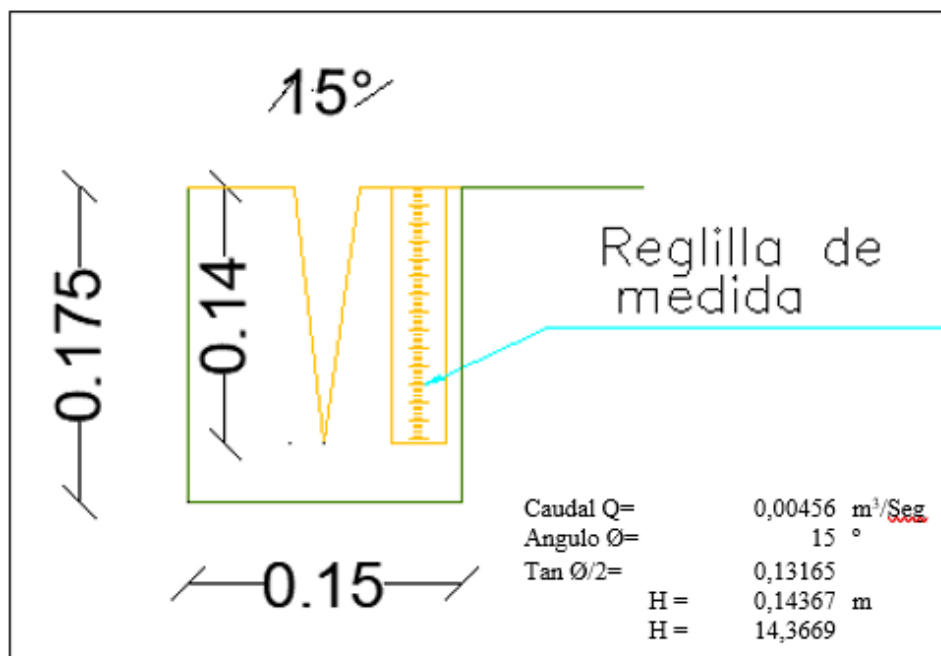
7.6.1 Sistema de entrada

Se diseñó una cámara de aquietamiento; el agua ingresa por debajo de la estructura para evitar turbulencias en la llegada y así poder realizar una medición adecuada del caudal. Se diseñó una caja de 60 x 60 cm con muros de 15 cm de espesor para este tipo de estructura. Se escogen las dimensiones asumidas gracias a las ecuaciones mencionadas en la Tabla 8, la velocidad de ascenso es de 0,20 m/seg, lo que permite que no se presente turbulencia ni sedimentación de partículas, el tiempo de retención es de 47 segundos. según la normatividad el valor debe ser menor de 90 segundos lo que confirma que el sistema cumple.

La cámara de entrada sirve para amortiguar el caudal que va a entrar a la planta, la presión atmosférica le quita la presión con que llega el agua. gracias a las ecuaciones citadas en las tablas 8 y 9 con las fórmulas de Darcy W. y Colebrook se calculó el desagüe de la Cámara de Aquietamiento con una tubería de descarga de 3", esta descarga debe ir al alcantarillado y debe desaguar el doble del caudal de diseño, este sistema devolverá las aguas a la quebrada la gallinaza, de manera segura y controlada.

Para el diseño del vertedero se eligió uno triangular debido a que el caudal manejado es de 4,56 L/s siendo pequeño, en la figura 15 se muestra el diseño del vertedero triangular y en la tabla 21 se encuentran los valores promedios de altura(H) en cm el caudal (Q) en m³/seg y en L/seg donde se ubica la altura de 14 cm que es el diseño escogido.

En las tablas 10 y 11 encuentran las fórmulas de Francis, con altura del canal de 20 cm, donde el flujo de agua es de régimen bajo o lento tipo laminar, la altura de la lámina de agua es de 15 cm ya que la condición de Reynolds dice que debe ser menor a 20 cm. Con la ecuación de Manning se chequea el caudal de transporte; la pendiente es del 0,01 %, el área sobre perímetro mojado (Rh) es de 0,0456 y el caudal de diseño (Q) es de 7, 8 L/Seg indicando la buena capacidad de transporte.

Figura 15.*Vertedero Triangular***Nota.** Fuente (Autor, 2020)**Tabla 21.***Tabla aforadora*

H en cms	Q m ³ /seg	Q L/seg
5	0,00031	0,31328
6	0,00049	0,49419
7	0,00073	0,72654
8	0,00101	1,01447
9	0,00136	1,36182
10	0,00177	1,77220
11	0,00225	2,24903
12	0,00280	2,79555
13	0,00341	3,41485
14	0,00411	4,10992
15	0,00488	4,88362

Nota. Fuente: (Autor,2020)

7.6.2. *Coagulación*

El tipo de coagulante que se utilizara es sulfato de aluminio tipo B. la dosis promedio (D), está dada por la dosis mínima (Dm) y dosis máxima (DM), las cuales se determinan a partir de la turbiedad mínima y máxima que deberá tratar la planta, información que se obtiene en el laboratorio a través de una prueba de jarras; sin embargo para el diseño de la planta de agua potable de Acuamiramar, los valores de las dosis se tomaron del estudio realizado por Daniela Castrillón Bedoya en su tesis, “Determinación de las dosis óptimas del coagulante sulfato de aluminio granulado tipo b en función de la turbiedad y el color para la potabilización del agua en la planta de tratamiento de villa santana”. En dicho documento se encuentra que para valores de turbiedad de 5 y 100 NTU, los cuales son los mínimos y máximos reportados por los análisis fisicoquímicos realizados a Acuamiramar, las dosificaciones son de 25 y 50 mg/l respectivamente.

