

**EVALUACIÓN CONDICIONES ACTUALES ACUEDUCTO MUNICIPIO NOCAIMA  
CUNDINAMARCA**

**CARLOS EDUARDO TORRES BUELVAS**



**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**2022**

**EVALUACION CONDICIONES ACTUALES ACUEDUCTO MUNICIPIO NOCAIMA  
CUNDINAMARCA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Director:**

**Ing. ALEJANDRO QUIJANO ARDILA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA - FAEDIS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C.  
2022**

*Dedicatoria.*

*Dedico este trabajo a mis hijas.*

*Gabriela, Mila y Elana; también a mi esposa Paola que con su apoyo permanente me motivó a no desfallecer y alcanzar la meta.*

*Dedicación especial a Jesús, quien guía mi camino desde hace mucho tiempo.*

### *Agradecimientos*

*A todas las profesoras y profesores que contribuyeron con su enseñanza, y que cada día fueron sembrando una semilla de conocimiento. Al ingeniero Alejandro Quijano por su gran aporte no sólo como profesor sino como tutor de este trabajo. A los funcionarios de la alcaldía de Nocaima Cundinamarca Julieth Rodríguez, Andrea Pajarito Y Edwin Camacho de Emsergualiva S.A.S-E.S.P. A mis compañeros de estudio por la motivación y apoyo permanente durante todo este tiempo.*

*¡Gracias!*

## Resumen

En este trabajo se consideró la necesidad que tiene el municipio de Nocaima Cundinamarca de ampliar el acueducto municipal existente, desde su zona de captación hasta su tanque de almacenamiento. Nocaima cuenta con dos puntos de captación operativos actualmente, son 2 quebradas, en adelante (QDA o QDAS). Y son: QDA El Tigre y QDA La Moya, estas quebradas en periodos de invierno ofrecen un caudal importante para abastecer la planta de tratamiento (PTAP), y tratar el agua, pero en temporadas de verano el caudal disminuye drásticamente lo que constituye un problema en la cantidad de agua que se potabiliza para almacenar y abastecer el casco urbano del municipio.

Basados en la reglamentación vigente, como la resolución 330 del 8 de junio de 2017, el reglamento técnico del sector del agua potable y saneamiento básico (RAS); así como el análisis de la población futura basada en los últimos censos realizados en Colombia; se realizó un diseño propuesto del acueducto considerando las necesidades actuales de Nocaima, con el fin de identificar brechas con respecto a este de las condiciones actuales y plantear así sugerencias para mejoras del mismo.

*Palabras clave: Acueducto, Agua potable, desarenador, canaleta Parshall, tanque de almacenamiento.*

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen	5
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
1. Introducción	16
2. Planteamiento del problema	16
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos	18
4. Justificación	18
5. Antecedentes	19
6. Alcance	19
7. Marco referencial	20
7.1. Marco conceptual	20
7.2. Marco teórico y estado del arte	21
7.3. Marco normativo	23
7.4. Marco geográfico	24
7.5. Marco hidrográfico	25
7.5.1. Subcuenca quebrada La Moya.	27
7.5.2. Subcuenca quebrada El Tigre	29
7.6. Características actuales del acueducto municipal	31
7.7. Información poblacional	34
7.8. Temperatura y elevación.	34

8.	Memorias de cálculo y diseño	35
8.1.	Cálculo de la población futura por el método geométrico.	35
8.2.	Calculo de la rata de crecimiento de la población	35
8.3.	Cálculo de Tf	36
8.4.	Cálculo de la población futura reemplazando r y Tf	36
9.	Nivel de complejidad	36
10.	Dotación bruta (Db)	36
10.1.	Dotación futura bruta (Df bruta)	38
11.	Caudal medio diario (Qmd)	38
12.	Caudal máximo diario (QMD)	39
13.	Caudal máximo horario (QMH)	40
13.1.	Diseño de caudal para bocatoma	41
13.2.	Diseño rejilla	41
13.3.	Área de captación (Ac)	42
13.4.	Número de barras y No. de espacios	42
13.5.	Área de la rejilla (AR)	43
13.6.	Longitud de la rejilla (LT)	43
13.7.	Dibujo de la rejilla	43
13.8.	Pérdidas de la rejilla	44
13.9.	Altura de la lámina de agua sobre la rejilla	45
13.10.	Canal de aducción entre rejilla y desarenador	45
13.11.	Velocidad horizontal o superficial	46
13.12.	Tubería de conducción entre rejilla y desarenador	47

13.13. Diámetro de la tubería	48
13.14. Velocidad del agua en la tubería	49
14. Desarenador	49
14.1. Tiempo de retención del agua en el desarenador y tiempo de sedimentación	51
14.2. Altura del desarenador (H)	51
14.3. Capacidad del desarenador (volumen) (V)	51
14.4. Superficie del desarenador o área de superficie o espejo de agua ( $A_s$ )	52
14.5. Velocidad ascensional ( $VA$ ) o carga que se recibe	52
14.6. Dimensiones del desarenador	52
14.7. Velocidad superficial ( $V_o$ )	53
14.8. Retención de partículas	53
14.9. Eficiencia	54
14.10. Profundidad para lodos	54
14.11. Volumen de lodos	54
14.12. Número de orificios	56
14.13. Número de filas horizontales y verticales	57
14.14. Orificios corregidos	57
14.15. Separación entre las filas horizontales y verticales ( $W, Z$ )	57
14.16. Altura del deflector o ancho ( $H/2$ )	57
14.17. Altura de la lámina de agua en la entrada del desarenador	58
14.18. Dibujo y dimensiones	58
15. Canaleta Parshall	59
15.1. Cálculo del ancho de la garganta	59



15.2.	Dimensiones de la canaleta	60
15.3.	Determinación de la lámina de agua (ha)	62
15.4.	Cálculo de la canaleta en la sección media ( $W_a$ )	62
15.5.	Cálculo de la velocidad en la sección media ( $V_a$ )	62
15.6.	Cálculo de la energía total disponible	63
15.7.	Cálculo de la velocidad antes del resalto $V_2$	63
	Cálculo de la velocidad de resalto ( $V_2$ )	64
15.8.	Determinación de la lámina de agua en el resalto (cálculo de $h_b$ )	66
15.9.	Chequeo de grado de sumergencia (S)	67
15.10.	Canaleta Parshall como mezclador	68
15.11.	Cálculo del número de Froude (Fr)	68
15.12.	Cálculo de la lámina de agua al final del tramo divergente ( $h_3$ )	69
15.13.	Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta tramo ( $h_4$ )	70
15.14.	Cálculo del tiempo medio de la mezcla (td)	70
15.15.	Cálculo del gradiente de velocidad (G)	71
15.16.	Cálculo de la distancia de elevación de la cresta por encima del fondo del canal de salida (X)	73
15.17.	Longitud de desarrollo del resalto (L)	73
15.18.	Dimensiones y dibujo	74
15.19.	Canal de entrada	74
15.20.	Canal aguas abajo	75
16.	Sedimentación	75
16.1.	Calculo del volumen del sedimentador	76

	10
16.2. Cálculo de (e) = Espacio que recorre el agua horizontalmente	77
16.3. Cálculo de la altura del sedimentador (h)	77
16.4. Cálculo de b (Espacio entre pantallas)	77
16.5. Cálculo de B (ancho del sedimentador)	78
16.6. Cálculo de W (largo de cada pantalla)	79
16.7. Número No. de espacios ( $\theta + 1$ ) y No. de pantallas ( $\theta$ )	79
16.8. Longitud total del sedimentador (LT)	79
16.9. Cálculo de la carga superficial (CS)	79
16.10. Cálculo de la velocidad de sedimentación ( $V_s$ )	81
16.11. Velocidad ascensional ( $V_a$ )	81
16.12. Retención de partículas	82
16.13. Cálculo de la eficiencia ( $\epsilon$ )	82
16.14. Cálculo diámetro de partícula que se retiene un 100%	82
16.15. Volumen de lodos	83
16.16. Tiempo de vaciado	83
16.17. Dimensiones y dibujo	85
17. Aireadores	86
17.1. Aireador de bandeja	86
17.2. Número de bandejas	87
17.3. Área de las bandejas	88
17.4. Área de cada bandeja	88
17.5. Dimensiones de cada bandeja	88
17.6. Área de cada orificio	89

	11
17.7. Caudal sobre cada orificio	89
17.8. Determinación del número de orificios	90
17.9. Distribución de los orificios en filas y columnas	90
17.10. Separación entre orificios (z)	90
17.11. Volumen de fondo para salida de agua aireada	91
17.12. Tubería de conducción entre sedimentador y aireador de bandeja	91
17.13. Pendiente de conducción (s)	92
17.14. Diámetro de la tubería de conducción	92
17.15. Pérdidas por fricción de tubería por Hazen Williams	92
17.16. Pendiente de conducción (Recalculo s)	93
17.17. Recalculo de diámetro	93
17.18. Tubería de conducción (desde aireador hasta tanque de almacenamiento)	93
17.19. Diámetro de la tubería	93
17.20. Pérdidas de carga	94
17.21. Recalculo diámetro con las nuevas pérdidas	94
17.22. Dibujo aireador de bandeja	94
18. Tanque de almacenamiento	95
18.1. Volumen de regulación	95
18.2. Caudal contra incendio (Qin)	96
19. Volumen del tanque	97
19.1. Altura del tanque (H)	97
19.2. Dimensiones del Tanque	98
19.3. Dimensiones del tanque	99

	12
19.4. Tiempo de vaciado	100
19.5. Tubería de alivio para evacuar excesos	101
20. Laboratorio	102
21. Análisis de los resultados	104
21.1. Captaciones	104
21.2. Sedimentador	105
21.3. Medidor Parshall	105
21.4. Tanque de almacenamiento	106
1 Conclusiones	107
2 Recomendaciones	108
22. Referencias	109

### **Índice de tablas**

Tabla 1 Número de suscriptores detallado 2021 _____	17
Tabla 2 Relación de trabajos similares _____	22
Tabla 3 Red hidrográfica el municipio de Nocaima _____	26
Tabla 4 Temperatura promedio quebrada la moya _____	27
Tabla 5 Temperatura promedio quebrada El Tigre _____	30
Tabla 6 Censos poblacionales 1993-2005-2018 _____	34
Tabla 7 Temperatura °C y elevación msnm _____	35
Tabla 8 Nivel de complejidad del sistema (Tabla A.3.1. RAS 2000) _____	36
Tabla 9 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida (Tabla 1, Resolución 330 de 2017) _____	37

Tabla 10 Porcentajes máximos admisibles de pérdidas (Tabla 2.4, título B sección II) _____	37
Tabla 11 Coeficiente de consumo máximo diario k1 (Tabla B 2.5 RAS 2000) _____	39
Tabla 12 Coeficiente de consumo horario k2 (Tabla 2.6 RAS 2000) _____	40
Tabla 13 Caudales de diseño (Tabla 2, resolución 330 de 2017) _____	41
Tabla 14 Coeficiente de rugosidad de Manning _____	45
Tabla 15 Coeficiente de Hazen William _____	48
Tabla 16 Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal _____	60
Tabla 17 Constantes K y n para cálculos de caudales _____	60
Tabla 18 Dimensiones típicas de medidores Parshall (cm) _____	61
Tabla 19 Valores para W igual a 3 pulgadas _____	62
Tabla 20 Rangos de sumergencia _____	67
Tabla 21 Parámetros de referencia de diseño de sedimentación _____	76
Tabla 22 Otras consideraciones de diseño _____	76
Tabla 23 Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples _____	87
Tabla 24 Constante de capacidad del tanque de almacenamiento _____	98
Tabla 25 Dimensiones actuales y propuestas _____	104
Tabla 26 Datos zonas de captación _____	104
Tabla 27 Dimensiones sedimentador _____	105
Tabla 28 Dimensiones canaletas _____	106
Tabla 29 Volúmenes _____	107

### Índice de figuras

Figura 1 Localización municipio de Nocaima .....	25
Figura 2 Ubicación quebrada La Moya .....	28

	14
Figura 3 Toma temperatura quebrada	28
Figura 4 Bocatoma existente quebrada La Moya .....	29
Figura 5 Bocatoma existente quebrada El Tigre.....	30
Figura 6 Localización captaciones existentes.....	31
Figura 7 Diagrama de flujo funcionamiento PTAP .....	32
Figura 8 Diagrama de flujo PTAP .....	33
Figura 9 Esquema Rejilla.....	43
Figura 10 Factor de forma de la rejilla (Tabla B.4.5 RAS) .....	44
Figura 11 Canal y desarenador .....	47
Figura 12 Rejilla y desarenador .....	47
Figura 13 Tronco de pirámide.....	54
Figura 14 Esquema deflector .....	56
Figura 15 Esquema desarenador .....	58
Figura 16 Secciones Canaleta Parshall .....	59
Figura 17 Corte esquema canaleta Parshall .....	63
Figura 18 Corte para cálculo de hb.....	67
Figura 19 Corte canaleta Parshall 4-4.....	70
Figura 20 Canaleta Parshall h5 .....	73
Figura 21 Dimensiones y dibujo.....	74
Figura 22 Espacio entre pantallas .....	78
Figura 23 Planta sedimentador.....	85
Figura 24 Corte sedimentador.....	86
Figura 25 Dimensiones bandejas .....	89

Figura 26 Esquema bandejas de aireación .....	95
Figura 27 Dimensiones tanque de almacenamiento.....	99
Figura 28 Corte tubería desagüe y alivio .....	102
Figura 29 Equipo de laboratorio .....	103

## 1. Introducción

“El acceso a agua potable es un derecho fundamental para todas las personas, sin excepción, y el municipio de Nocaima Cundinamarca, aunque actualmente cuenta con acueducto, las condiciones actuales no permiten proveer agua potable suficiente; sobre todo en temporada de verano, que se da entre el mes de julio y el mes de agosto, el caudal ( $Q$ ) en las fuentes de captación disminuye su volumen ocasionando racionamientos que podrían ser prolongados en los próximos años.

Este trabajo aportará sugerencias a la infraestructura existente con el fin de mejorar el suministro de agua potable a la población. Debido a esto se realizó el diseño en su totalidad, utilizando información recogida directamente con la entidad que administra el acueducto, en el archivo municipal e información censal realizada por el gobierno nacional en los años 2005 y 2018. Por último, se pretende que este trabajo sea de utilidad para estudiantes interesados en el diseño de acueductos y para el municipio de Nocaima, acogiendo en lo posible estas mejoras e implementarlas en un futuro cercano.

## 2. Planteamiento del problema

El municipio de Nocaima cuenta con un acueducto que tiene más de 3 décadas en servicio, sin embargo, en la actualidad el volumen de almacenamiento del acueducto está en su justa medida; adicionalmente en época de verano el caudal de las quebradas de donde se capta el agua disminuyen su caudal por efectos de las sequias, esto podría llevar a establecer recortes en el suministro de agua potable según sea la situación del momento.

Por otra parte, el municipio cuenta con un sistema de bombeo desde la quebrada Natautá que está por debajo del nivel medio del mar del municipio, a 900 m, y este se activa en temporadas de verano, encareciendo los costos de operación del acueducto.



Bajo este contexto, se planteó el siguiente problema:

*“El consumo total promedio de agua potabilizada en Nocaima es de 240 m<sup>3</sup>, diarios (24 horas) para una población de 847 suscriptores, (ver tabla 1); entre tanto que el volumen de aprovisionamiento del tanque es de 250 m<sup>3</sup>, quedando una reserva de 10 m<sup>3</sup>. Bajo estas condiciones el acueducto está en funcionamiento 24 horas al día posibilitando esto que en temporada seca se establezcan racionamientos en la población”.*

Según el informe de gestión 2021 de la empresa Emsergualiva S.A.S – E.S.P a diciembre del año 2021, “la cobertura del acueducto es del 100% aproximadamente en la zona urbana, y en zona rural tiene una cobertura aproximada del 5%”.