Dm: 25mg/L

DM: 50 mg/l

D: 37.5mg/L

Q: 4.56 L/s

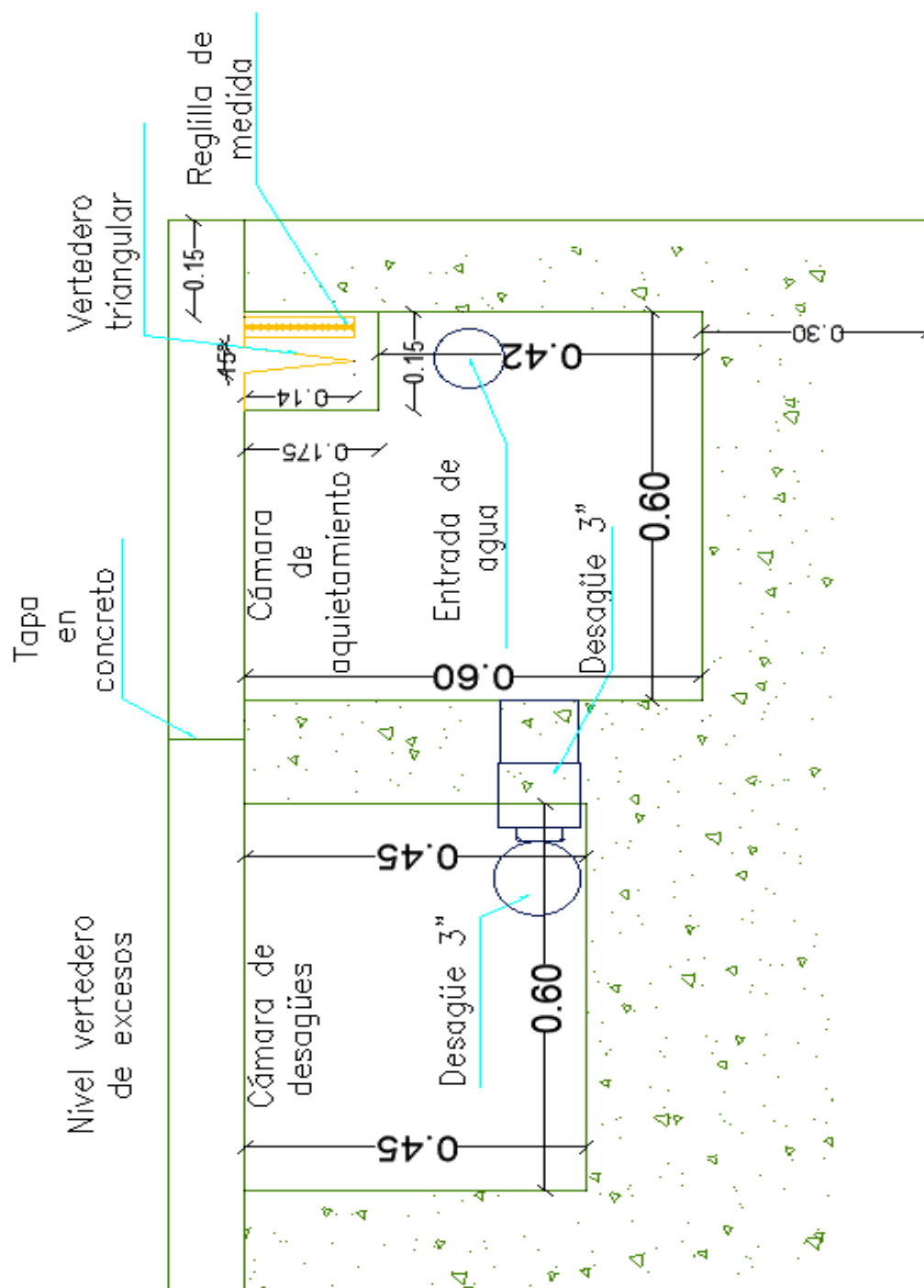
C: 15%, 150000 mg/L

P: 100 %.

En la tabla 10 se encuentran las fórmulas de este capítulo, así como la fórmula de caudal promedio de coagulante (q), que es de: 0,0012 L/s. Los elementos con las dimensiones indicadas en este capítulo se muestran en las figuras 16, 17 y 18 a continuación.

Figura 16.

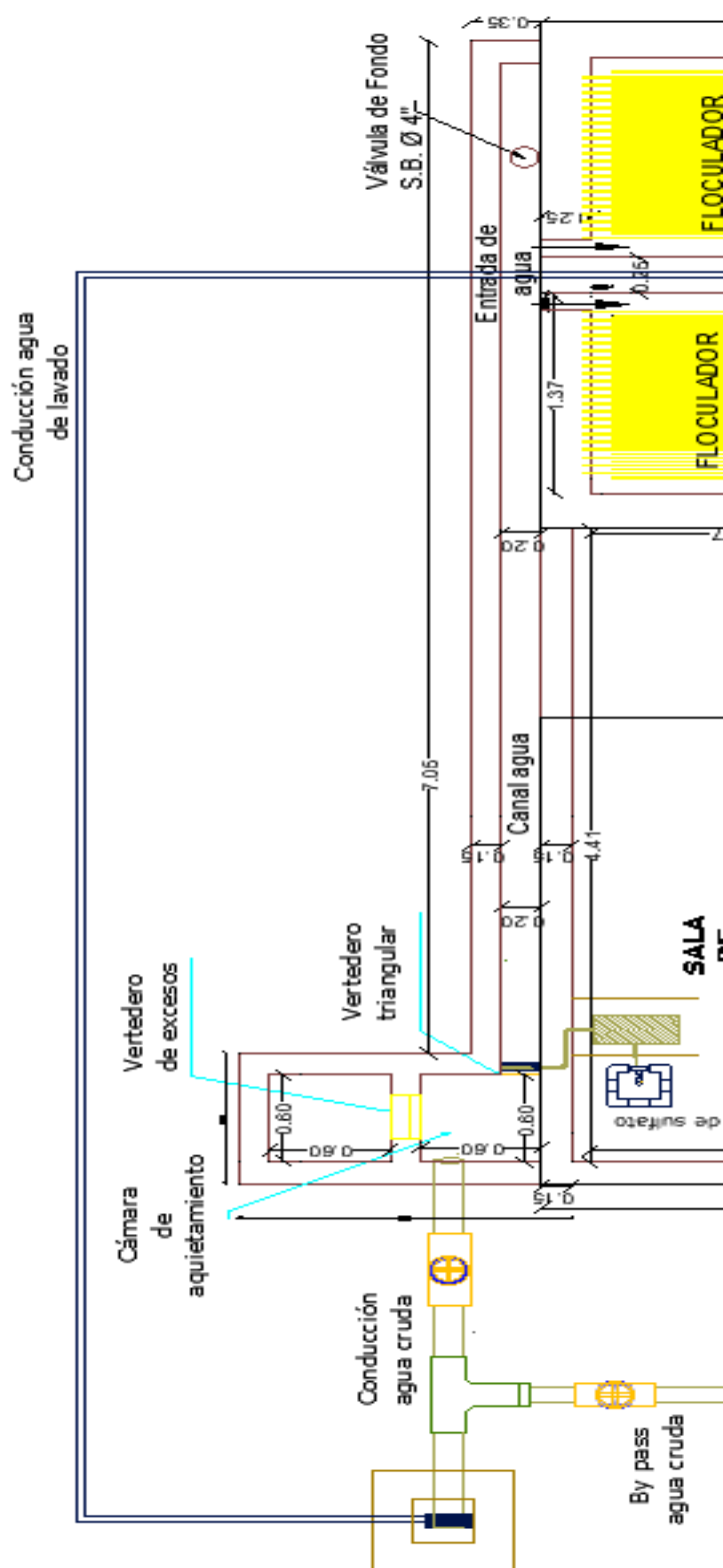
Sección cámaras desagües y aquietamiento corte



Nota. Fuente Autor (2020)

Figura 17.

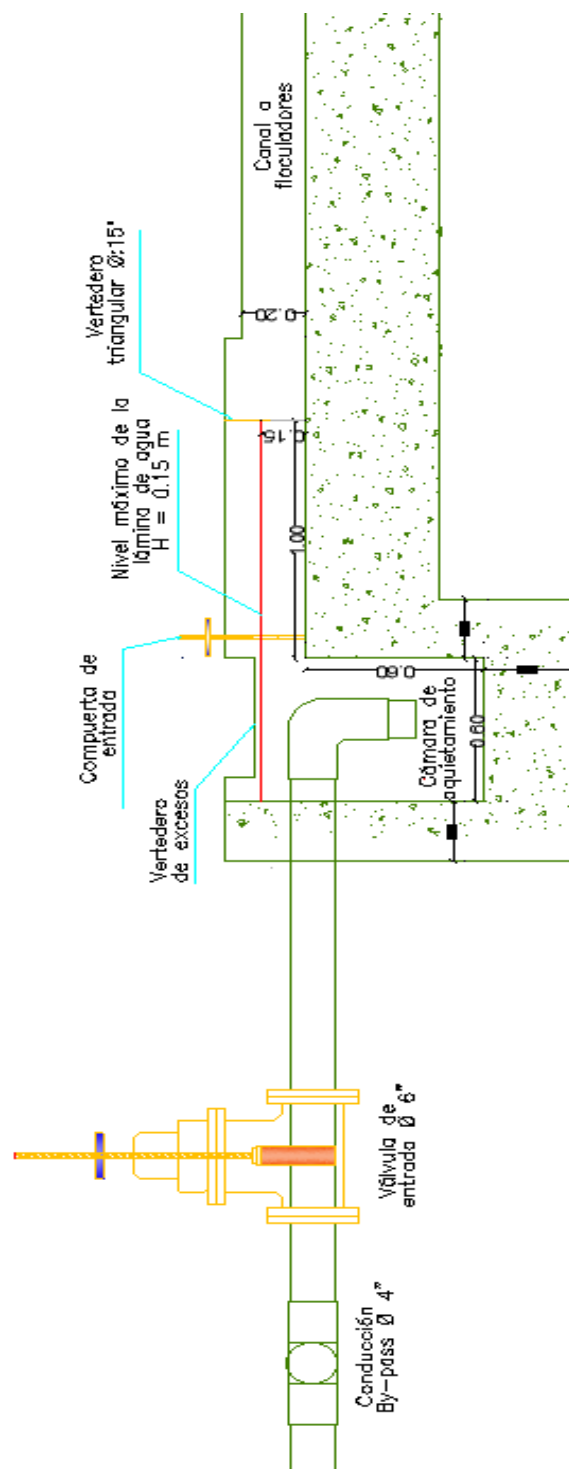
Sección canal de entrada planta



Nota. Fuente (Autor 2020)

Figura 18.

Sección canal de entrada corte,



Nota. Fuente (Autor 2020)

7.6.3. Floculación

Tomando las fórmulas de la Tabla N. 12 Se escogió por las condiciones de diseño, un floculador horizontal combinado tipo Alabama, este sistema funciona a gravedad y no requiere mucho espacio. Para el diseño de la cámara de Floculación que tiene un caudal total de 4,46 L/s se decidió dividirla en dos sectores o módulos cada uno con una capacidad de caudal de 2,28 L/s. Esto para facilitar el mantenimiento y para cumplir con la continuidad del servicio. A continuación, se determinan los valores en la Tabla 22.

Tabla 22.

Secciones del Floculador

Sector 1	Velocidad	0,10 m/seg
	Tiempo Retención	10 minutos
	Tabiques de placa	Concreto
	Dimensiones Largo	1,20 m
	Altura	0,50 m
	Espesor	0,10 m
	Borde libre	0,10 m
	Altura	0,40 m
Sector 2	Velocidad	0,09 m/seg
	Tiempo Retención	10 minutos
	Tabiques de placa	Concreto
	Dimensiones Largo	1,20 m
	Altura	0,50 m
	Espesor	0,10 m
	Borde libre	0,10 m
	Altura	0,40 m

Nota. Fuente: (Autor,2020)

El desagüe de la floculación se calculó con la fórmula descrita en la tabla 12, y se hará a través de una válvula que estará sumergida para que funcione como si fuera de piso, según el cálculo el diámetro escogido es de 4" para que cumpla con la condición del caudal de diseño; el diseño del ducto de entrada al sedimentador se escoge un vertedero frontal el cual se calcula según la ecuación de Francis descrita también en la tabla 12 arrojando un valor de longitud 20 cm con una altura de lámina de agua 05 cm. En la tabla 23 se realiza un resumen detallado de los datos obtenidos anteriormente gracias a los cálculos de las fórmulas mencionadas en la tabla 12 donde se verifica el cumplimiento de la normativa para este tipo de diseños.

Tabla 23.

Resumen datos floculador

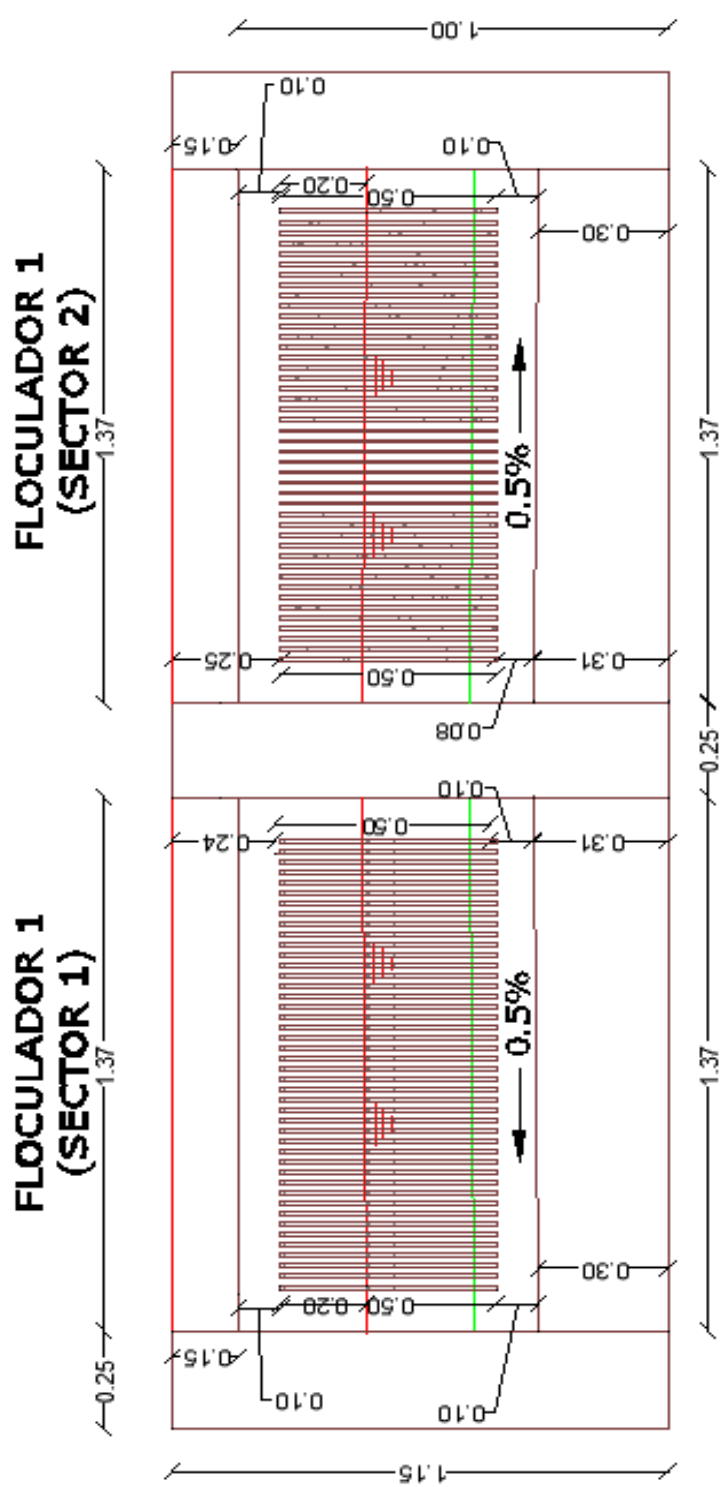
Tramo	Vel cms/ s	$\frac{h_i=3}{Nv^2/}$ 2g	A m ²	P m	$R^{2/3}$	S	SL= h _i cms	hf=h _i + h ₂ cms	P1	G1	G-1 debe estar 20 y 60
1	10	6,73	0,046	0,914	0,135	0,0001	0,47	7,199	0,012	34,308	CUMPLE
2	9	4,83	0,051	0,9267	0,144	0,0001	0,30	5,134	0,008	28,973	CUMPLE

Nota. Fuente: (Autor,2020)

En la figura 19 se muestra la planta de la zona floculadores donde se evidencian los 2 sectores y en la figura 20 se muestra un corte transversal del floculador con el sector 1 y sector 2.

Figura 20.

Corte Floculadores



Nota. Fuente (Autor, 2020)

7.6.4. *Sedimentación*

Debido a las características del sistema de potabilización y limitaciones de espacio, se diseñó un sedimentador de alta tasa y flujo ascendente, de tipo convencional de $18 \text{ M}^3/\text{M}^2\text{-día}$, Con dos módulos octogonales tipo colmena de 0,05 cm de cada lado; Este será alimentado por una tubería perforada tipo multidifusor, que repartirá el agua equitativamente. Se realizan 2 módulos para un caudal de diseño de 2,28 L/s cada uno de sistema laminar o lento, con una velocidad de paso de 0.20 m/s, La admisión al canal se hace a través de una tubería de 3"; el multidifusor es una tubería repartidora donde el agua pasa a las dos celdas a través de 60 orificios de 1/2". El sistema no recargará los filtros gracias a la velocidad, el sistema de salida se hará por tuberías de 3" perforadas, cada uno de los tramos de tubería tendrán 2 orificios de 2 unidades localizados en la parte superior; Como la tubería descarga con una altura crítica (h_c) de 0.15 cm el canal principal debe tener una altura final de 0,075 cm con un borde libre de 0,10 cm; El canal central o primario transporta el agua clarificada hasta los filtros. en las figuras 21, 22 y en la tabla 24 a continuación ilustradas.