**Tabla 1**

*Número de suscriptores detallado 2021*

Servicio	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Comercial	Industrial	Oficial
<b>Acueducto</b>	23	407	339	39	1	38
<b>Total suscriptores</b>						<b>847</b>

Nota. [https://esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas.micolombiadigital.gov.co/sites/esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas/content/files/000105/5207\\_infome-de-gestion-2021.pdf](https://esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas.micolombiadigital.gov.co/sites/esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas/content/files/000105/5207_infome-de-gestion-2021.pdf)

*¿Podrá el municipio de Nocaima con la capacidad instalada de almacenamiento abastecer al municipio en temporada de verano?*

Es por ello que este trabajo pretende aportar el resultado de la evaluación de las condiciones actuales del acueducto de Nocaima, identificando brechas de mejora frente a un diseño propuesto que se plantea en el desarrollo de este ejercicio, arrojando como resultado final recomendaciones de mejoras del acueducto municipal.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar las condiciones actuales del acueducto municipal de Nocaima Cundinamarca, con el fin de sugerir mejoras, buscando optimizar el diseño existente para su sostenibilidad y poder suministrar agua potable a la población futura proyectada.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la condición actual de la tubería de conducción
- Evaluar condiciones actuales del tanque de almacenamiento
- Evaluar si el acueducto cuenta con un laboratorio de análisis del agua

### **4. Justificación**

Este trabajo consistió en proponer recomendaciones para poder mejorar el acueducto en alguna de sus fases en el proceso del tratamiento del agua potable, sobre todo en su capacidad de almacenamiento; dado que la capacidad instalada actualmente no será suficiente para soportar una baja de caudal de las quebradas que surten al municipio en época de verano. Por otra parte, se busca garantizar que la población futura residencial, y comercial del municipio pueda contar con un servicio de acueducto óptimo y buena calidad de agua potable.

Con mejoras en el acueducto no sólo la población se verá beneficiada sino su entorno, pues las rondas de las quebradas La Moya, y El Tigre que son las principales fuentes de abastecimiento del municipio, en todo momento serán cuidadas y conservadas mediante reforestación y limpieza con programas de manejo ambiental, de acuerdo con lo identificado en la visita de campo al acueducto del municipio, con el fin de preservar su entorno ecosistémico, evitando así que en época de verano las quebradas se sequen o disminuyan su caudal drásticamente.

## **5. Antecedentes**

Históricamente muchas poblaciones de Colombia han tenido problemas de acceso al agua potable; a pesar de ser Colombia un país con un recurso hídrico importante, el municipio de Nocaima Cundinamarca no ha sido la excepción; su ubicación geográfica no le favorece, está caracterizada por accidentes geográficos marcados, por topografía fuerte y zonas de ladera pronunciadas; dadas estas condiciones geográficas las grandes fuentes de agua como ríos que pudieran abastecer el acueducto, están por debajo del nivel medio del mar del municipio; siendo el caso del Río Negro y Río Tibia que están aproximadamente a 850 msnm. Mientras que el municipio está a 1.100 msnm (Alcaldía municipal de Nocaima, 2017). Recurriendo entonces a fuentes de agua más pequeñas, como quebradas que rondan el municipio para la captación.

El municipio ha recurrido a varias fuentes superficiales para la captación a lo largo de la existencia del acueducto, tales como: las quebradas Juncal, El Edén, La Rochela, San Juanito, San Cayetano, El Tigre, La Moya, Natautá, entre otras; estas tres últimas son las que actualmente están en servicio. El Tigre y La Moya conducen por gravedad y la quebrada Natautá por bombeo, esta última entra en operación en época de verano; siempre y cuando el caudal de las otras quebradas disminuya. Por otra parte, el departamento de Cundinamarca ha considerado la posibilidad de construir un acueducto regional para la provincia del Gualivá, a la cual pertenece el municipio de Nocaima, incluido dentro del plan departamental de agua, PDA, con el fin de garantizar el abastecimiento a la región.

## **6. Alcance**

Este trabajo se realizó específicamente sobre la cabecera municipal de Nocaima Cundinamarca. Se realizó la evaluación de las condiciones actuales del acueducto municipal de Nocaima, realizando primero el levantamiento de la situación actual del acueducto, y las

necesidades del municipio; con esta información se realizó un diseño propuesto del acueducto hasta su tanque de almacenamiento, tomando como base la población actual y futura calculada. La información recolectada en el archivo del municipio, 2 visitas a la planta y a las zonas de captación del acueducto, información de censos obtenida en la página web del departamento administrativo nacional de estadísticas DANE. Con toda esta información se realizaron proyecciones; se investigó, verificó y plantearon recomendaciones para mejorar condiciones del diseño actual, de tal manera que, tanto la actual población como la futura puedan disfrutar de un servicio de acueducto óptimo, que cuente con una capacidad de almacenamiento que pueda satisfacer las necesidades básicas de agua potable.

## **7. Marco referencial**

### **7.1. Marco conceptual**

La línea de investigación dentro de las que se enmarcó el proyecto, hace referencia al tratamiento de agua para consumo humano; que son cubiertas por las ciencias básicas, ciencias de la ingeniería, e ingeniería aplicada. Así como en la reglamentación vigente, *como la ley 330 de 2017, el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS)*; especialmente *el título B*, además de ello, la aplicación de aquellos conceptos y aprendizaje durante el desarrollo como estudiante de ingeniería civil. Esto esencialmente con el fin de poner al servicio de la comunidad todo lo aprendido en la universidad con el fin en sugerir mejoras en el acueducto actual.

A continuación, se relacionarán algunos conceptos, pertinentes en el desarrollo de todo acueducto.

## 7.2. Marco teórico y estado del arte

Si bien es cierto que el acceso a agua potable es un derecho fundamental, reconocido así por la Organización de las Naciones Unidas, en adelante (ONU), en el año 2010. *“todos los seres humanos tienen derecho a acceder a una cantidad de agua suficiente para consumo y uso doméstico”*; (Naciones Unidas Asamblea general, 2010), la (ONU) ha instado a las naciones a perfeccionar los mecanismos económicos, técnicos, logísticos y jurídicos para poner en marcha planes para el acceso al agua potable para consumo humano. Esto lo ha hecho de la mano de distintas organizaciones como el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (Unicef) por sus siglas en inglés. La Organización Mundial de la Salud (OMS) por sus siglas en inglés; entre otras que han trabajado en forma activa en pro del acceso al agua.

En Colombia la Corte Constitucional a través de la sentencia número *Sentencia T-740/11* del 3 de octubre de 2011 (Corte Constitucional, 2011), ratifica lo establecido por la (ONU), de tal manera que es una obligación del Estado colombiano permitir el acceso al agua potable de manera digna.

Entre tanto entidades como la Defensoría del Pueblo de Colombia en el año 2005 hizo un *“diagnóstico sobre calidad de consumo para consumo humano”* en 31 departamentos de Colombia, no hay información del departamento del Tolima, se encuestaron 1102 municipios, pero sólo 955 hicieron reporte de la información solicitada donde evaluó parámetros físico-químicos, microbiológicos con base en el decreto 475 de 1998. (Defensoría del Pueblo, 2006). Adicionalmente el Ministerio de Salud y Protección Social realiza periódicamente un *“informe nacional de calidad del agua para consumo humano inca”* donde se pone de manifiesto la calidad del agua que consumen los colombianos. (social, 2013).

Entre tanto, en el municipio de Nocaima el acueducto actual, planta convencional; fue construido en 1986, según indica el informe de gestión de la vigencia 2021 de la empresa de servicios públicos S.A.S – E.S.P, Emsergualiva, adicionalmente como se manifiesta en el informe textualmente: “La única optimización a la que ha sido sometida fue en la vigencia 2019 mediante contrato de obra N° 200 del 22 de diciembre del 2018, con el contratista Serviacueducto S.A.S”(Pajarito Correa, 2021)

Según informe de la contraloría de Cundinamarca (2019), “en el departamento existen 997 fuentes abastecedoras de las cuales 226 son para captación en zonas urbanas, de las cuales 188 son fuentes superficiales, 32 son fuentes subterráneas y 6 son de otro tipo” (p. 11). Nocaima está enmarcada en la captación de fuentes superficiales, como ya se mencionó anteriormente cuenta con tres fuentes superficiales que son quebrada El Tigre, quebrada La Moya y quebrada Natautá. Más adelante se mencionará la hidrografía del municipio.

Por otra parte, a nivel académico se han desarrollado distintos trabajos abordando sistemas de acueductos para poblaciones pequeñas o sistemas de acueductos veredales o comunitarios similares a los del municipio de Nocaima, en la siguiente tabla se relacionan algunos:

**Tabla 2**

*Relación de trabajos similares*

Título	Autores	Año	Universidad	Descripción
DISEÑO HIDRÁULICO Y SANITARIO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUA POTABLE EN LA FINCA AVÍCOLA BUENA VISTA (CÁQUEZA-CUNDINAMARCA)	ÁLVAREZ HERNÁNDEZ ANDREA CATALINA VARGAS RUBIANO HEIDY TATIANA	2020	Universidad Militar Nueva Granada	propone un diseño preliminar para el tratamiento de agua potable en la Finca Avícola Buena Vista ubicada en el municipio de Cáqueza, Cundinamarca, donde actualmente no existe un sistema de potabilización
DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO LA CAPILLA DEL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS	DANIEL ALBERTO LERMA ARIAS KEVIN SANTIAGO HOYOS GARCÍA DANIEL JIMÉNEZ RIVAS CARLOS FELIPE MUÑOZ MUÑOZ	2014	Universidad libre, seccional Pereira	se elabora un diagnóstico técnico del acueducto de la capilla, en el municipio de dos quebradas, en el departamento de Risaralda, aplicando la normatividad existente actual para realizar dicho diagnóstico

PROPUESTA DE DISEÑO DE LA CAPTACIÓN, LÍNEA DE ADUCCIÓN, DESARENADOR Y LÍNEA CONDUCCIÓN DEL RIO MOGOTICOS, PARA LA RED ALTERNA DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA CABECERA MUNICIPAL DE SAN GIL SANTANDER.	SANTOS GARCÍA DIANA CECILIA	2015	Universidad la gran Colombia	Este proyecto propone un diseño que permita para la conducción y aducción de agua del rio Mogoticos acueducto San Gil, el cual permita la llegada de este a la planta de tratamiento para hacerle su debido proceso y luego ser distribuida a la población.
DIAGNOSTICO Y ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DE LA VEREDA DE CHACUA DEL MUNICIPIO DE SIBATÉ	JAIRO DANIEL HERNANDEZ JIMENEZ JUAN ESTEBAN GARCIA PEREZ	2015	Universidad de la Salle	Este proyecto, realizó un diagnóstico del sistema de acueducto de la vereda de Chacua (Sibaté), enfocado a identificar el funcionamiento del sistema, específicamente las redes de aducción, conducción y distribución. Comparando la capacidad actual del sistema para suministrar el servicio eficientemente en cuanto a calidad y continuidad, según los datos de crecimiento poblacional, dotación neta, demanda de agua, oferta hídrica, eficiencia de tratamiento, capacidad de suplir la demanda y obras de adecuación a corto y mediano plazo del sistema

*Nota.* diseño propio

Finalmente, para la realización de los cálculos de este proyecto, se procedió con base en lo visto y aprendido en la materia acueducto y alcantarillado de octavo semestre. Videoconferencias y clase presentadas y dictadas por el profesor, ingeniero Alejandro Quijano Ardila. (Quijano Ardila, 2020)

### 7.3. Marco normativo

Con respecto a la normatividad colombiana acerca del agua para el consumo humano existen varios decretos, leyes, resoluciones, circulares, reglamentos. Entre otros se pueden mencionar, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), siendo el *título B* donde establecen los parámetros de diseño de un acueducto. Y el *título C* donde se establecen las directrices para la potabilización del agua. También se tiene en cuenta la resolución 330 del 8 de junio de 2017, que en su artículo uno expresa lo siguiente: **ARTÍCULO 1. OBJETO.** La presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. (p.2)

Además, el Decreto 1575 de 2007 “*Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*”; 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*”; ley 373 de 1997 “*Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua*”; decreto 3930 de 2010, entre otros, que ayudan a que el agua para consumo humano se encuentre dentro de los estándares de calidad establecidos y que la población tenga fácil acceso a este recurso.

Otras normas a tener en cuenta son:

- Decreto 2105 de 1983
- Decreto 1594 de 1984
- Normas técnicas colombianas NTC
- Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10
- International association for testing and materials - ASTM
- American concrete institute – ACI
- Instituto colombiano de productores de cemento – ICPC
- Ley 80 de 1993
- Ley 99 de 1993
- Constitución Política de Colombia de 1991
- Resolución 2397 de 2011

#### **7.4. Marco geográfico**

El municipio de Nocaima está ubicado en el departamento de Cundinamarca, hace parte de la provincia del Gualivá, según información suministrada por la alcaldía, y así se establece en la cartografía de Colombia el municipio se enmarca dentro de las siguientes coordenadas:

$$\begin{array}{ll}
 X_{min}: 960.000 & E X_{max}: 972.000 \\
 EY_{min}: 1.046.000 & N y_{max}: 1.057.000
 \end{array}$$

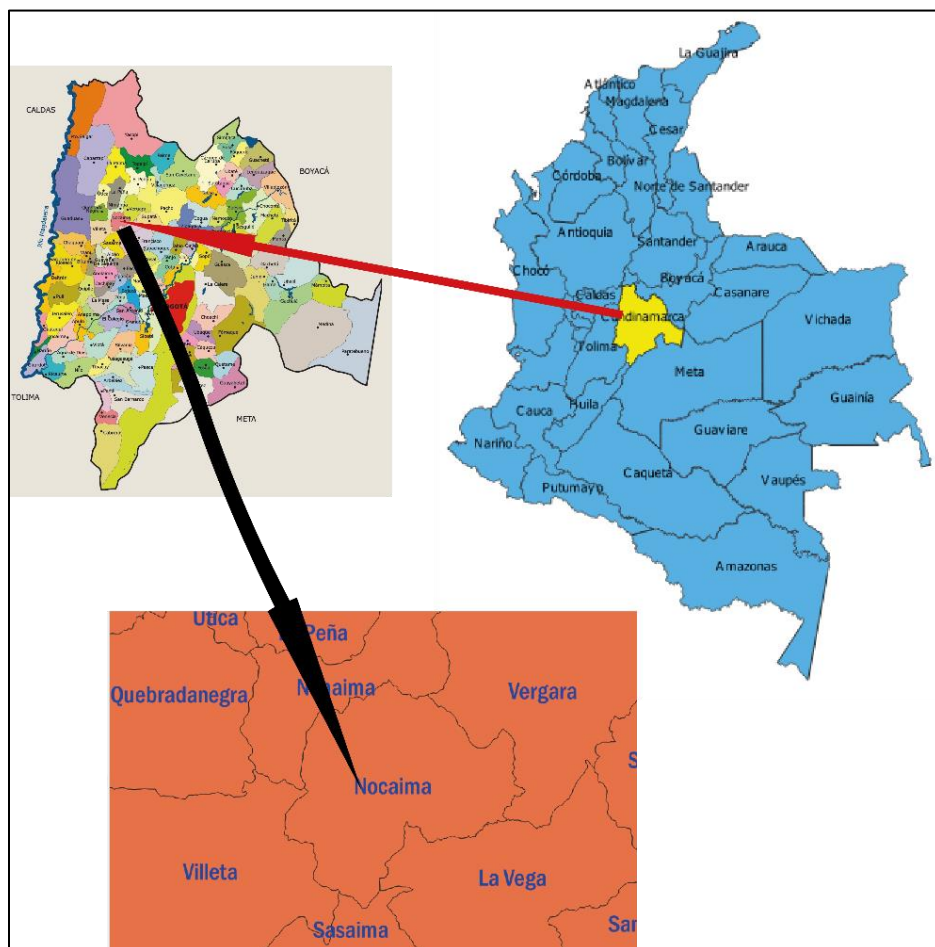
Los municipios con los que colinda Nocaima son los siguientes: por el norte, con Nimaima y Vergara, por el sur, con la Vega y Sasaima. Por el oriente, con Vergara y La Vega y por el occidente, con Villeta y Nimaima. La extensión de Nocaima es de 69 Km<sup>2</sup>, donde 3 Km<sup>2</sup>,



corresponden al casco urbano y 66 Km<sup>2</sup> hacen parte de la zona rural. Nocaima se encuentra a una altura de 1.100 msnm, con una temperatura media de 24° C. en la mayor parte de su extensión; y una pluviosidad al año aproximada de 1760 mm. El municipio se encuentra a una distancia de la capital de Colombia, Bogotá DC, de 66 Km.(Alcaldía municipal de Nocaima, 2017)..