Tabla 24.

Parámetros diseño sedimentador

Caudal de diseño =		393,984	M^3/Dia
Carga Superficial		180	$\text{M}^3/\text{M}^2\text{-Dia}$
Espesor placa		0,01	m
Separación entre placas		0,05	m
Area Superficial		2,63	M^2
Sedimentador doble celda		1,31	M^2
Ancho del Floclador		1,30	m
Longitud del Sedimentador		1,00	m
Long Total Sedimentador		1,60	m

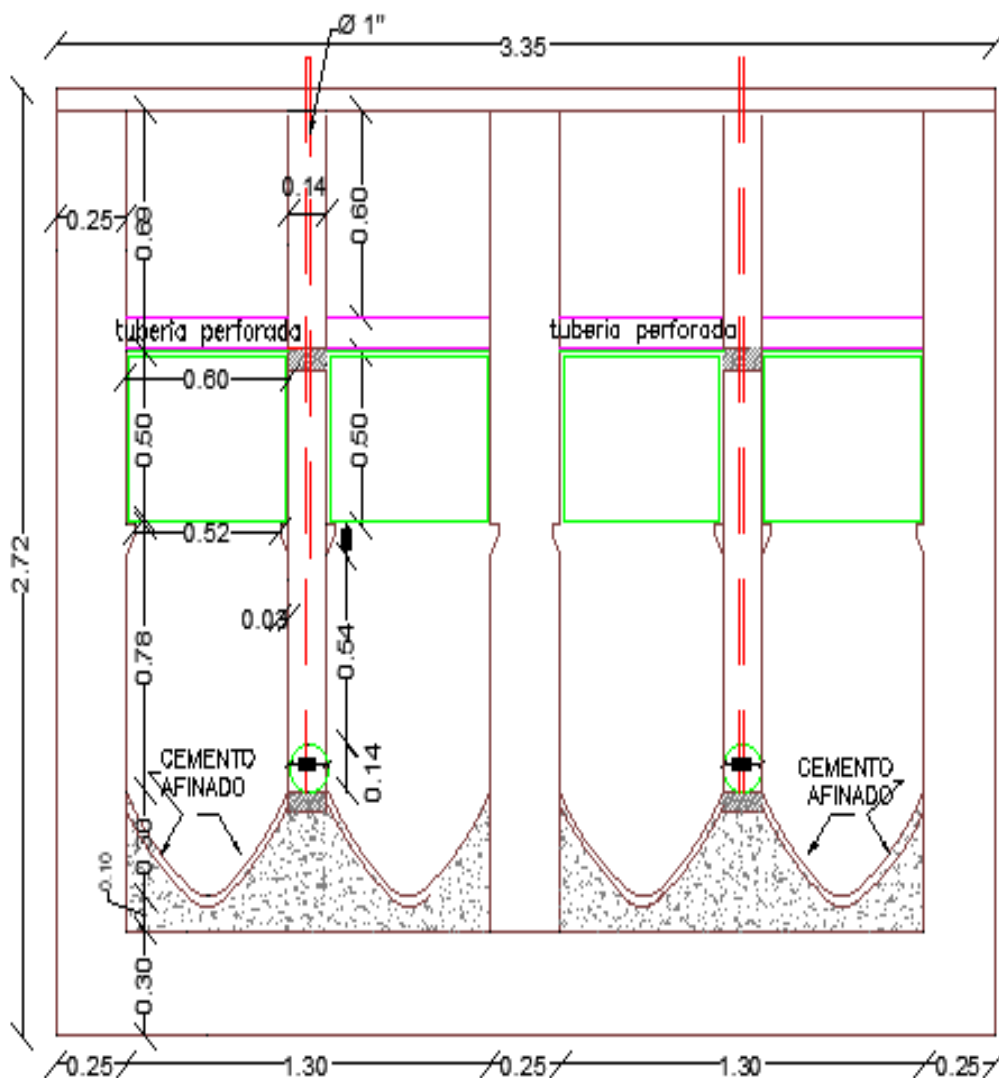
**CUMPLE, FLUJO
LAMINAR**

Clase de flujo a través de las placas	$V_o = C.S./86400$		
	V_o	= 0,00208	MPS
	Re	= 103,02	
Carga Superficial Equivalente			
$V_{sc} = V_o(\text{Sen } \phi + Lu \text{ Cos } \phi)$	Lu	= 18,02	
	V_{sc}	= 18,22	$M^3/M^2\text{-Dia}$

Nota. Fuente: (Autor,2020)

Figura 21.

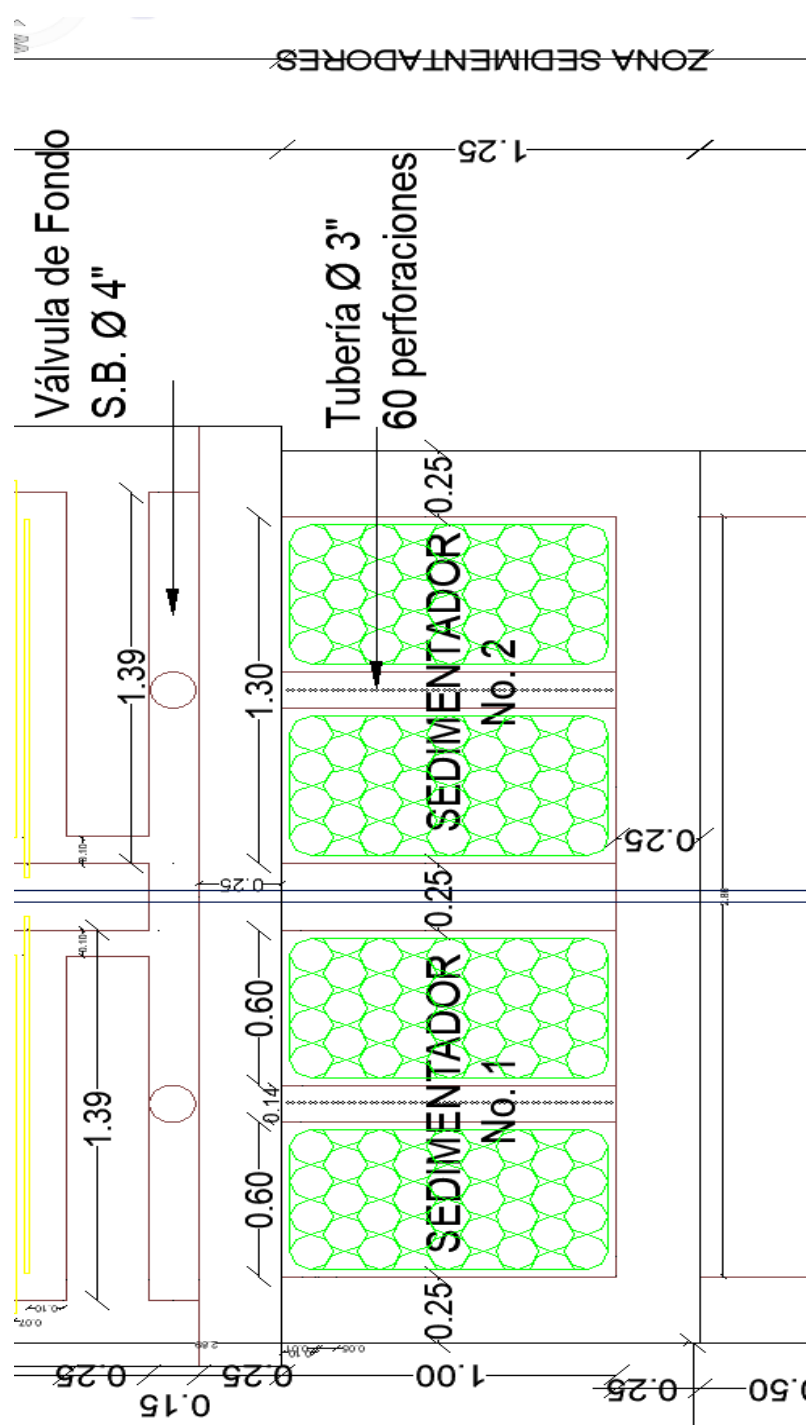
Corte sedimentadores



Nota. Fuente (Autor, 2020)

Figura 22.

Planta zona sedimentadores



Nota. Fuente (Autor, 2020)

7.6.5. Filtración

Se seleccionó un sistema de filtración de tasa constante, la admisión a cada filtro se hará por vertedero, el sistema de lavado será de una unidad con la carga que producen los demás filtros, para la determinación de la carga superficial la cantidad de filtros asumidos será de 4 unidades cada uno con un área aproximada de 0,16 m², el caudal por unidad de filtro es de 2,28 L/s con una carga superficial de 300 M³/M²-Dia. Las fórmulas desarrolladas en este capítulo se encuentran en de la tabla 14. El falso fondo se diseña en forma de V invertida, con valores de 15 cm de ancho por 15 cm de alto con orificios de Ø 3/4 cada 5 cm. se colocan viguetas una al lado de la otra, apoyadas en sus extremos y en el centro con mortero 1:2 entre ellas hasta el nivel inferior de los orificios de Ø 3/4", las condiciones están dadas en la tabla 25 y para el diseño del lecho filtrante se realiza en un medio doble de arena y antracita las condiciones o características están expuestas en la tabla 26.

Tabla 25.

Parámetros diseño filtración

Falso fondo	
Largo del filtro =	1,45 m
Diámetro orificio	3/4 Pulg
Ancho viguetas=	0,15 m
No de viguetas	10,00 Unidades
Longitud de las viguetas=	1,40 m
Separación de los orificios	0,05 m
No de orificios por cada cara	28,00 Unidades por cada cara
No de orificios por todo	56,00 Unidades
No total de orificios filtro	560,00
Area del orificio	0,000285 m ²
Area total	0,16 m ²

Lavado del filtro

Velocidad de lavado = 0,60 cm/min

Caudal de lavado =

0,00 m³/seg

Caudal que se envia a la red

0,00064 m³/seg

Aceptable, lo que nos indica que cuando se esta lavando un filtro, los otros tres estan enviando:

Caudal de envio 0,64 LPS

Equivale 28,0%

Lechos
**Primera
capa**
Segunda capa
**Tercera
capa**
Cuarta capa
Quinta capa

Grava de	2 1/2" a 1"	1" a 1/2"	1/2" a 1/4"	1/4" a 1/8"	1/8" a 2mm
Espesor	0,07	0,05	0,05	0,05	0,10

Nota. Fuente: (Autor,2020)

Tabla 26.
Lecho filtrante

Material	Espesor	Tamaño efectivo	Coefficiente de Uniform	Peso especifico	Porosidad	Esferosidad
Arena	0,25	0.5-0.55	1.6-1.7	2,65	0,4	0,82
Antracita	0,50	1.0-1.1	1.5-1.6	1,5	0,55	0,73

Nota. Fuente: (Autor,2020)

Para la recolección del agua de lavado, se diseñaron 2 canaletas elevadas las cuales descargan a un canal individual por donde pasa el agua, llevando está a un canal recolector de aguas de lavado por una compuerta. Para calcular las pérdidas se hace necesario el desarrollo de las fórmulas de la tabla 14 a continuación los resultados de las perdidas obtenidos en la tabla 27 y los componentes del filtro en la tabla 28.

Tabla 27.*Resumen perdidas*

Resumen de las pérdidas por filtración	
Pérdidas en la Antracita	7,79E-06 m
Pérdidas en la Arena	5,71E-05 m
Pérdidas en la Grava	0,022 m
Pérdidas en el sistema falso fondo	0,00000 m
Total	2,25E-02 m
Resumen de las pérdidas durante el lavado	
Pérdidas a la salida del filtro	0,000 m
Pérdidas en la Grava	0,064 m
Pérdidas en la Arena	0,248 m
Pérdidas en la antracita	0,113 m
Pérdidas en el sistema falso fondo	0,000 m
Total	0,424 m

Nota. Fuente: (Autor,2020)

Tabla 28.*Componentes del filtro*

Altura en la vigueta	0,15 m
Espesor de la Grava	0,32 m
Espesor de la Arena	0,25 m
Espesor de la Antracita	0,50 m
Vacio entre la Antracita y tubería salida	0,15 m
Altura disponible pérdidas filtración	2,25E-02 m
Altura disponible pérdidas lavado	0,424 m
Borde libre	0,1 m
Altura total del filtro	1,92 m

Nota. Fuente: (Autor,2020)

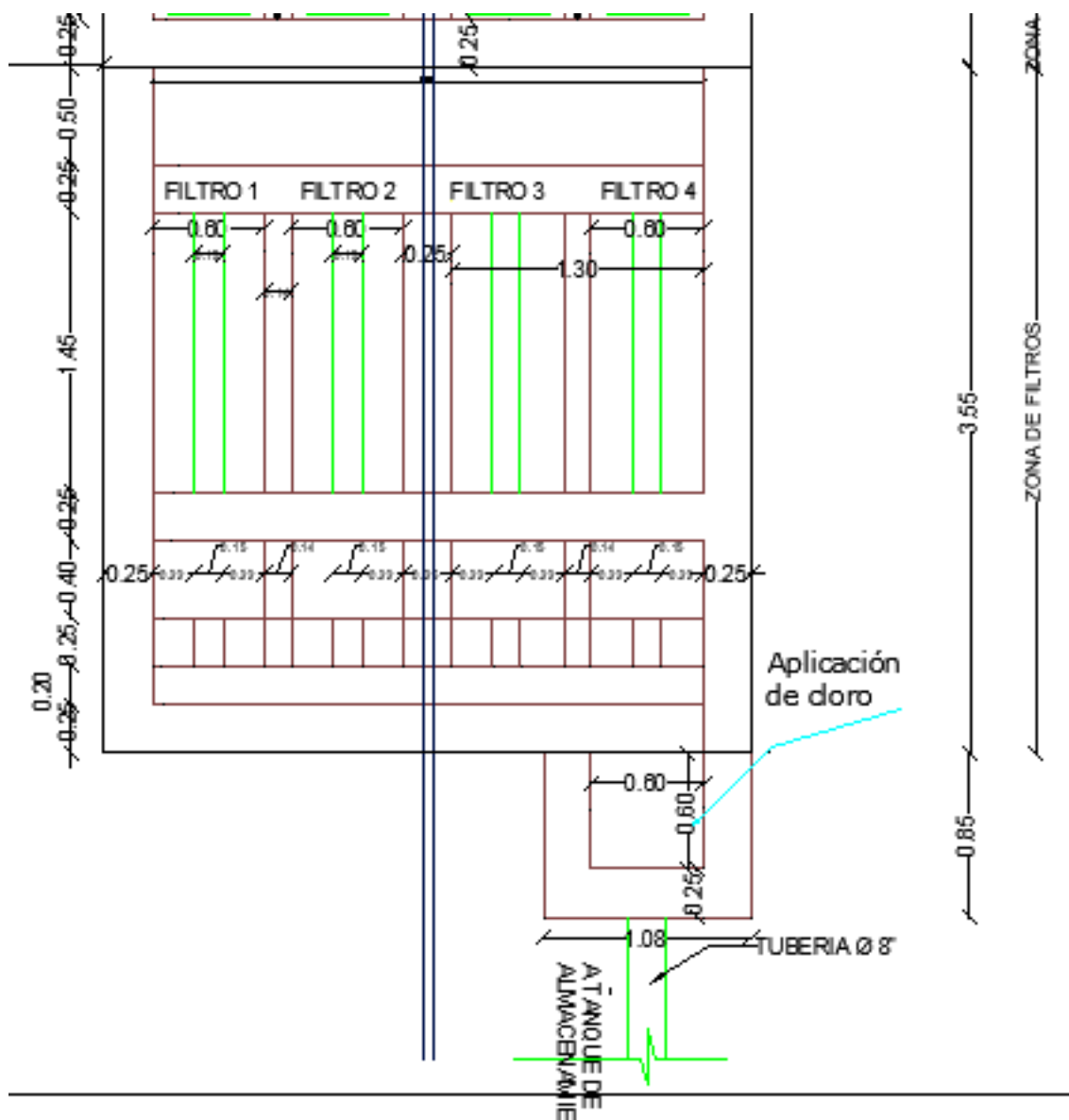
7.6.6. Desinfección

El reactivo químico que se utilizará para el proceso de desinfección es el hipoclorito de sodio, el cual maneja una dosis mínima de 1.7 mg/L y una máxima de 23.1 mg/L. mientras que la concentración de esta solución está en el rango de 10000 a 50000 mg/L. El caudal promedio de