### Figura 1

#### Localización municipio de Nocaima



Nota.

[http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas\\_contenidos/csecreplanea\\_mapas\\_mapasdepart](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas_contenidos/csecreplanea_mapas_mapasdepart)

### 7.5. Marco hidrográfico

El municipio de Nocaima hace parte de la cuenca del Rio Negro, este rio nace en el municipio de Pacho Cundinamarca, se encuentra mayormente en la zona occidental de la

cordillera oriental, con un área de 4446 km<sup>2</sup>, este río hace parte de la hoya del Río Magdalena, y tributa sus aguas al río Magdalena, desembocando a la altura de Puerto Salgar. Adicionalmente el municipio se encuentra en la sub cuenca media del Río Tobia, en la parte baja del municipio a 850 msnm, el cual tributa sus aguas al Río Negro, al Río Tobia le tributa aguas la quebrada Natautá, la cual recibe aguas de la quebrada La Moya una de las cuales hace parte del objeto de este trabajo; la quebrada El Tigre que también hace parte del objeto de este trabajo, tributa sus aguas al río Pizaima, las aguas de la quebrada El Tigre es compartida con el municipio de Vergara lo cual dificulta de alguna manera el manejo y la protección de la quebrada. Estos ríos y quebradas reciben aguas de otras fuentes superficiales como se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Red hidrográfica el municipio de Nocaima*

CORRIENTES MENORES	TRIBUTARIOS	SUBCUENCA 1	SUB CUENCA	CUENCA	HOYA HIDROGRAFICA
Corrientes	Quebrada Honda	Quebrada La Moya	Río Tobia	Río Negro	Río Magdalena
	Quebrada Tumbamuches				
	Quebrada Salsipuedes	Quebrada Natautá			
	Quebrada Cañutal				
	Quebrada El Chifladero				
	Quebrada del Bosque	Quebrada El Tigre	Río Pizaima		
	Quebrada Guacharaca				
Quebrada San José					
Quebrada Purgatorio					

*Nota. fuente propia*

Como se ha mencionado anteriormente, estas fuentes de agua sufren problemas por la disminución del caudal en época de verano, pero también existe otro problema latente, y es, el vertimiento de residuos contaminantes; como aguas residuales sin tratamiento previo, basuras,

pesticidas producto de las fumigaciones de los cultivos, como café o caña de azúcar.

Adicionalmente la deforestación continua, quema y tala de árboles producto de construcción de viviendas rurales, y extensión de cultivos. Sin embargo, en los últimos años se han intervenido las rondas de las quebradas con el fin de evitar mayor deterioro en las fuentes de agua.

En cuanto a las características de las quebradas objeto de este trabajo se puede resaltar lo siguiente:

#### **7.5.1. Subcuenca quebrada La Moya.**

La subcuenca tiene una extensión de 9.2215 Km<sup>2</sup>, según el EOT del municipio del año 2000, buena parte de la quebrada La Moya pasa por casco urbano del municipio. Debido a esto en el año 2015 la CAR profirió la *resolución 2342 del 29 de octubre de 2015*, donde se declara zona de protección la ronda de la quebrada; 30 metros a la izquierda y 30 metros a la derecha, con el fin de conservar y mantener el caudal de la quebrada en toda temporada. Adicionalmente el caudal que se está tomando de la quebrada es de 4.5 L/s, la quebrada tiene una temperatura promedio de 18° C, conforme a la información medida en campo. (ver tabla 3)

**Tabla 4**

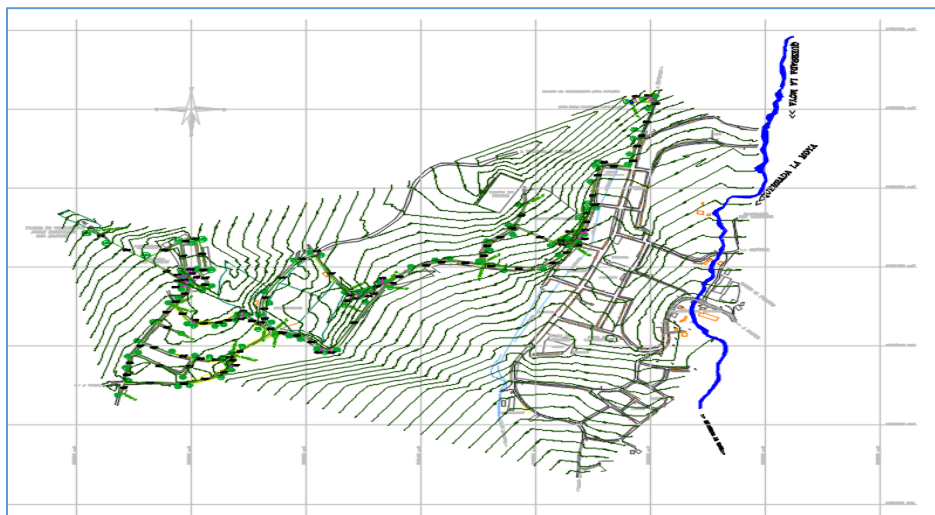
*Temperatura promedio quebrada la moya*

LECTURA	TEMPERATURA °C	LECTURA	TEMPERATURA °C
1	19,8	6	19,9
2	19,9	7	19,9
3	19,9	8	19,9
4	19,9	9	19,9
5	19,8	10	19,9
<b>PROMEDIO</b>		19,9	

*Nota.* Datos tomados en campo

## Figura 2

### Ubicación quebrada La Moya



*Nota.* Planos topográficos suministrados por la oficina de planeación alcaldía de Nocaima.

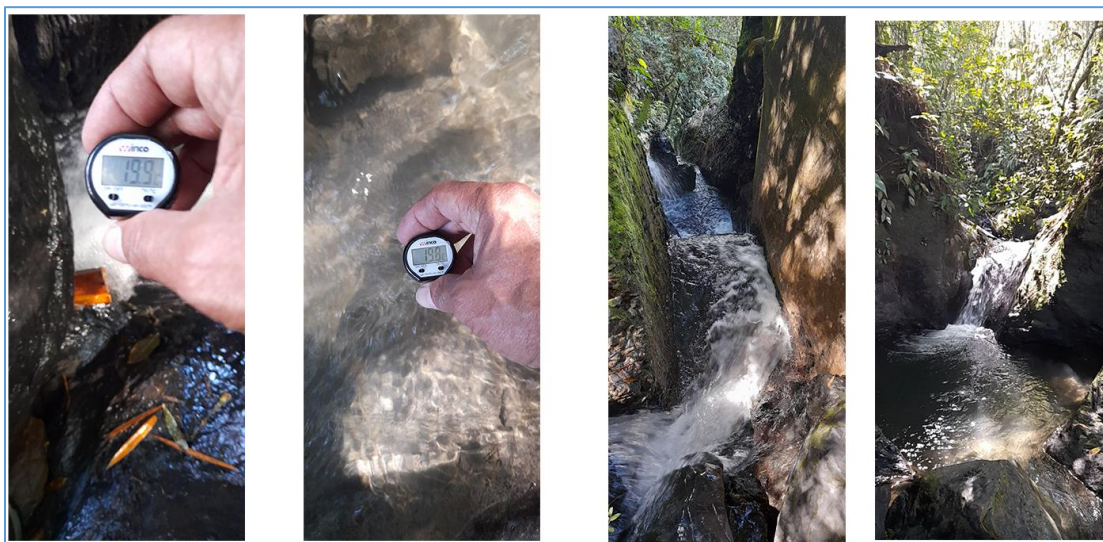
La zona de captación se encuentra en las siguientes coordenadas planas origen Bogotá.

$$X = 967029.3665 \quad Y = 1053015.6455$$

A una altura de 1185 msnm.

## Figura 3

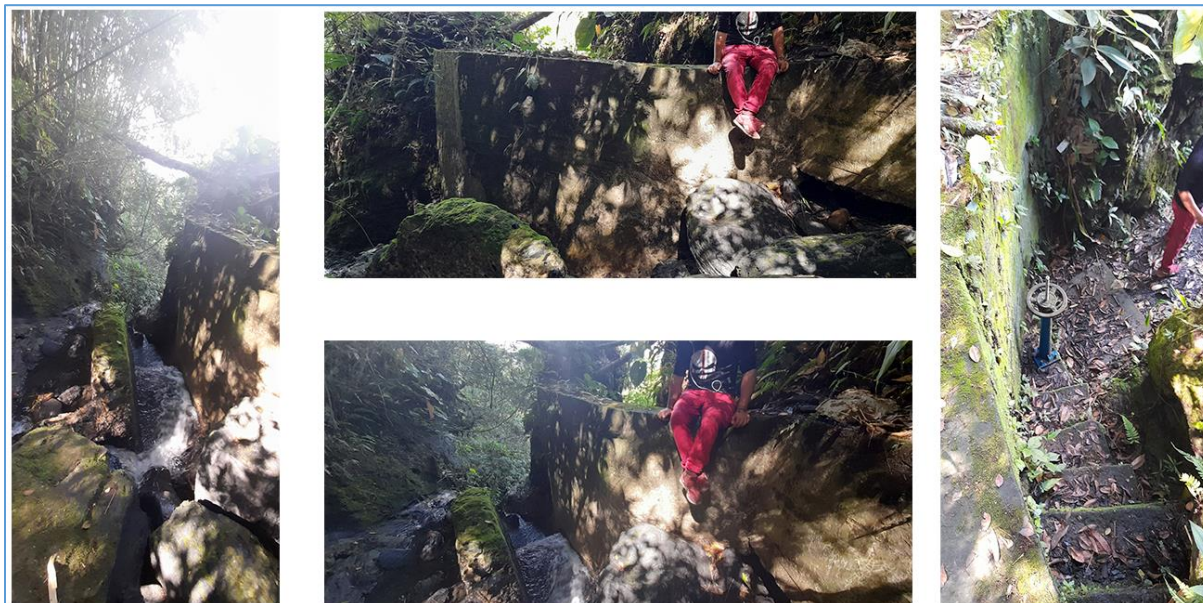
### Toma temperatura quebrada



*Nota.* Información tomada en campo

## Figura 4

### *Bocatoma existente quebrada La Moya*



*Nota.* Información tomada en campo

#### **7.5.2. Subcuenca quebrada El Tigre**

Esta subcuenca es de aguas compartidas, dado que se encuentra entre los municipios de Vergara, Nimaima y Nocaima. Según el EOT mencionado esta subcuenca tiene una extensión de 11.6472 Km<sup>2</sup>, esto es el 16.88% del territorio del municipio; la zona de captación se encuentra en las siguientes coordenadas planas origen Bogotá.

$$X = 968897.4905 \quad Y = 1054421.4930$$

Y a una altura de 1500 msnm. El caudal aportado por esta quebrada es de 4 L/s; al igual que la quebrada La Moya presenta los mismos problemas por la proliferación de cultivos, construcción de viviendas de descanso, deforestación, algunas empresas que surten agua de la quebrada y adicionalmente la bocatoma de fondo existente, es compartida tanto para el municipio, como para algunas veredas cercanas. Cabe resaltar que la diferencia de temperatura entre las dos

quebradas es de 1 grado Celsius, para esta quebrada se obtuvo el siguiente promedio de temperatura. (Ver tabla 4).

**Tabla 5**

*Temperatura promedio quebrada El Tigre*

LECTURA	TEMPERATURA °C	LECTURA	TEMPERATURA °C
1	18,8	6	18,8
2	18,8	7	18,8
3	18,8	8	18,8
4	18,75	9	18,8
5	18,8	10	18,8
<b>PROMEDIO</b>		18,8	

*Nota.* Datos tomados en campo

**Figura 5**

*Bocatoma existente quebrada El Tigre*



*Nota.* Información tomada en campo

## Figura 6

### Localización captaciones existentes



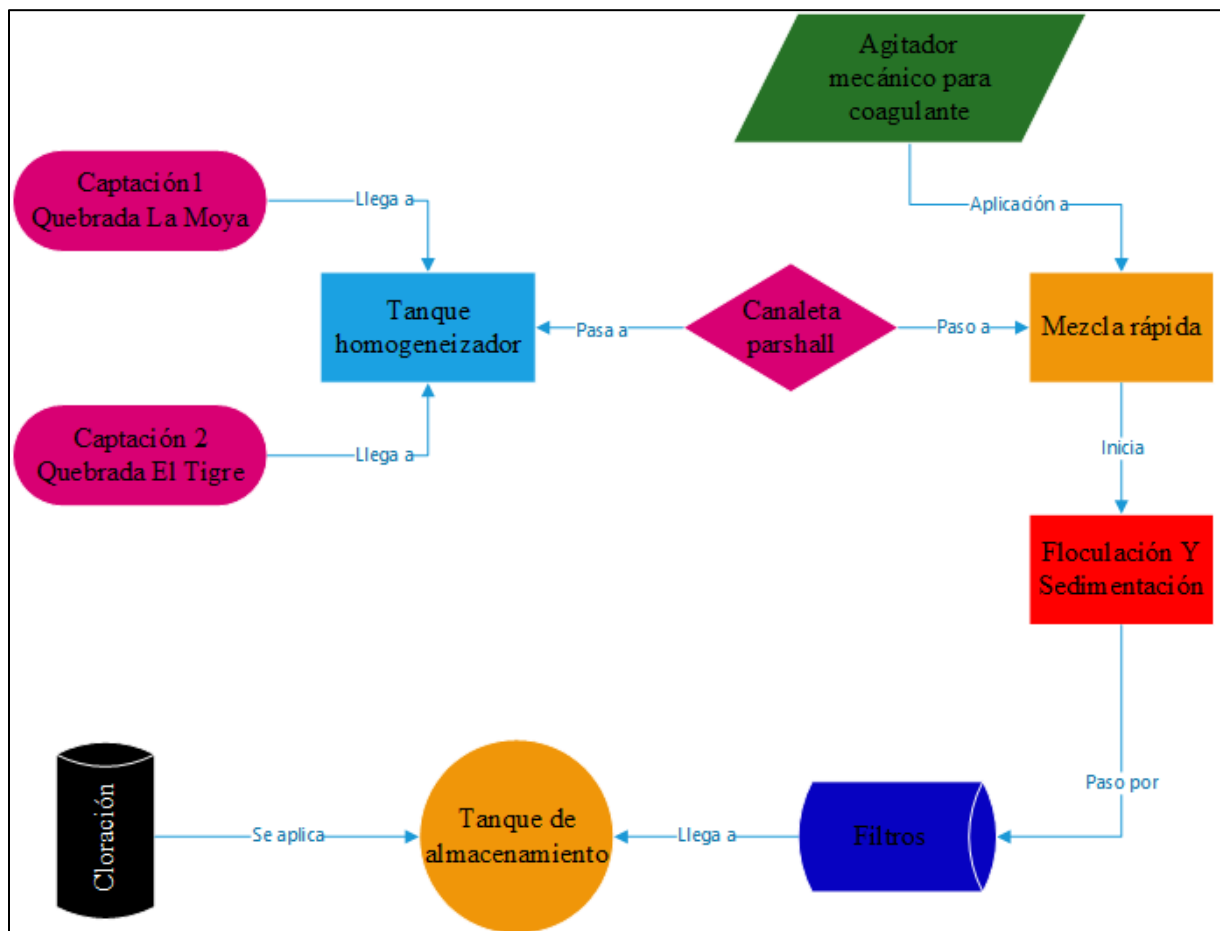
*Nota.* Google Earth pro versión de escritorio Windows

### 7.6. Características actuales del acueducto municipal

El municipio de Nocaima cuenta con una PTAP convencional, en el pasado existió una planta compacta, la cual actualmente está fuera de servicio; como ya se mencionó la captación es en las quebradas, El Tigre y La Moya, el agua es conducida a través de mangueras de riego de cultivos de 3 pulgadas, estas mangueras son resistentes y se adaptan al terreno fácilmente. El método que se utiliza para aliviar la presión generada durante la conducción, es realizar perforaciones cada cierta distancia; así que esta práctica puede generar grandes pérdidas durante la conducción. En el siguiente diagrama se presenta el proceso de tratamiento.