la solución de hipoclorito de sodio (q), a aplicar es de: 0,0018 L/s. por lo tanto, se tiene: Dm: 1.7 mg/L, DM: 23.1 mg/L, Dosis promedio: 12.4 mg/L, Q: 4.56 L/S, Concentración promedio: 30000 mg/L. Utilizando las fórmulas que encuentran en la tabla 15, las figuras 23 y 24 muestran el diseño.

Figura 23.

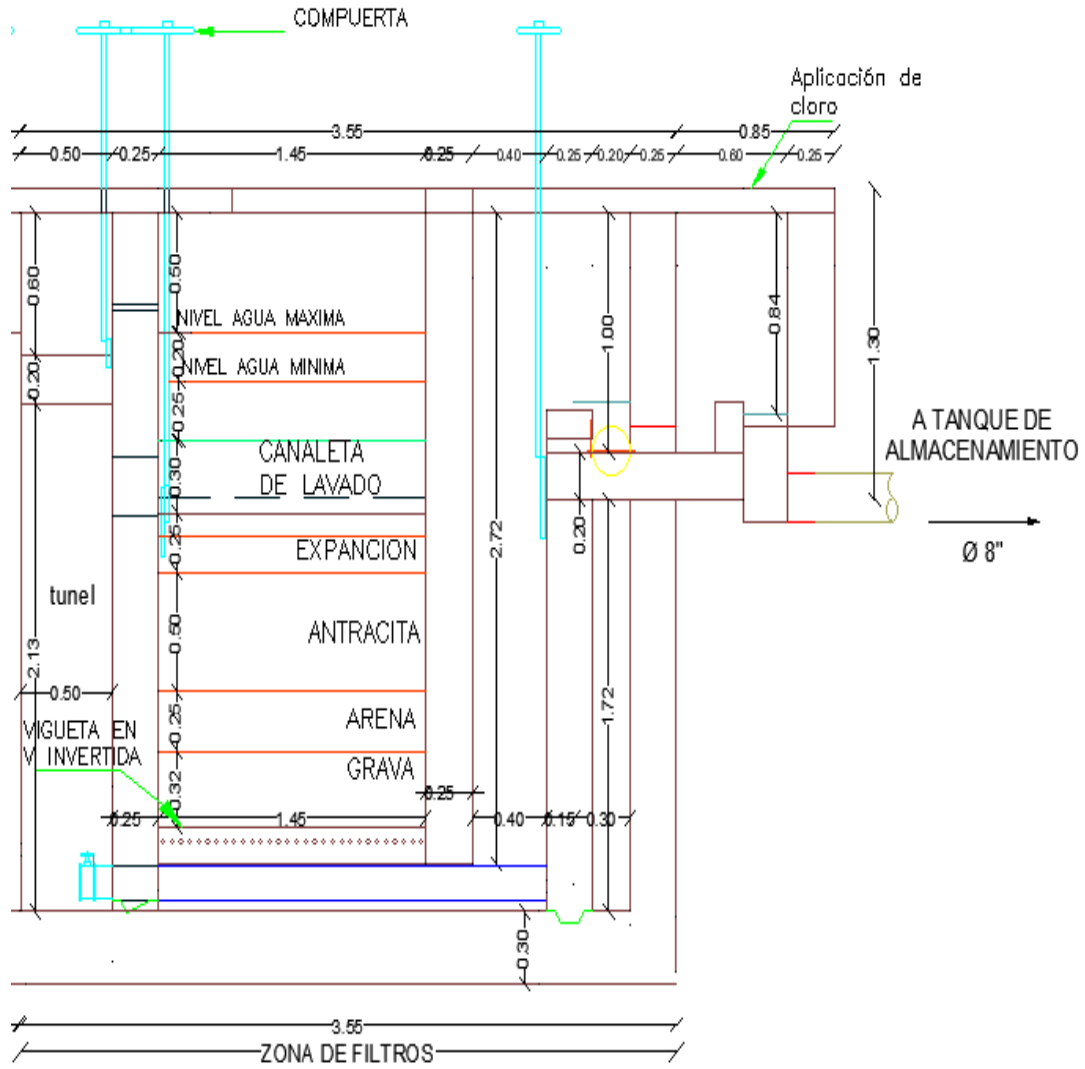
Planta zona Filtros



Nota. Fuente (Autor, 2020)

Figura 24.

Corte zona Filtros



Nota. Fuente (Autor, 2020)

7.6.7. *Tanque de almacenamiento.*

Se realizo el diseño del tanque de almacenamiento tomando como base el caudal máximo diario que es de 4.56 L/S, las dimensiones del tanque se calcularon desarrollando las fórmulas de volumen de regulación y valor de almacenamiento.

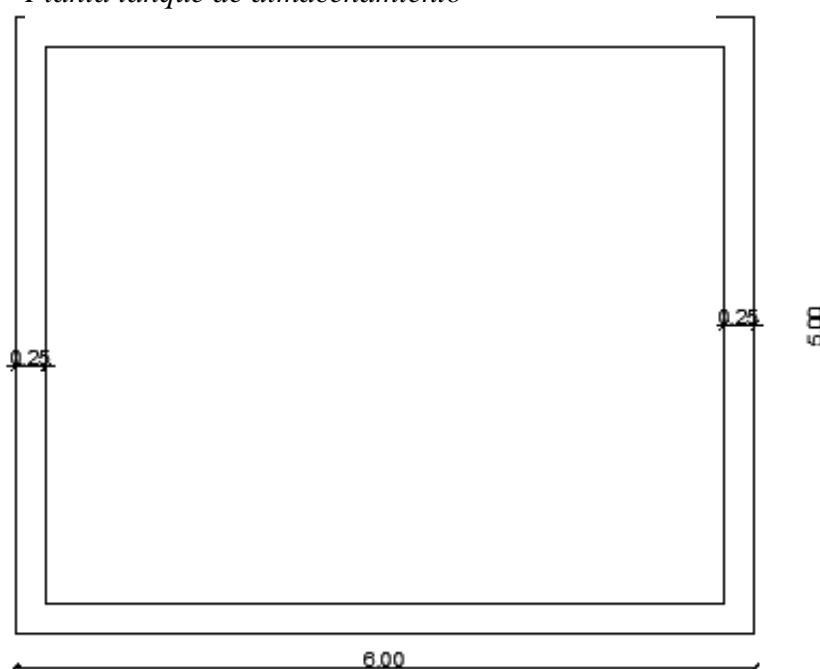
$$V_{\text{regulación}} = 1.52 \text{ L/s}$$

$$V_{\text{almacenamiento}} = \frac{1.52 \text{ L/s}}{1000} * 86400 = 131.33 \text{ m}^3$$

Para hacer el diseño y la construcción del tanque más exacta se toma el volumen de almacenamiento como 132 m³ con respecto a este valor se diseña el tanque de almacenamiento rectangular con las siguientes medidas, 6m de longitud, 5 m de ancho y 4.5 de altura o profundidad, a continuación, en las figuras 25 y 26 se muestra el diseño.

Figura 25.

Planta tanque de almacenamiento

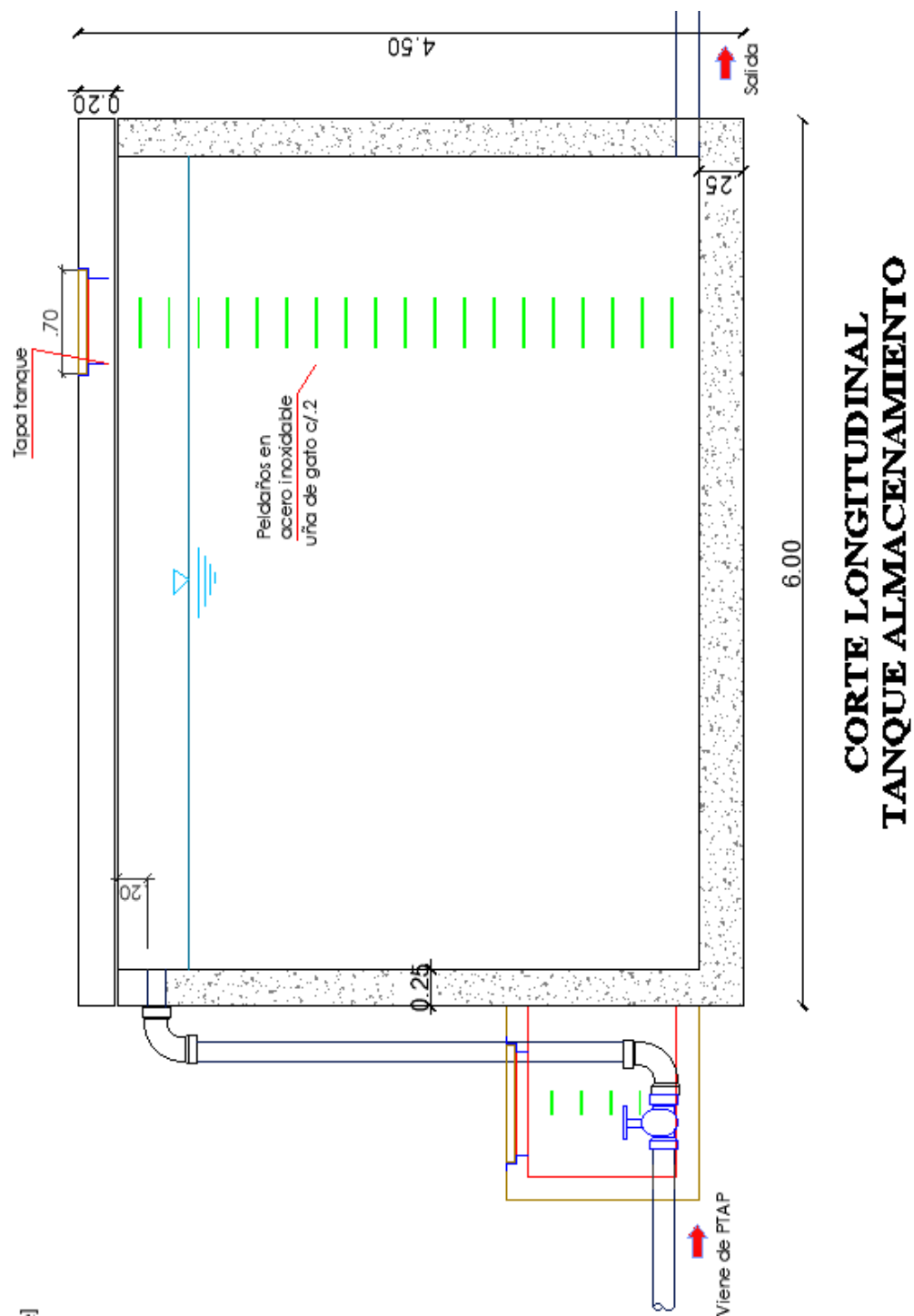


PLANTA TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Nota. Fuente (Autor, 2020)

Figura 26.

Corte tanque de almacenamiento



Nota. Fuente (Autor, 2020)

7.7. Presupuesto Total para la Construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Acueducto comunitario Acuamiramar

Para la realización del presupuesto fue necesario tener el diseño de las instalaciones de la planta de tratamiento, éste fue desarrollado gracias al programa Autocad versión 2010, esto con el fin de poder sacar las dimensiones y cantidades de obra detalladas; posteriormente, se realizaron cotizaciones en diferentes lugares de la ciudad, como la ferretería Godoy y Homecenter Constructor; esto con el fin de tener los precios reales y actualizados de los materiales a utilizar, y así escoger la mejor opción por costos.

luego se realizaron varios análisis de precios unitarios organizando cantidades, equipos, mano de obra incluyendo el desperdicio, todo esto para poder obtener un costo objetivo y completo, en el programa Excel se realizó una tabla dinámica donde todos estos valores estuvieran relacionados.

Los valores aquí suministrados son objeto del ejercicio académico para optar al título profesional pueden ser modificados según las condiciones del terreno donde se decida colocarla planta y la variación en cantidades o modelos, o demás necesidades específicas del usuario.

Tabla 29.

Presupuesto de Obra PTAP

PRESUPUESTO DE OBRA CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BARRIO MIRAMAR MUNICIPIO DE IBAGUÉ					
Items	Descripción	Und	Cantidad	V/ Unitario	Valor Total
1	Preliminares				
	Localización y Replanteo	M2	160	5.338,00	854.080,00
	Cargue y Retiro de Sobrantes	M3	112	13.000,00	1.456.000,00
2	sistema de entrada				
	camara de aquiteamiento concreto 21 Mpa	M3	0,83	404.910,47	335.265,87
	Compuerta de Guillotina metalica	UN	2	565.886,14	1.131.772,27
	Valvula de comp de fondo 4"	UN	1	1.996.890,00	1.996.890,00
3	Floculador				
	Sum e Inst placas Concreto	M3	0	404.910,47	0,00
	Sum e Inst de compuerta tipo guillotina s/planos	UN	2	565.886,14	1.131.772,27
	Suministro e instalacion valvula compuerta fondo 4	UN	2	1.996.890,00	3.993.780,00
	Concreto 21 Mpa placa de fondo e=0.30	M3	4,14	784.478,00	3.248.280,21
	Concreto 21 Mpa muros e=0.25	M3	21,61	834.478,00	18.033.142,27
	Concreto 21 Mpa cimentación	M3	21,61	784.478,00	16.952.638,22
4	Sedimentador				
	Sum e Inst placas octogonales	UN	4	591.690,00	2.366.760,00
	Concreto 21 Mpa placa de fondo e=0.30	M3	1,26	784.478,00	985.500,49
	Concreto 21 Mpa muros e=0.25	M3	11,42	834.478,00	9.526.192,23
	Concreto 21 Mpa cimentación	M3	10	784.478,00	7.844.780,00
	Codo de entrada	UN	1		
	Suministro e instalacion valvula compuerta fondo 4	UN	1	1.996.890,00	1.996.890,00
	Sum e Inst de tubería perforrada 3"	ML	2		
5	Filtros				
	Concreto 21 Mpa placa de fondo e=0.30	M3	3,84	784.478,00	3.014.866,63
	Concreto 21 Mpa muros e=0.25	M3	40	834.478,00	33.645.151,59
	Concreto 21 Mpa cimentación	M3	9	784.478,00	7.060.302,00
	Suministro e instalacion valvula compuerta fondo 4	UN	4	1.996.890,00	7.987.560,00
	Sum e inst de antracita	M3	1,05	1.991.501,00	2.091.076,05
	Sum e inst de arena para filtro	M3	0,6	1.676.396,00	1.005.837,60
	Sum e inst de grava para filtro	M3	0,36	1.628.936,00	586.416,96
	Sum e inst de falso fondo tipo vigueta	ML	15	134.372,00	2.015.580,00
6	Desagües				
	Excavación en material comun < 2 mts	M3	86	24.571,26	2.113.128,42
	Excavación en material comun > 2 mts	M3	36	32.512,28	1.170.442,12
	Excavación en conglomerado < 2 mts	M3	46	35.358,49	1.626.490,44
	Excavación en conglomerado > 2 mts	M3	18	43.299,51	779.391,14
	Excavación en roca < 2 mts sin explosivos	M3	38	54.236,14	2.060.973,13
	Excavación en roca > 2 mts sin explosivos	M3	12	64.873,96	778.487,54
	Cajas de Inspección de 0,80 * 0,80	UN	8	501.166,00	4.009.328,00
	Cajas de Inspección de 1,00 * 1,00	UN	6	709.375,00	4.256.250,00
	Acero A37	Kg	860	11.877,18	10.214.375,38
	Acero PDR 60	Kg	4150	12.077,18	50.120.299,80
	Sum e inst Tubería de 10"	ML	16	104.108,00	1.665.728,00
	Sum e inst Tubería de 12"	ML	28	123.037,00	3.445.036,00
	Sum e inst Tubería de 14"	ML	12	155.676,00	1.868.112,00
7	Caseta de Operación				
	Caseta de Operación	GL	1	15.643.084,00	15.643.084,00
	Dosificador de sulfato de aluminio	UN	1	16.357.436,00	16.357.436,00
	Dosificador de Cloro gaseoso	UN	1	17.476.001,00	17.476.001,00
	Sum e inst Motobomba 2 HP	UN	1	1.486.336,00	1.486.336,00
	Sum e inst cilindro de cloro gaseoso 100 Kg	UN	4	3.616.436,00	14.465.744,00
	Sum e inst Balanza	UN	1	2.666.436,00	2.666.436,00
SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS					281.463.613,95
VALOR A.I.U		25,00%			70.365.903,49
VALOR TOTAL					351.829.517,44
IMPUESTO DE IVA SOBRE UTILIDAD DEL		8,00%			3.602.734,26
VALOR TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN					355.432.251,70