**Figura 7**

*Diagrama de flujo funcionamiento PTAP*

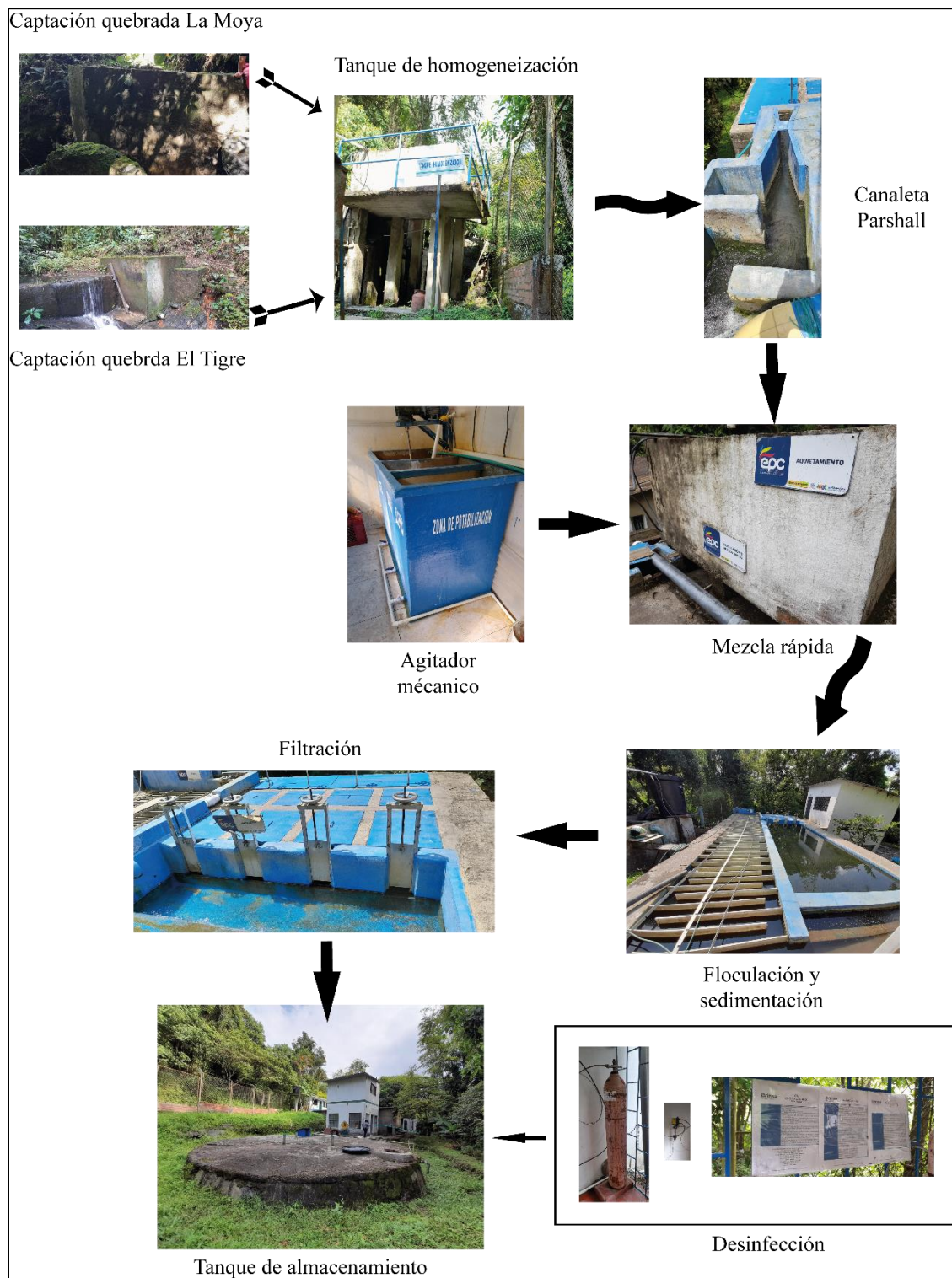


*Nota. Diseño propio*



Figura 8

## Diagrama de flujo PTAP



Nota. Diseño propio

El caudal que actualmente se trabaja es de 8 L/s, es la suma de 4 L/s de la quebrada La Moya y 4 L/s de la quebrada El Tigre, no fue posible de medir este caudal de una manera precisa, esta fue la información transmitida por el operario de la planta de tratamiento; para el diseño del acueducto se utilizó  $Q = 8 \text{ L/s}$ .

### 7.7. Información poblacional

Es primordial para el diseño de un acueducto su población, para Colombia la información utilizada en este tipo de diseños son los censos poblacionales elaborados por el departamento nacional de estadísticas (DANE), para este trabajo se tomaron los censos de los años 1993, 2005 y 2018, respectivamente.

**Tabla 6**

*Censos poblacionales 1993-2005-2018*

Censo	Nombre de municipio	Población		
		Población Total	Población Cabecera	Población Resto
1993	Nocaima	9489	1534	7955
2005	Nocaima	7.734	1.842	5.892
2018	Nocaima	6092	1918	4174

*Nota.* tomado de DANE: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/informacion-tecnica>.

### 7.8. Temperatura y elevación.

En las tablas 3 y 4 se registró el promedio de las temperaturas de las dos quebradas que surten el acueducto actualmente.

**Tabla 7***Temperatura °C y elevación msnm*

CAPTACION	ELEVACION (msnm)	TEMPERATURA °C
Quebrada La Moya	1185	19,9
Quebrada El Tigre	1500	18,8

Nota. Datos tomados en campo

## 8. Memorias de cálculo y diseño

A continuación se desarrolla el diseño del acueducto

### 8.1. Cálculo de la población futura por el método geométrico.

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{(T_f - T_{uc})}$$

P <sub>f</sub>	Población proyectada
P <sub>uc</sub>	Población del último censo
T <sub>uc</sub>	Año del último censo
P <sub>ci</sub>	Población del censo inicial
T <sub>ci</sub>	Año del censo inicial
T <sub>f</sub>	Año de la proyección
r	Tasa de crecimiento anual

### 8.2. Cálculo de la tasa de crecimiento de la población

$$r = \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\left( \frac{1}{T_{uc} - T_{ci}} \right)} - 1$$

$$r = \left( \frac{1918}{1842} \right)^{\left( \frac{1}{2018 - 2005} \right)} - 1$$

$$r = 0.311\%$$

T<sub>f</sub>, según la resolución 330 del 8 de junio de 2017, capítulo 1, artículo 40 dice lo siguiente:

**ARTICULO 40. PERIODO DE DISEÑO.** para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como *periodo de diseño 25 años*.

### 8.3. Cálculo de Tf

$$T_f = 2021 + 25$$

$$T_f = 2046 - 2018$$

$$T_f = 28 \text{ años}$$

### 8.4. Cálculo de la población futura reemplazando r y Tf

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{(T_f - T_{uc})}$$

$$P_f = 1918 \text{ hab} * (1 + 0.311)^{(2046 - 2018)}$$

$$P_f = 3764.64 \text{ hab}$$

$$P_f \cong 3765 \text{ hab}$$

## 9. Nivel de complejidad

**Tabla 8**

*Nivel de complejidad del sistema (Tabla A.3.1. RAS 2000)*

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana <sup>(1)</sup> (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios <sup>(2)</sup>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12000	Baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

*Nota.* Extraída del título A de la norma RAS 2000

Entonces de la tabla 7 y la población futura se tiene que:

$P_f \cong 3765 \text{ hab}$ , está entre 2501 y 12500 hab. Por lo tanto, el nivel de complejidad es:

⇒ **Nivel de complejidad: medio.**

## 10. Dotación bruta (Db)

$$d_b = \frac{d_{neta}}{1 - \%p}$$

Donde:

$d_b$  : dotación bruta

$d_{neta}$  : dotación neta

$\%p$  : pérdidas máximas admisibles

De acuerdo a la resolución 330 del 8 de junio de 2017

### Tabla 9

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

*(Tabla 1, Resolución 330 de 2017)*

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

*Nota 1. Resolución 330 de 2017*

El municipio de Nocaima Cundinamarca, está a **1100 m.s.n.m.** y se encuentra en el rango de

1000 – 2000 m.s.n.m. la dotación neta máxima será:

$$d_b = \frac{130l}{hab * día}$$

### Tabla 10

*Porcentajes máximos admisibles de pérdidas (Tabla 2.4, título B sección II)*

Porcentajes máximos de pérdidas admisibles técnicas	
Nivel de complejidad del sistema	Porcentajes máximos admisibles de pérdidas técnicas para el cálculo de la dotación bruta
<b>Bajo</b>	40%
<b>Medio</b>	30%
<b>Medio Alto</b>	25%
<b>Alto</b>	20%

*Nota. RAS 2000, título B, Sección II*

El nivel de complejidad es **medio**, el porcentaje de pérdidas %p es 30%. Teniendo en cuenta que las RAS establece que este %p no debe superar el 25%. El porcentaje encontrado es de 30%, es diferente al establecido de 25%. Así que se toma lo que sugiere la norma:

$$\%p = 25\% = 0.25$$

Reemplazando en la fórmula anterior:

$$D_{bruta} = \frac{130 \frac{l}{hab * día}}{1 - 0.25}$$

$$D_{bruta} = 173 \frac{l}{hab * día}$$

### 10.1. Dotación futura bruta (Df bruta)

$$D_f bruta = D_{bruta} * (1 + p)^n$$

Donde:

$n$  : periodo de proyección de la planta, es decir es igual  $T_f = 28$  años

$p$  : tasa de crecimiento de dotación (está entre 0.01 y 0.001) se asumió  $p = 0.001$

$$D_f bruta = 173 \frac{l}{hab * día} * (1 + 0.001)^{28}$$

$$D_f bruta = 178 \frac{l}{hab * día}$$

### 11. Caudal medio diario (Qmd)

Donde:

Qmd : demanda media residencial en 24 horas

Qmr : demanda media por uso residencial

Qou : demanda media por otros usos. Para 90% residencial se toma un valor de cero (0)

Ps : población servida o población futura  $P_f$

$D_f bruta$  : demanda futura bruta incluidas las pérdidas  $l/hab * día$

$$Qmr = \frac{P_s * D_f bruta}{86400s/día}$$

$$Qmd = Qmr + Qou$$

Donde  $Q_{ou}$  es igual a cero (0)

$$Q_{md} = \frac{3765 \text{ hab} * 178 \text{ l/hab} * \text{día}}{86400 \text{ s/día}}$$

$$Q_{md} = 8 \text{ l/s}$$

## 12. Caudal máximo diario (QMD)

### Tabla 11

Coeficiente de consumo máximo diario  $k_1$  (Tabla B 2.5 RAS 2000)

Coeficiente de consumo máximo diario $k_1$ , según el Nivel de Complejidad del Sistema	
Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario - $k_1$
Bajo	1.3
Medio	1.3
Medio Alto	1.2
Alto	1.2

Nota. Extraída del título B de la norma RAS

Nota: TABLA B.2.5, se hace esta referencia dado que fueron extraídas del título B de la norma RAS, en lo sucesivo se usarán diferentes tablas para la realización de los cálculos correspondientes.

De acuerdo a la resolución 330 del 8 de junio de 2017, los valores de  $k_1$  no pueden exceder los siguientes valores:

- Población  $\leq 12.500$  hab, =  $K_1 \leq 1.3$
- Población  $\geq 12.500$  hab, =  $K_1 \leq 1.2$

La  $P_f$  es 3765 hab y el nivel de complejidad es **medio**, por tabla  $k_1$  sería igual a 1.30, por la resolución 330 del 8 de junio de 2017 y la población servida o futura de  $3765 \leq 12.500$  hab, entonces  $k_1$  será igual a 1.30; está dentro de los lineamientos de la norma.

Reemplazando en la fórmula.

$$QMD = Q_{md} * K_1$$

$$QMD = 8 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 1.3$$

$$QMD = 10.4 \frac{l}{s} \Rightarrow QMD = 10 l/s$$

### 13. Caudal máximo horario (QMH)

**Tabla 12**

*Coefficiente de consumo horario k2 (Tabla 2.6 RAS 2000)*

Coeficiente de consumo máximo horario, k <sub>2</sub> , según el Nivel de Complejidad del Sistema y el tipo de red de distribución			
Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
<b>Bajo</b>	1.6	-	-
<b>Medio</b>	1.6	1.50	-
<b>Medio Alto</b>	1.5	1.45	1.4
<b>Alto</b>	1.5	1.45	1.4

*Nota.* Extraída del título B de la norma RAS

$$QMH = QMD * K_2$$

Donde:

QMH : caudal máximo horario

QMD : caudal máximo diario

K<sub>2</sub> : coeficiente de consumo máximo horario

Referido de la demanda máxima diaria (QMD)

[1] corresponde a diámetro de hasta 100 mm (4")

[2] corresponde a diámetro > 100 mm (4") y < 300 mm (12")

[3] corresponde a diámetro ≥ 3100 mm (12")

De la tabla 11, y nivel de complejidad **medio** y la red matriz con K<sub>2</sub> = 1 y por resolución

330/2017 y para K<sub>2</sub> indica:

- Población ≤ 12.500 hab, = K<sub>2</sub> ≤ 1.6
- Población ≥ 12.500 hab, = K<sub>2</sub> ≤ 1.5

K<sub>2</sub> = a 1 y la Población < 12.500 hab, = K<sub>2</sub> ≤ 1.6

K<sub>2</sub> = 1 ≤ 1.6 cumple

Reemplazando en la fórmula



$$Q_{MH} = Q_{MD} * K_2$$

$$Q_{MH} = 10 \text{ l/s} * 1$$

$$Q_{MH} = 10 \text{ l/s}$$

### 13.1. Diseño de caudal para bocatoma

**Tabla 13**

*Caudales de diseño (Tabla 2, resolución 330 de 2017)*

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

*Nota.* Extraída de resolución 330 de 2017. De la tabla No.12. Caudal de diseño, art 47 res

330/2017 y captación superficial, el caudal de diseño por fuente superficial. Hasta 2 veces QMD.

$$Q_{Diseñobocatoma} = 2 * Q_{MD} \Rightarrow 2 * 10 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 20 \text{ l/s}$$

$$Q_{Diseñobocatoma} = 20 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Diseñobocatoma} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 13.2. Diseño rejilla

$n = \text{No. de barras}$

$n + 1 = \text{No. de espacios}$

- Según RAS la separación entre barrotes debe ser entre 20 mm y 40 mm, para gravas finas
- La velocidad efectiva del flujo a través de la rejilla debe ser inferior a **0.15 m/s**, con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes.

$\phi$  barra: se asumió  $\phi = 12 \text{ mm} = 0.012\text{m}$

Z = separación entre barras, asumir 40 mm

$$\phi = 40\text{mm} = 0.04\text{ m}$$

B= ancho de la rejilla, asumiendo B= 0.50 m

### 13.3. Área de captación ( $A_c$ )

$$Q_{\text{Diseño}} = \text{Velocidad} * \text{Area de captación } (A_c)$$

$$(A_c) = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{\text{Velocidad}}$$

Según RAS 4.4.5.2, la velocidad efectiva del flujo a través de la rejilla debe ser inferior a 0.15 m/s, con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes.

Se asumió  $V=13\text{ m/s}$ , se tomó el  $Q$  de diseño como el de bocatoma

$$(A_c) = \frac{0.02\text{ m}^3/\text{s}}{0.13\frac{\text{m}}{\text{s}}} \Rightarrow (A_c) = 0.15\text{ m}^2$$

Según la RAS, el área efectiva de paso a través de las rejillas, será 2 veces el área necesaria para el ingreso del caudal de diseño.

$$\text{Area de captación efectiva } (A_{\text{Cefectiva}}) = 2 * (A_c)$$

$$A_{\text{Cefectiva}} = 2 * 0.15\text{m}^2$$

$$A_{\text{Cefectiva}} = 0.30\text{ m}^2$$

### 13.4. Número de barras y No. de espacios

$$A_{\text{Cefectiva}} = \text{No. espacios} * Z * B$$

$$0.30\text{ m}^2 = (n + 1) * 0.04\text{m} * 0.50\text{m}$$

$$(n + 1) = \frac{0.30\text{m}^2}{0.02\text{m}^2}$$

$$(n + 1) = 15\text{ espacios}$$

$$n = 15 - 1$$

$$n = 14\text{ barras } \phi = 12\text{mm}$$

Son 15 espacios y 14 barras

### 13.5. Área de la rejilla (AR)

$$AR = [(No. debarras * \varnothing barra) + (No. deespacios * Z)] * B$$

$$AR = [(n * \varnothing barra) + (n + 1) * Z] * B$$

$$AR = [(14 * 0.012m) + (15) * 0.04m] * 0.50m$$

$$AR = [0.40m^2]$$

### 13.6. Longitud de la rejilla (LT)

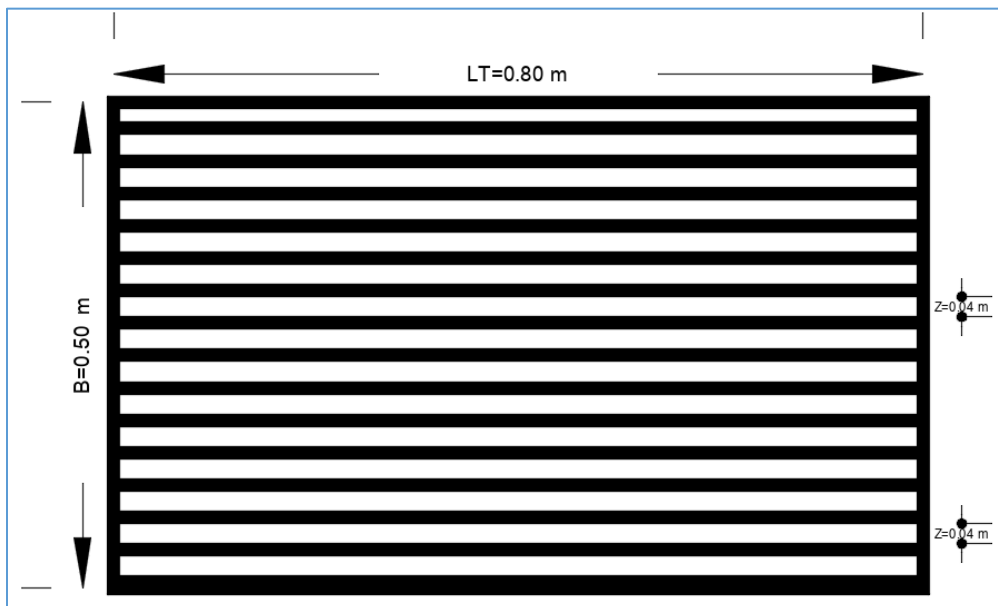
$$AR = LT * B \Rightarrow LT = \frac{AR}{B} \Rightarrow LT = \frac{0.40m^2}{0.50m} = 0.80m$$

$$LT = 0.80m$$

### 13.7. Dibujo de la rejilla

Figura 9

Esquema Rejilla



Nota. Diseño propio, dibujo sin escala

### 13.8. Pérdidas de la rejilla

En la ecuación de RAS B.4.1. Se tiene que  $h_m = k_m \frac{v^2}{2g}$ , donde:

$$k_m = \beta x \left( \frac{S}{b} \right)^{1.33}$$

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

$V$  : Velocidad media del flujo (m/s).

$h_m$  : Altura de pérdidas menores (m).

$k_m$  : Coeficiente de pérdidas menores (adimensional).

$B$  : Factor de forma (adimensional).

$S$  : Espesor de las barras (m).

$b$  : Separación entre barras (m).

El factor de forma  $\beta$  debe obtenerse de la tabla B. 4.5, en conjunto con la fórmula B. 4.1.

#### Figura 10

Factor de forma de la rejilla (Tabla B.4.5 RAS)

Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Figura B. 4.1 Diferentes formas de barrotos de rejillas

Nota. Extraída del título B de la norma RAS

Para el diseño se toma la forma de la barra redonda, la figura es G, donde  $\beta = 1.79$

$$k_m = \beta x \left( \frac{S}{b} \right)^{1.33}$$

$$k_m = 1.79x \left( \frac{0.012m}{0.040 m} \right)^{1.33}$$

$$k_m = 0.36$$

Reemplazando en:

$$h_m = k_m \frac{v^2}{2g}$$

$$h_m = 0.36 * \frac{\left( \frac{0.13m}{s} \right)^2}{2 * \left( \frac{9.81m}{s^2} \right)} = 3.1x10^{-4}m$$

$$h_m = 3.1 mm$$

### 13.9. Altura de la lámina de agua sobre la rejilla

$$Q = km * L * H^{\frac{3}{2}} \Rightarrow H = \left( \frac{0.02 \frac{m^3}{s}}{0.36 * 0.8m} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = 0.17m \approx 17 cm$$

### 13.10. Canal de aducción entre rejilla y desarenador

De la tabla N° 12 → Caudales de diseño → Para aducción → QMD

$$QMD = 10 L/s = 0.010 \frac{m^3}{s}$$

Para canales Abiertos se utiliza la ecuación de Manning:

$$\frac{Q * n}{\frac{1}{S^{\frac{2}{3}}}} = A * R_h^{\frac{2}{3}}$$

Para el canal y como parte del diseño se asumió el ancho del canal es 2 veces el alto del canal:

$$b = 2h$$

**Tabla 14**

*Coefficiente de rugosidad de Manning*

Material	Coefficiente de rugosidad, n
Asbesto cemento	0,010
Concreto liso	0,012
Concreto rugoso	0,014

<b>Ladrillo</b>	0,016
<b>Ladrillo vitrificado</b>	0,014
<b>Metal corrugado</b>	0,022
<b>Hierro fundido</b>	0,015
<b>Plástico</b>	0,009

*Nota.* Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Ricardo López Cualla, 2ª Ed.

Coefficiente de Manning para canal revestido en concreto esta entre 0.013 y 0.017:

$$\text{Concreto } n \rightarrow 0.014$$

$$QMD = 10 \frac{L}{s} \Rightarrow QMD = 0.010 \frac{m^3}{s}$$

$S \rightarrow$  Se tomó pendiente del canal entre 14 % y 16% para que no se retuvieran partículas en el fondo del canal

$$\text{Se asumió } S \rightarrow 16\% = 0.16$$

Reemplazando en:

$$h = 0.92 * \left( \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \Rightarrow h = 0.92 * \left( \frac{0.010 * 0.014}{0.16^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$h = 0.050m$$

Como factor de seguridad se aumentó entre 10% y 30% la altura del canal para construcción; se tomó 30%

$$0.050 * 0.3 = 0.065 m$$

$$h = 0.065 m, \text{ Para construcción}$$

se tiene que:

$$b = 2h$$

$$b = 2 * 0.050 m$$

$$b = 0.10m$$

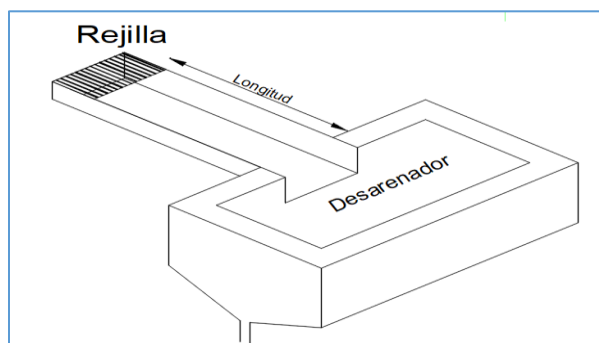
### 13.11. Velocidad horizontal o superficial

$$V_0 = \frac{Q_{MD}}{\text{Area}} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.050m * 0.10m} = 2.0 \frac{m}{s}$$

Según la norma RAS la velocidad horizontal debe ser  $\geq 0,5 \frac{m}{s}$ , entonces el diseño está dentro de los parámetros establecidos por la norma.

**Figura 11**

*Canal y desarenador*



*Nota.* Diseño propio, dibujo sin escala

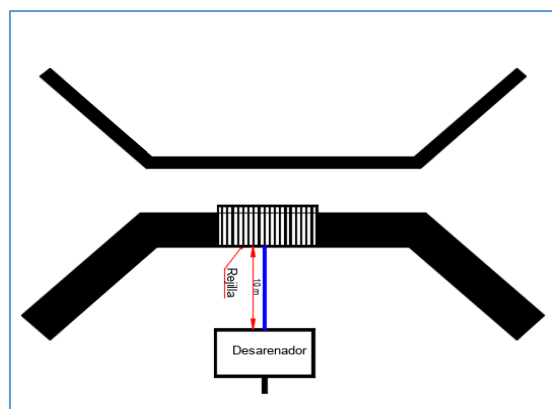
Se tomó una longitud del canal  $L=10m$  entre bocatoma y desarenador. Esta longitud, está asociada a las condiciones del terreno donde se construya la estructura.

$$V_{ascensional} = \frac{Q_{MD}}{\text{Area de fondo}} \Rightarrow V_{ascensional} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.050 * 10} = 0.02 \frac{m}{s}$$

### 13.12. Tubería de conducción entre rejilla y desarenador

**Figura 12**

*Rejilla y desarenador*



*Nota.* Diseño propio, dibujo sin escala

Por Hazen Williams se tiene:

$$Q = 0.2785 * C * D^{2,63} * S^{0,54}$$

$Q =$  caudal de diseño (QMD)

$D =$  Diámetro de la tubería(m)

$S =$  Pendiente de la Línea  $\rightarrow$  Pérdida de carga por unidad de longitud del conduto

$C \rightarrow$  C. Hazen Williams según el tipo de material

### Tabla 15

Coeficiente de Hazen William

Material	Coeficiente
Acero	90
Hierro fundido	100
PVC	80-140
Fibra cemento	128
Polietileno	150
Concreto	100-140
Cobre	130-140

Nota. Diseño Propio

Selección tubería PVC con coeficiente entre 80 – 140, se tomó  $C = 140$

$$\left(\frac{m}{m}\right) \rightarrow S = \frac{\Delta h}{L} \text{ Se asume: } S = 16\% = 0.16$$

$$L = 10m$$

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

$$\Delta H = S * L$$

$$\Delta H = 0.16 * 10m = 1.6 m$$

### 13.13. Diámetro de la tubería

$$D^{2,63} = \frac{Q_{MD}}{0.2785 * C * S^{0,54}}$$



$$D = \left( \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.2785 * 140 * 0.16^{0.54}} \right)^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = 0.063\text{m}$$

$$D = 3'' \text{ comercial} \approx 0.0762\text{m}$$

#### 13.14. Velocidad del agua en la tubería

$$V_o = \frac{Q_{MD}}{Area}$$

$$A_{3''} = \pi * (0.0762)^2 / 4$$

$$A_{3''} = 0.00456 \text{ m}^2$$

$$V_o = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00456 \text{ m}^2} = 2.19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la norma RAS, la velocidad horizontal debe ser mayor a 0,5 m/s. Cumple con los requerimientos solicitados por la norma.

#### 14. Desarenador

De B.4.6.3, de la norma RAS; velocidades en el desarenador, se tiene la formula B.4.3 ley de Stokes (régimen laminar)

$$V_s = \left( \frac{g}{18} \right) * \frac{P_g - P_f}{\mu} * dp^2$$

$V_s$  = velocidad de sedimentacion de las partículas

$g$  = aceleración de la gravedad  $\left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$

$P_g$  = densidad del grano  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

$P_f$  = densidad del fluido  $\left( 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$  Agua

$\mu$  = viscosidad del fluido a 19°C

$d_p$  = diámetro de la partícula (m)

Según resolución 0330 del 08 de junio de 2017, el peso específico de las partículas a remover será de  $2,65 \frac{gr}{cm^3}$  y la relación entre la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento será inferior a 20

$$\rho_p = 2650 \frac{kg}{m^3}$$

Debe cumplirse que:

$$\frac{V_o}{V_s} < 20 \rightarrow V_o < 20V_s \text{ y } V_o < 0,25 \frac{m}{s}$$

$V_o = \text{Velocidad horizontal}$

$V_s = \text{Velocidad sedimentación}$

El desarenador se debe diseñar para retener partículas de diámetro  $D_p \geq 0,1mm$

$D_p = \text{diametro de particula}$

$$dp = 0,0001m$$

Viscosidad del agua a 19° (T° C de la quebrada)

$$\mu_{19^\circ} = 0.001028 \frac{Kg}{m * s}$$

Densidad del Agua:

$$\rho_{Agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Aceleración de la gravedad:

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Entonces:

$$V_s = \left( \frac{g}{18} \right) * \frac{P_g - P_f}{\mu} * dp^2$$

$$V_s = \left(\frac{9.81}{18}\right) * \left[ \frac{2650 \frac{kg}{m^3} - 1000 \frac{kg}{m^3}}{0.001028 \frac{kg}{m * s}} \right] * 0.0001^2$$

$$V_s = 87.50 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

#### 14.1. Tiempo de retención del agua en el desarenador y tiempo de sedimentación

Según la norma RAS, el tiempo de retención de las partículas muy finas no debe ser menos de 20 minutos.