Nota. Fuente: (Autor,2020)

Conclusiones

- El caudal de concesión que tiene actualmente el acueducto comunitario Acumiramar, 8.6 l/s, garantiza la construcción de la planta de tratamiento de agua potable diseñada en el presente trabajo con un horizonte de 25 años.

- Se debe establecer un plan de manejo ambiental que ayude a mitigar los impactos ambientales generados por las actividades antrópicas desarrolladas agua arriba del lugar donde se capta el agua en la quebrada la gallinaza y el tejlar.

- Al analizar los estudios fisicoquímicos y microbiológicos realizados a la quebrada el tejlar y la gallinaza, se encuentra que a pesar de que los niveles de turbiedad son mínimos, la presencia de coliformes obliga al acueducto comunitario Acumiramar a diseñar una planta de tratamiento de agua potable de tipo convencional.

- El presupuesto de construcción de la planta de tratamiento de agua potable para el acueducto Acumiramar es de 400 millones de pesos, valor que lo hace posible de efectuar a través de proyectos de la alcaldía que estén interesados en brindar agua potable al 100 % de los ibaguereños.

- La infraestructura que actualmente tiene el acueducto, tanques de almacenamiento y desarenadores, se encuentran en condiciones aceptables y pueden ser utilizadas en la planta de tratamiento de agua potable

Recomendaciones

- Gestionar ante las entidades pertinentes, los recursos necesarios para construir la planta de tratamiento de agua potable, objeto de diseño del presente trabajo.

- Realizar programas de uso eficiente y ahorro del agua en la comunidad del barrio Miramar.

- Realizar un catastro de redes y de usuarios que permita brindar información más exacta de las condiciones actuales del acueducto comunitario.

- Implementar macro y micromedición en cada una de las viviendas que hacen parte de Acuamiramar.

- Adquirir equipos que permitan medir las características físicas y químicas del agua tratada en el acueducto.

- Medir periódicamente en laboratorios externos los parámetros microbiológicos de la quebrada el Tejar y la Gallinaza.

Bibliografía

Arboleda. (2000). Teoría y Práctica de la purificación del agua Tomo 2. 3. p 401.

Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. p 99 - 110: Mc Graw Hill
Tomo 1. 3 Edición.

Bello Parra, W. Y., & Camacho Cuesta, S. J. (2017). Propuesta de Mejoramiento Técnico
Operativo al Acueducto Veredal Servimazatas Vereda RioFrio Occidental, Tabio
Cundinamarca.

Cadavid, N. (2008). Criterios de sostenibilidad para acueductos comunitarios. Estudio de caso:
Periferia urbana del Municipio de Envigado, Cuenca de la Quebrada La Ayurá (Doctoral
dissertation, Tesis de maestría, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad
Nacional de Colombia, Sede Medellín).

Cardenas Parra, C. M., & Adame Erazo, F. A. (2014). Diseno De Una Planta De Tratamiento De
Agua Potable: Caso De Estudio Un Municipio De Santander (Doctoral dissertation,
Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Quimica).

Correa, H. (2006). Acueductos comunitarios, patrimonio público y movimientos sociales. Notas y preguntas hacia una caracterización social y política. [En línea] Ecofondo.[Citado mayo de 2008]. Disponible en Internet:< [http://www. agua. org. mx/content/view/6172/101](http://www.agua.org.mx/content/view/6172/101).

Chacón, G., Lizcano, I., & Lara, Y. A. (2011). Consumo básico de agua potable en Colombia. Tecnogestión: Una mirada al ambiente, 8(1).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). Proyecciones de población. Recuperado de [https://www.dane.gov. co/index.php/estadísticas-por-tema/demografía- y-población/proyecciones-de-población](https://www.dane.gov.co/index.php/estadísticas-por-tema/demografía-y-población/proyecciones-de-población)

Giraldo, N. C. (2009). Acueductos comunitarios: Patrimonio social y ambiental del Valle de Aburrá. Avances en recursos hidráulicos, (20).

Instituto Nacional de Salud. (2017). Protocolo de vigilancia en salud pública intoxicaciones por sustancias químicas.

López Cualla, Ricardo A. (1997). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición, Escuela colombiana de ingeniería. Bogotá.

Marín-Zambrana, B. G. (2009). Manual de química del agua. Teoría y práctica. Santa Marta:
Universidad del Magdalena.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2018). Reporte Tasa por uso de agua,
años 2012 a 2016. Bogotá: MADS - Grupo de Análisis Económico para la Sostenibilidad

Molina, J. E., & Morales, S. A. (2018). El derecho humano al agua potable en Colombia:
decisiones del estado y de los particulares. *Vniversitas*, 67(136), 1-14.

Pérez, J. (1986). Tratamiento de aguas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas.
Bogotá-Colombia. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/70/3/45_-_2_Capi_1.pdf.

RAS. (2000). Sistemas de potabilización. REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE
DESARROLLO ECONÓMICO. : p 77. Sección II. Título C.

RAS. (2000). TÍTULO C SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN. Sección II.

RAS. (2000.). Sistemas de potabilización. REPÚBLICA DE COLOMBIA, MINISTERIO DE
DESARROLLO ECONÓMICO.: Sección II. Título C p 79.

Resolución. (2007). Norma 1. Resolución conjunta 2115 de 2007. Ministerio de la protección social. www.alcaldiabogota.gov.co.

Romero-Rojas, J. A. (2013). Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS.

V, J. (2000). Teoría y Práctica de la purificación del agua. p 636. Tomo 2. 3 Edición.

Valencia, J. (2000). Teoría y Práctica de la purificación del agua. p 363 Tomo 1. 3 Edición

Vargas, L. (1990). Procesos Unitarios Y Plantas De Tratamiento Colombia. p 18- 26.

Vidal, F. J. R. (2003). Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización. Ediciones Díaz de Santos