Para buenos deflectores la relación

$$\frac{a}{t_s} = 2.75$$

Tiempo de retención de partículas 20 minutos:

$$a = 20 \text{min} * \frac{60 \text{seg}}{1 \text{min}} = 1200 \text{ s}$$

$$\frac{a}{t_s} = 2.75 \rightarrow \frac{1200 \text{ s}}{2.75} = 436.36 \text{ s} = t_s$$

$a$  = tiempo de retención del agua en el desarenador

$t_s$  = tiempo de sedimentación (segundos)

#### 14.2. Altura del desarenador (H)

$$t_s = \frac{H}{V_s} \rightarrow H = t_s * V_s = 436.36 \text{seg} * 87.5 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

$$H = 3.8 \text{ m}$$

La norma RAS recomienda altura efectiva del desarenador, solo recomienda que para el almacenamiento de arena. (Zona de lodos)  $h_o$  debe estar entre 0,75 y 1,5m

#### 14.3. Capacidad del desarenador (volumen) (V)

$$V = a * QMD$$

De la tabla N°12 → caudal de diseño → desarenador → QMD

$$Q_{MD} = Q_{diseño} = 0.010 \frac{m^3}{s}$$

$$V = 1200 s * 0.010 \frac{m^3}{s}$$

$$V = 12 m^3$$

#### 14.4. Superficie del desarenador o área de superficie o espejo de agua ( $A_s$ )

$$A_s = \frac{V}{H} = \frac{12 m^3}{3.8 m}$$

$$A_s = 3.16 m^2$$

#### 14.5. Velocidad ascensional ( $V_A$ ) o carga que se recibe

$$V_A = \frac{Q}{A_s} = \frac{QMD}{A_s}$$

$$V_A = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{3.16 m^2} = 3.16 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$V_A = 31.6 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

La carga superficial máxima será,  $V_s = 87.50 \times 10^{-4} m/s$

La carga superficial Real < La carga superficial máxima

$$V_A < V_s$$

$$31.6 \times 10^{-4} \frac{m}{s} < 87.50 \times 10^{-4} \frac{m}{s}$$

Se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma RAS

#### 14.6. Dimensiones del desarenador

Se toma una relación Largo Ancho de 4

$$L = 4B$$

$$A_s = L * B = 4B * B = 4B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{3.16 \text{ m}^2}{4}} = 0.90 \text{ m}$$

$$L = 4 * 0.90 \text{ m} = 3.60 \text{ m}$$

#### 14.7. Velocidad superficial ( $V_o$ )

$$V_o = \frac{QMD}{\text{Areafrontal}}$$

$$V_o = \frac{Q_{MD}}{H * B}$$

$$V_o = \frac{0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.8 \text{ m} * 0.9 \text{ m}} = 2.92 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_o = 29.2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Según la norma RAS la velocidad horizontal y la velocidad de asentamiento vertical deben tener una relación inferior a 20

$$\frac{V_o}{V_s} < 20 \rightarrow V_o < 20V_s$$

$29.2 \times 10^{-4} < 20 * 87.50 \times 10^{-4}$  se cumple con el parámetro establecido por la norma  
El RAS indica que  $V_o < 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$0.00292 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Adicionalmente se tiene que:  $\frac{V_o}{V_s} \geq 75\%$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{29.2 \times 10^{-4}}{87.5 \times 10^{-4}} = 0.34 * 100 = 44\%$$

#### 14.8. Retención de partículas

Si  $V_s > V_A$  se retendrá 100% o más:

$$87.50 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} > 31.6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cumple.

#### 14.9. Eficiencia

$$E = \frac{V_S}{V_A} * 100\% = \frac{87.50 \times 10^{-4} \frac{m}{s}}{31.6 \times 10^{-4} \frac{m}{s}} * 100$$

$$\mathbf{Eficiencia = 276\%}$$

Eficiencia del desarenador diseñado.

#### 14.10. Profundidad para lodos

Según el RAS, su volumen debe estar entre el 10% y 20% del volumen del desarenador.

Igualmente indica que la relación entre longitud útil del desarenador y la profundidad efectiva para el almacenamiento de arena debe ser 10:1

$$\frac{L}{h_o} = \frac{10}{1} \rightarrow h_o = \frac{L}{10} = \frac{3.60}{10} \Rightarrow h_o = 0.36 \text{ m}$$

No está cumpliendo con los requerimientos de las RAS, dado que la altura debe estar entre 0,75m y 1,5 m. por tal razón se asume la medida según la aproximación de la norma.

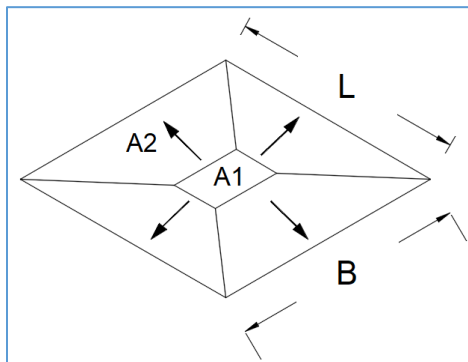
Entonces: se asumió

$$h_o = 1.0m$$

#### 14.11. Volumen de lodos

##### Figura 13

Tronco de pirámide



Nota. Diseño Propio, dibujo sin escala

$$V = \frac{h_o}{3} * (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$$

$$A_1 \rightarrow \text{Asumió lados de } 0.5m * 0.5m = 0.25 m^2$$

$$A_2 \rightarrow L * B = 3.60m * 0.90 m = 3.20 m^2$$

$$V = \frac{0.75}{3} * (0.25 + 3.20 + \sqrt{0.25 * 3.2})$$

$$V = 1.45 m^3$$

Chequeo del volumen de lodos con respecto al volumen del desarenador debe estar entre el 10% y el 20%.

$$V \text{ Desarenador} = B * L * H$$

$$V \text{ Desarenador} = 0.90m * 3.6m * 3.8m$$

$$V \text{ Desarenador} = 12.30 m^3$$

$$\frac{V \text{ Lodos}}{V \text{ Desarenador}} = \frac{1.45 m^3}{12.3 m^3} * 100 = 12\%$$

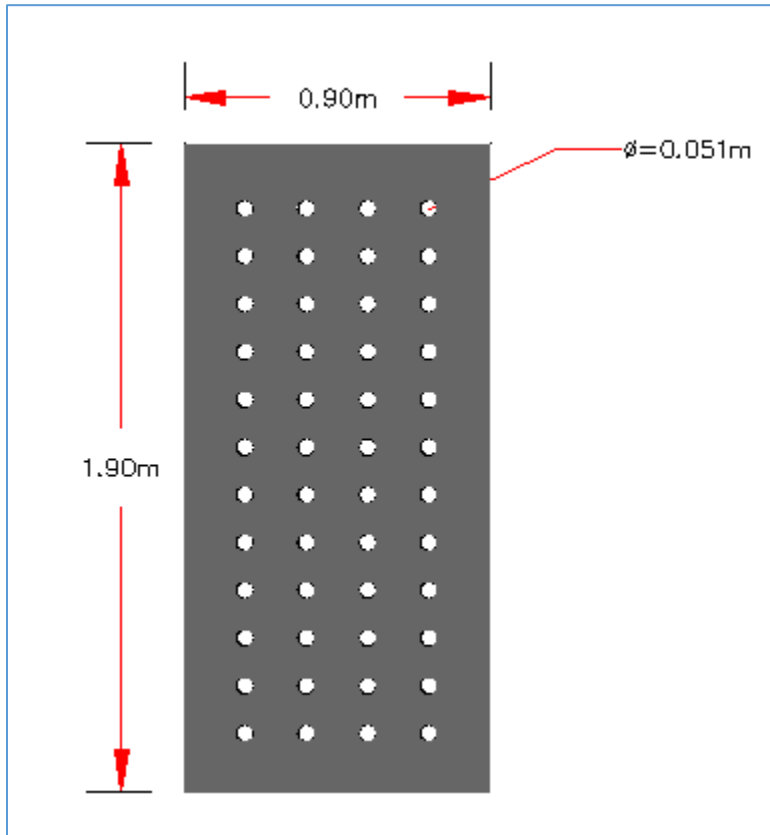
Está cumpliendo con establecido por la norma RAS

Deflectores

Área efectiva de los orificios

Según la RAS, en su ítem B.4.6.5, accesorios y dispositivos, la velocidad de paso en los orificios de la pantalla de entrada será inferior a 0.10 m/s.

Se asume un valor de Velocidad de orificios de 0.09 m/s

**Figura 14***Esquema deflector*

*Nota.* Diseño propio, dibujo sin escala

$$Q_{\text{Orificio}} = A_{\text{orificio}} * V_{\text{orificio}}$$

$$A_{\text{orificio}} = \frac{Q_{\text{orificio}}}{V_{\text{orificio}}} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.09 \frac{m}{s}} = 0.11 m^2$$

#### 14.12. Número de orificios

Se asumió un diámetro de los orificios de 2 pulgadas = 0.0508 m

$$A_{\text{orificio}} = 0.00203$$

$$No. \text{ de orificios} = \frac{A_{\text{orificios}}}{A_o} = \frac{0.11 m^2}{0.00203 m^2} = 54.27$$

*Número de orificios* 54



**14.13. Número de filas horizontales y verticales**

$m$  = No. De filas de hilos horizontales

$n$  = No. No. De filas de hilos verticales

$$m * n = 54 \text{ orificios}$$

$$m = \frac{54 \text{ orificios}}{n}$$

$$\frac{m}{n} \times \frac{H}{B} \rightarrow \frac{\frac{54}{n}}{\frac{n}{1}} = \frac{3.8 \text{ m}}{0.90 \text{ m}} = 4.2$$

$$n^2 = \frac{54}{4.2} \rightarrow n = \sqrt{\frac{54}{4.2}} \Rightarrow n = 4 \text{ filas verticales}$$

$$m * n = 54 \text{ orificios}$$

$$m = \frac{54 \text{ orificios}}{4} = 14 \text{ filas horizontales}$$

**14.14. Orificios corregidos**

$$m \times n = 14 \times 4 = 56 \text{ orificios}$$

**14.15. Separación entre las filas horizontales y verticales (W, Z)**

Ancho del desarenador es igual a longitud del deflector

$$B = (4 * 0.0508\text{m}) + ((5) * Z)$$

$$0.90\text{m} = 0.2032 + 5Z$$

$$\frac{0.70}{5} = Z$$

$$Z = 0.14\text{m} \approx 140\text{mm}$$

**14.16. Altura del deflector o ancho (H/2)**

$$(m * \emptyset \text{ orificios}) + (m + 1) * W = \frac{H}{2}$$

$$(14 * 0.0508m) + ((15) * W) = \frac{3.8m}{2}$$

$$0.7112m + 15W = 1.9m$$

$$W = \frac{1.19m}{15} = 0.080m = 80mm$$

#### 14.17. Altura de la lámina de agua en la entrada del desarenador

Altura de la lámina de agua para vertederos rectangulares

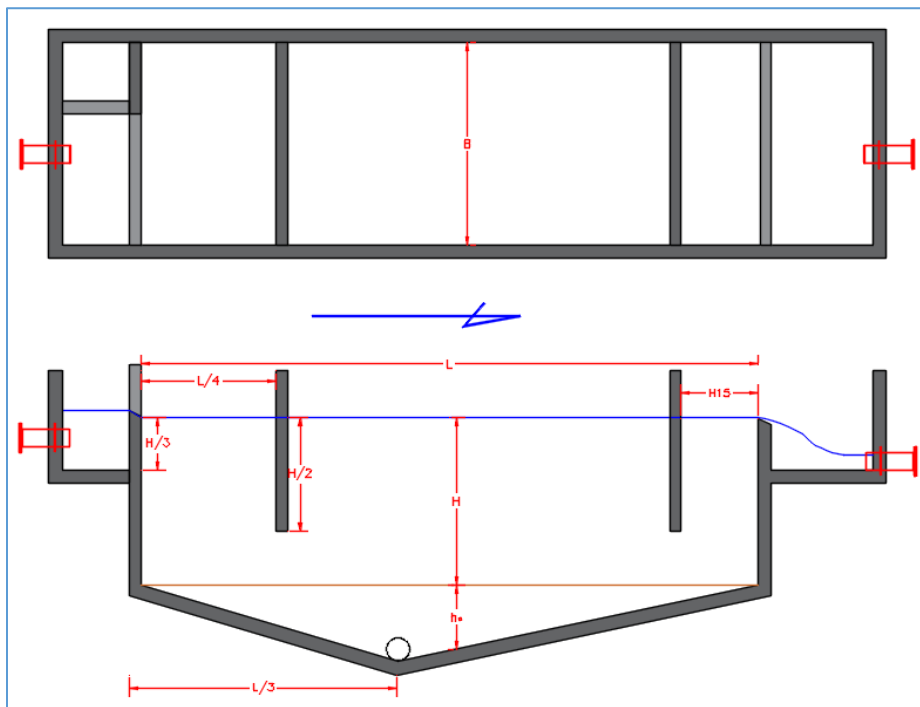
$$Q = 1.84 * L * H^{1.5} \Rightarrow H = \left[ \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{1.84 * 0.90m} \right]^{\frac{2}{3}} = 0.033m$$

$$H = 33 \text{ mm}$$

#### 14.18. Dibujo y dimensiones

Figura 15

Esquema desarenador



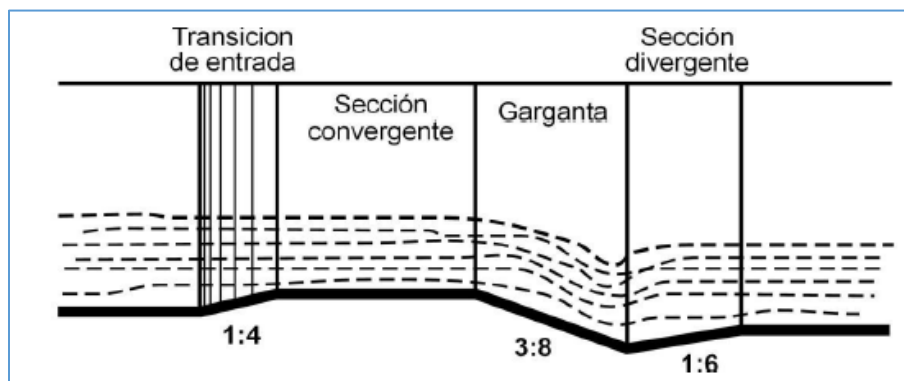
Nota. Diseño propio, dibujo sin escala

## 15. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es un aforador o medidor de caudal que pasa por una sección con el fin de obtener un valor de  $Q$  certero y así controlar el agua que llega a la planta de tratamiento. Según J.M. De Azevedo, consta de tres secciones, como se indica en la siguiente imagen.

**Figura 16**

*Secciones Canaleta Parshall*



*Nota.* Extraído de J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 477

### 15.1. Cálculo del ancho de la garganta

$$Q = K * Ha^n$$

$$Q = \text{Caudal } m^3/s$$

$K$  y  $n$  = Constantes que dependen de las dimensiones del canal

$Ha$  = profundidad de agua en una posición dada

QMD caudal máximo diario:

$$QMD = 0,010 \frac{m^3}{s} = 10 \frac{L}{s}$$

**Tabla 16***Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal*

Ancho W	Límites de caudal (L/S)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1"	0,28	5,67
2"	0,57	14,15
3"	0,85	28,31
6"	1,42	110,44
9"	2,58	252,00
12"	3,11	455,90
18"	4,24	696,50
24"	11,9	937,30
36"	17,27	1427,20
48"	36,81	1922,70
60"	45,31	2424,00
72"	73,62	2931,00

**Nota.** Extraído de J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 474

Ancho W se encuentra en el rango entre  $0.85 L/s$  y  $28.31 L/s$

$$W = 3''$$

$$W = 3 * \frac{0.0254m}{1pulg} = 0.0762m$$

## 15.2. Dimensiones de la canaleta

**Tabla 17***Constantes K y n para cálculos de caudales*

W		K (coeficiente)		n (exponente)
sistema inglés pulg/pies	sistema métrico (m)	unidades métricas	unidades inglesas	
3"	0,076	0,176	0,992	1,547
6"	0,152	0,381	2,06	1,58
9"	0,229	0,535	3,07	1,53
1"	0,305	0,69	4	1,522
1 1/2'	0,457	1,054	6	1,538
2'	0,610	1,426	8	1,55

3'	0,915	2,182	12	1,566
4'	1,220	2,935	16	1,578
5'	1,525	3,728	20	1,587
6'	1,830	4,515	24	1,595
7'	2,135	5,306	28	1,601
8'	2,440	6,101	32	1,606

*Nota.* Extraído de J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 476

Valores de K y n

K= 0.176                  n= 1.547

### Tabla 18

*Dimensiones típicas de medidores Parshall (cm)*

W	cm	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1"	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3"	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6"	15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4
9"	22,9	88,0	86,0	38,0	57,5	30,5	45,7	45,7	7,6	22,9
1"	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
2'	61,0	152,5	149,6	91,5	102,7	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,2	193,8	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	61,0	91,5	91,5	7,6	22,9
10	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3

*Nota.* Extraído de J. M. De Azevedo y Guillermo Acosta, Manual de Hidráulica pág. 472

**Tabla 19**

Valores para *W* igual a 3 pulgadas

<b>A</b>	Longitud de la pared convergente = 46,6 cm = 0,466 m
<b>B</b>	Longitud sección convergente = 45,7 cm = 0,457 m
<b>C</b>	Ancho de la salida = 17,8 cm = 0,178 m
<b>D</b>	Ancho de entrada sección convergente = 25,9 cm = 0,259 m
<b>E</b>	Profundidad total = 38,1 cm = 0,381 m
<b>F</b>	Longitud de la garganta = 15,2 cm = 0,152 m
<b>G</b>	Longitud sección divergente = 30,5 cm = 0,305 m
<b>K</b>	Diferencia entre el nivel de piso de convergencia y cresta de la garganta = 2,5 cm = 0,025 m
<b>N</b>	Diferencia de elevación entre el nivel de entrada y fondo de garganta = 5,7 cm = 0,057 m

Nota. extraído de la tabla 18

### 15.3. Determinación de la lámina de agua ( $h_a$ )

$$Q = K * h_a^n$$

$$h_a = \left( \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.176} \right)^{\frac{1}{1.547}}$$

$$h_a = 0.16 \text{ m}$$

### 15.4. Cálculo de la canaleta en la sección media ( $W_a$ )

Valore de D y W

$$D = 0.259 \quad K = 0.0762$$

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

$$W_a = \left[ \frac{2}{3}(0.259 - 0.0762) \right] + 0.0762$$

$$W_a = 0.198 \approx 0.20 \text{ m}$$

### 15.5. Cálculo de la velocidad en la sección media ( $V_a$ )

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

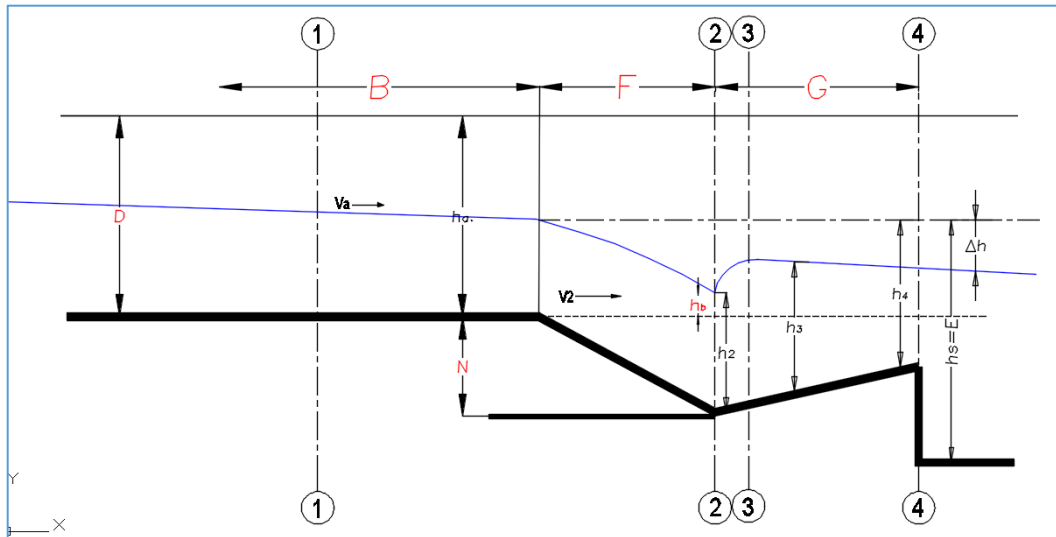
$$V_a = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.20 \text{ m} * 0.16 \text{ m}} = 0.31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_a = 0.31 \frac{m}{s}$$

### 15.6. Cálculo de la energía total disponible

Figura 17

Corte esquema canaleta Parshall



Nota. Diseño Propio, dibujo sin escala

Para  $W=3''$   $N=5.7 \text{ cm} = 0,057 \text{ m}$

$$E_1 = \frac{v_a^2}{2g} + ha + N$$

$$E_1 = \frac{\left(0.31 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 m/s^2} + 0.16m + 0.057m$$

$$E_1 = 0.22m$$

### 15.7. Cálculo de la velocidad antes del resalto ( $V_2$ )

Aplicando Bernoulli

$$E_2 = \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

$$v_2 = \frac{QMD}{\text{Area en el resalto}} = \frac{QMD}{W * h_2}$$

$$\frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0762\text{m} * h_2(\text{m})}$$

$$V_2 = \frac{0.13 \text{ m/s}}{h_2}$$

Reemplazando  $V_2$  en  $E_2$

$$E_2 = \frac{\left(\frac{0.13\text{m/s}}{h_2}\right)^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} + h_2 \Rightarrow E_2 = \frac{0.017 \text{ m}^3/\text{s}^2}{19.62 \text{ m/s}^2 * h_2^2} + h_2 = \frac{0.00088}{h_2^2} + h_2$$

$$E_2 = \frac{0.00088 + h_2^3}{h_2^2}$$

Igualando  $E_1=E_2$ , se desprecian pérdidas por fricción entre 1 y 2

$$E_1=E_2$$

$$0.22\text{m} = \frac{0.00088 + (h_2)^3}{(h_2)^2}$$

$$0.22\text{m} * (h_2)^2 = 0.00088 + (h_2)^3$$

Reordenación de la ecuación

$$(h_2)^3 - 0.22\text{m} * (h_2)^2 + 0.00088 = 0$$

Se obtienen tres raíces, y se debe tomar el valor de la raíz media.

**Cálculo de la velocidad de resalto ( $V_2$ )**

$$x^3 + a_1 * x^2 + a_2 * x + a_3 = 0$$

$$(h_2)^3 - 0.22\text{m}(h_2)^2 + 0 + 0.00088 = 0$$

Se aplica el método de Cardano

$$Q = \frac{3a_2 - a_1^2}{9} = \frac{3(0) - (-0.22)^2}{9} \Rightarrow Q = -0.0054$$

$$R = \frac{9(a_1)(a_2) - 27(a_3) - 2(a_1)^3}{9} = \frac{9(-0.22)(0) - 27(0.00088) - 2(-0.22)^3}{54}$$



$$R = \frac{-27(0.00088) - 2(-0.22)^3}{54} = \frac{-0.02376 + 0.02129}{54} \Rightarrow R = -4.6 \times 10^{-5}$$

$$D = Q^3 + R^2 = (-0.0054)^3 + (-0.000046)^2 \Rightarrow D = -1.55 \times 10^{-7} < 0$$

Todas las raíces son reales distintos.

Se debe aplicar uno de los siguientes criterios.

- I. Una de las raíces es real y dos de ellas son complejas, si  $D > 0$
- II. Todas las raíces con reales y al menos dos son iguales, si  $D = 0$
- III. Todas las raíces son reales y distintas, si  $D < 0$

Se aplica el criterio III, cuando  $D < 0$

$$\cos \theta = -\frac{R}{\sqrt{-Q^3}} \rightarrow \cos \theta = -\frac{(-0.000046)}{\sqrt{-(-0.0054)^3}} \Rightarrow \cos \theta = \frac{4.6 \times 10^{-5}}{3.96 \times 10^{-4}} = 0.12$$

$$\theta = \arccos(0.12) = 83.10 \approx 83^\circ$$

Valor de  $X_1$

$$X_1 = -2 \sqrt{-Q \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) - \frac{a_1}{3}}$$

$$X_1 = -2 \sqrt{-(-0.0054) \cos\left(\frac{83}{3}\right) - \left[\frac{(-0.22)}{3}\right]}$$

$$X_1 = -2 \sqrt{(0.0054) \times \cos(28)} + 0.07$$

$$X_1 = -2(0.0691) + 0.07$$

$$X_1 = -0.068m$$

Valor de  $X_2$

$$X_2 = -2 \sqrt{-Q \cos\left(\frac{\theta + 2\pi}{3}\right) - \frac{a_1}{3}}$$

$$X_2 = -2 \sqrt{-(-0.0054) \times \cos\left(\frac{83 + 6.28}{3}\right) - \left[\frac{(-0.22)}{3}\right]}$$

$$X_2 = -2(0.0685) + 0.07$$

$$X_2 = -0.067$$

Valor de  $X_3$

$$X_3 = -2 \sqrt{-Q \cos\left(\frac{\theta + 4\pi}{3}\right) - \frac{a1}{3}}$$

$$X_3 = -2 \sqrt{-(-0.0054) \cos\left(\frac{83 + 12.56}{3}\right) - \left[\frac{-0.22}{3}\right]}$$

$$X_3 = -2(0.068) + 0.07$$

$$X_3 = -0.065$$

Se toma el *PROMEDIO* de los valores de  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ :

$$X_m = 0.067 h_2 \Rightarrow h_2 = 0.067m$$

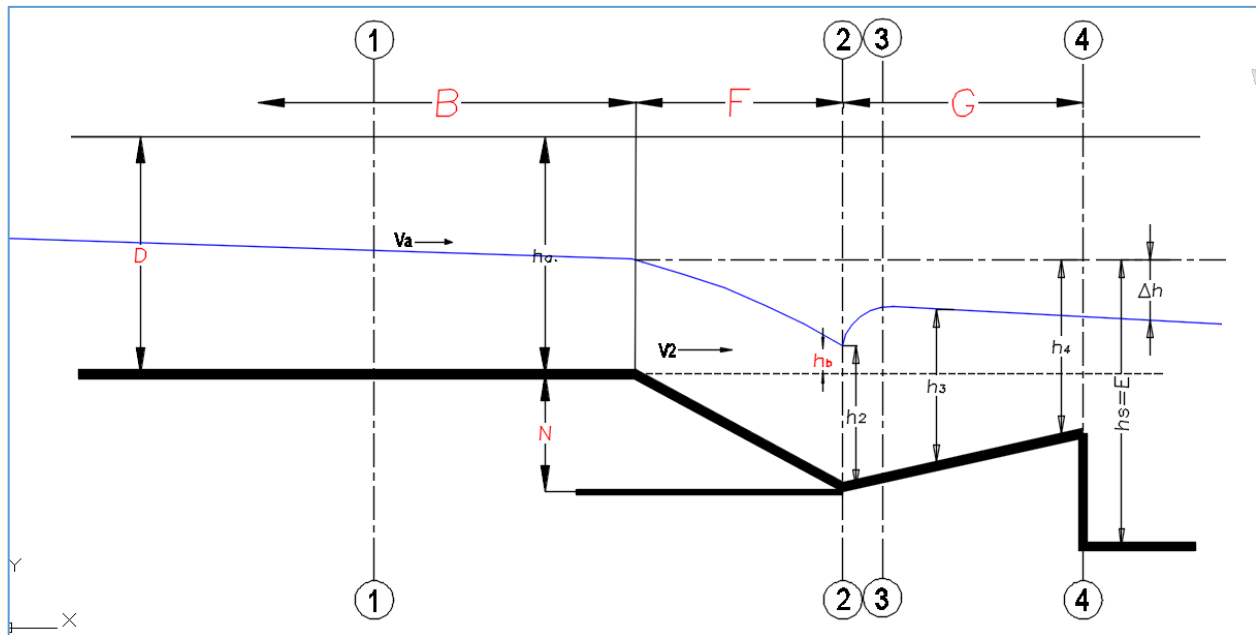
Reemplazando en la fórmula:

$$V_2 = \frac{0.13 \text{ m/s}}{h_2} = \frac{0.13 \text{ m/s}}{0.067 \text{ m}} = 1.96 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 1.96 \text{ m/s} \approx 2 \text{ m/s}$$

según la norma RAS se establece que  $V_2$  debe ser  $> 2 \text{ m/s}$ , entonces se está cumpliendo con el parámetro establecido por dicha norma.

### 15.8. Determinación de la lámina de agua en el resalto (cálculo de hb)

**Figura 18***Corte para cálculo de  $h_b$* *Nota.* Extraído de apuntes de clasePara obtener  $h_b$ 

$$h_b = h_2 - N \Rightarrow h_b = 0.067\text{m} - 0.057\text{m}$$

$$h_b = 0.010\text{ m}$$

**15.9. Chequeo de grado de sumergencia (S)****Tabla 20***Rangos de sumergencia*

Ancho de la garganta (W)	Máxima sumergencia ( $S=H_b/H_a$ )
7.5 (3") a 22.9 cm (9")	0.6
30.5 (1") a 244 cm (50")	0.7
305 (10") a 1525 cm (50")	0.8

*Nota.* Apuntes de clase

$$s = \frac{h_b}{h_a}$$

$$s = \frac{0.010\text{ m}}{0.16\text{ m}} = 0.0625$$

Según la tabla 20, para  $W=3''$ , establece que la sumergencia máxima es de 0.60. De acuerdo al valor encontrado en la la tabla  $S=0.0625 < 0.60$ ; entonces, cumple con el parámetro establecido y adicionalmente la canaleta Parshall trabaja con descarga libre, esencialmente porque  $h_{(a)}$  es mayor que  $h_{(b)}$ , también sirve como aforador.

#### 15.10. Canaleta Parshall como mezclador

$$\frac{h_a}{W} = \frac{0.16 \text{ m}}{0.0762 \text{ m}} = 2.1m$$

Sí  $H_a/W$  no está entre 0,40 y 0,80 la canaleta no funciona como mezclador. La canaleta Parshall puede operar como mezclador, para ello se podrá agregar un dispositivo tipo compuerta manual en la zona de la convergencia, de esta manera se controla que la altura de  $h_a$  sea la adecuada, entonces:

$$H_a = 0.80 \times 0.0762 = 0.06 \text{ m}$$

$H_a$  debe ser máximo 0.06 m para que cumpla. Esta dimensión solo se utiliza el o los días que se realiza la mezcla.

Adicionalmente por norma se debe cumplir que:

- La velocidad en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.
- La velocidad mínima del efluente debe ser aproximadamente 0.75 m/s.
- El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2.5 y 4. Debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0.

#### 15.11. Cálculo del número de Froude (Fr)

Este valor es adimensional, es decir, que no tiene unidades definidas, y relaciona el efecto de la fuerza de inercia y la fuerza de gravedad que actúan sobre un fluido.

En canales abiertos Fr es:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * DH}}$$

; donde

DH = profundidad hidráulica  $\rightarrow DH = \frac{A}{T}$

A = Área de la sección transversal del flujo

T = Ancho de la lámina libre

Definir la profundidad hidráulica en el punto 2 de la canaleta

$$DH_2 = \frac{w \times h_2}{W} \rightarrow DH_2 = h_2$$

Numero de Froude en el punto 2 de la canaleta

$$Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g * DH}}$$

$$Fr_2 = \sqrt{\frac{V_2^2}{g * h_2}} \Rightarrow Fr_2 = \sqrt{\frac{\left(2.0 \frac{m}{s}\right)^2}{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.067 m}} \Rightarrow Fr_2 = \sqrt{\frac{4.0 \frac{m^2}{s^2}}{0.66 \frac{m^2}{s^2}}}$$

$$\Rightarrow Fr_2 = \sqrt{6.06} \Rightarrow Fr_2 = 2.46$$

$Fr_2 = 2.46$  se encuentra en el intervalo de 1.7 y 2.5 por tanto, es estable, el resalto permanece en su posición; permitiendo la aplicación de coagulantes; en el caso que la canaleta Parshall sea usada como mezcladora rápida.

### 15.12. Cálculo de la lámina de agua al final del tramo divergente (h3)

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{1}{2} \left[ (1 + 8F_2^2)^{1/2} - 1 \right]$$

$$h_3 = \frac{h_2}{2} \left[ \sqrt{(1 + 8F_2^2)} - 1 \right]$$

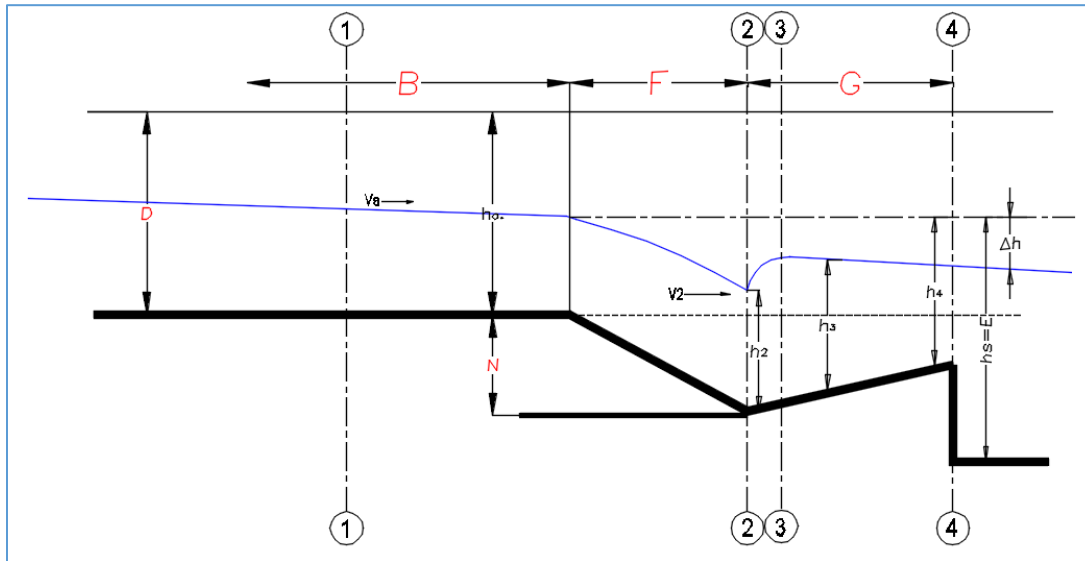
$$h_3 = \frac{0.067 m}{2} \left( \sqrt{1 + 8 * (2.46)^2} - 1 \right)$$

$$h_3 = 0.033(\sqrt{49} - 1) \Rightarrow h_3 = 0.19$$

### 15.13. Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta tramo (h4)

**Figura 19**

*Corte canaleta Parshall 4-4*



*Nota.* Diseño Propio, dibujo sin escala

Entonces:

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

$K = 0.025 \text{ m}$ ;  $N = 0.057 \text{ m}$ , valores extraídos de Tabla 20, dimensiones típicas de medidores Parshall (cm)

$$h_4 = 0.19 - (0.057 - 0.025) = 0.15 \text{ m}$$

### 15.14. Cálculo del tiempo medio de la mezcla (td)

Para el cálculo se usa la siguiente ecuación

$$t_d = \frac{G}{V_m}$$

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

El valor de G se obtiene de la tabla de dimensión es igual  $G=0.305\text{m}$

Para el cálculo de la  $V_3$  se usa la siguiente ecuación:

$$V_3 = \frac{QMD}{W * h_3} = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0762 \text{ m} * 0.19 \text{ m}} = 0.69 \text{ m/s}$$

Para el cálculo de la  $V_4$  se usa la siguiente ecuación:

$$V_4 = \frac{QMD}{C * h_4} = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{0.178 \text{ m} * 0.15 \text{ m}} = 0.37 \text{ m/s}$$

Cálculo de la velocidad media:

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

$$V_m = \frac{0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0.37 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 0.53 \text{ m/s}$$

Reemplazando en  $t_d$  se tiene:

$$t_d = \frac{0.305 \text{ m}}{0.53 \text{ m/s}} = 0.57 \text{ s}$$

### 15.15. Cálculo del gradiente de velocidad (G)

$$G = \sqrt{\frac{\rho * \Delta h}{\mu * t_d}}$$

$\rho$  = peso específico del agua  $1000 \text{ Kg/m}^3$

$\mu$  = viscosidad del agua a una temperatura dada  $\rightarrow \mu_{19^\circ} = 1.028 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

$\rho$  debe estar en

$$\frac{\text{Newton}}{\text{m}^3} \Rightarrow P_a = \frac{1 \text{ Newton}}{\text{m}^3} \Rightarrow 1 \text{ Newton} = 1 \text{ Kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ Kilogramo} = 9.81 \text{ Newton}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{9.81 \text{ Newton}}{1 \text{ Kilogramo}} \Rightarrow \rho = 9810 \frac{\text{Newton}}{\text{m}^3}$$

cálculo de  $\Delta h \rightarrow$  pérdida de carga

Método Bernoulli.

$$E_1 = E_2 + \Delta h$$

$$E_1 = \frac{v_a^2}{2g} + ha + N$$

$$E_1 = \frac{v_4^2}{2g} + h_4 + (N + K) + \Delta h$$

$$\left[ \frac{v_a^2}{2g} + ha + N \right] = \left[ \frac{v_4^2}{2g} + h_4 + (N + K) \right] + \Delta h$$

$$0.22 \text{ m} = \left[ \frac{(0.37 \text{ m/s})^2}{19.62 \text{ m/s}^2} + 0.17 \text{ m} + (0.057 \text{ m} - 0.025 \text{ m}) \right] + \Delta h$$

$$0.22 \text{ m} = 0.019 + 0.15 + (0.032) + \Delta h$$

$$0.22 \text{ m} = 0.219 + \Delta h$$

$$\Delta h = 0.22 \text{ m} - 0.20 \text{ m} \Rightarrow \Delta h = 0.02$$

$$G = \sqrt{\frac{\rho * \Delta h}{\mu * td}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9810 \frac{\text{Newton}}{\text{m}^3} * 0.02}{1.028 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m} * \text{S}} * 0.57 \text{ s}}}$$

$$G = \sqrt{334812.28 \frac{\frac{\text{Kg}}{\text{seg} * \text{m}^2}}{\frac{\text{Kg}}{\text{m}}}} = 578.63$$

$$G = \frac{578.63}{\text{seg}} \Rightarrow G = 579 \text{ s}^{-1}$$

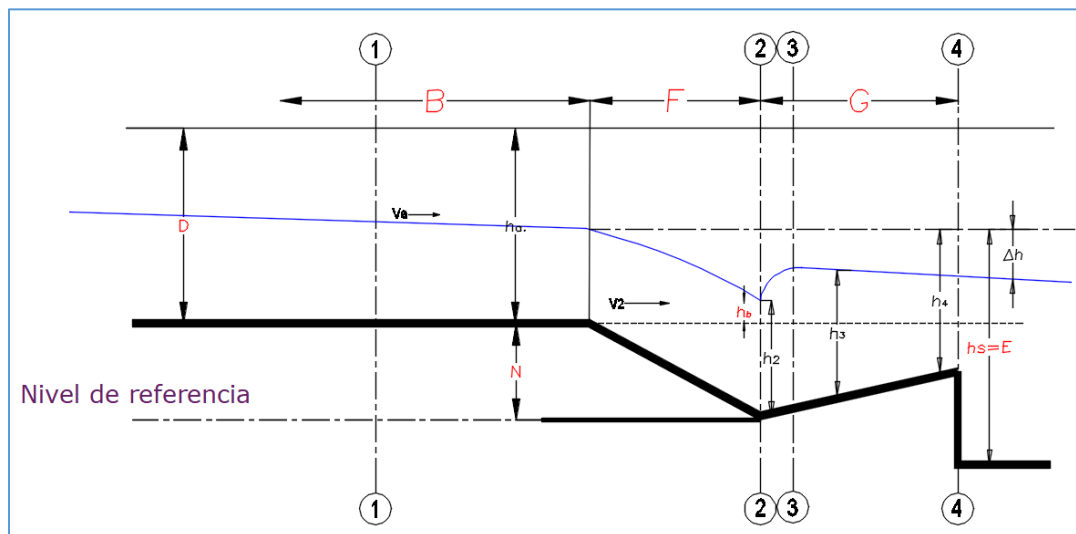
Según la recomendación de la RAS el rango del gradiente debe estar en el intervalo de  $(500^{-s} \leq G \leq 2000^{-s})$ , de tal forma gradiente cumple para mezclador rápido.



### 15.16. Cálculo de la distancia de elevación de la cresta por encima del fondo del canal de salida (X)

Figura 20

Canaleta Parshall  $h_5$



Nota. Diseño Propio, dibujo sin escala

$$h_5 = E = h_4 + X$$

$E$  corresponde a 0.381, extraído de la Tabla 21: Dimensiones típicas de medidores Parshall en centímetros.

$$h_5 = E = h_4 + X$$

$$0.381m = h_4 + X \Rightarrow 0.381m = 0.15m + X$$

$$X = 0.381 - 0.15 = 0.231m$$

Se tomó un factor de seguridad de 10% más para  $X$

$$X = 0.321m + (10\%) = 0.254m$$

### 15.17. Longitud de desarrollo del resalto (L)

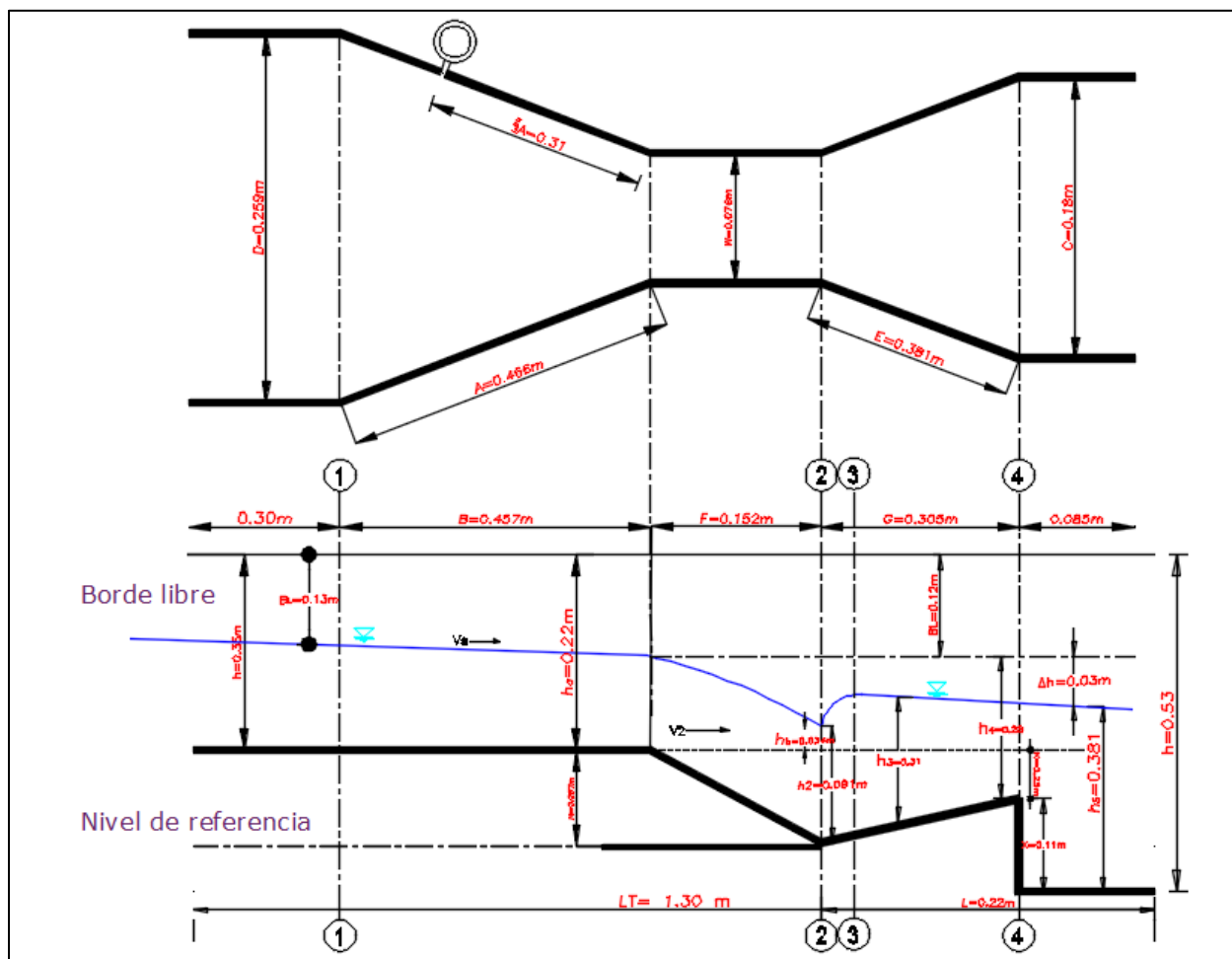
$$L = 6(h_3 - h_2)$$

$$L = 6(0.19m - 0.067m) = 0.123m \Rightarrow L = 0.12m$$

### 15.18. Dimensiones y dibujo

Figura 21

Dimensiones y dibujo



Nota. Diseño propio, dibujo sin escala

### 15.19. Canal de entrada

$$\text{Entrda} = \text{ancho} = D = 0.259\text{m} \Rightarrow b = 0.26\text{m}$$

D corresponde a 0.259 m, extraído de la Tabla 17: Dimensiones típicas de medidores Parshall en centímetros.

La altura será igual  $h_a = 0.16\text{m}$

El borde libre se toma a criterio, teniendo en cuenta que al sumarla de un número redondeado.

$$\text{Altura} = h_a + \text{bordelibre}$$

$$\text{Altura} = 0.26m + 0.09m = 0.35m \Rightarrow h = 0.35m$$

Construir canal de  $b \times h$  aguas arriba es decir  $0.26m \times 0.35m$  (incluyendo borde libre)

### 15.20. Canal aguas abajo

$$\text{Salida} \rightarrow \text{Ancho del canal} = C = 0.178 \approx 0.18 m$$

C corresponde a 0.178 m, extraído de la Tabla 17: Dimensiones típicas de medidores Parshall en centímetros

$$b = 0.18m$$

$$\text{Altura del canal (h)} = h_5 + \Delta h + (\text{borde libre } 30\%)$$

$$\text{Altura del canal (h)} = 0.381m + 0.02m + (0.381 + 0.02) * 30\%$$

$$(h) = 0.40m + (0.12)$$

$$\text{Altura del canal (h)} = 0.52m$$

$$\text{Borde libre aguas abajo } 0.12 m$$

Construir canal aguas debajo de  $0.18 m \times 0.52 m$

## 16. Sedimentación

Proceso que se da naturalmente, cuando partículas más pesadas que el agua se depositan en el fondo por acción de la gravedad. Estas partículas se pueden encontrar en el agua en tres categorías según el diámetro, así:

- a) Suspensiones hasta diámetros de  $10^{-4}$  cm o  $10^{-6}$  cm. Se da por sedimentación Simple
- b) Coloides entre  $10^{-4}$  cm y  $10^{-6}$  cm. Esto es igual a  $10^{-8}$  m. Implica aglutinación de coloides para formar FLOC
- c) Soluciones para diámetros aún menores de  $10^{-6}$  cm. Transformar en insolubles los compuestos solubles y aglutinarlos para formar FLOC.

Se diseñará un sedimentador de flujo horizontal. Se debe tener en cuenta que no se está diseñando la estructura del sedimentador; corresponde al diseño de un sistema de agua potable.

**Tabla 21**

*Parámetros de referencia de diseño de sedimentación*

Tipo de sedimentador	Carga superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	Tiempo de retención hidráulica (h)	Velocidad de flujo (cm/s)
Flujo horizontal	15 - 30	2 - 4	< 1
Flujo vertical	20 - 30 (máx. 60)	2 - 4	< 1
manto de lodos	30 - 120	1.0 1.5	2.15 - 5

*Nota.* Resolución 0330 de 08 de junio 2017

**Tabla 22**

*Otras consideraciones de diseño*

<b>Altura del agua</b>	La altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m
<b>Pendiente longitudinal</b>	La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%, entre 5% y 10%, para facilitar el deslizamiento del sedimento.
<b>Dimensiones</b>	Para tanques rectangulares, la relación entre el ancho y el largo es de 1:4 a 1:8 La relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1.
<b>Descarga de lodos</b>	Debe existir un dispositivo de descarga apropiado de los lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo 6 horas
<b>Número de unidades</b>	Para los niveles de complejidad de sistema bajo y medio, la planta de tratamiento debe tener como mínimo dos unidades. Para los niveles de complejidad de sistema medio alto y alto debe tener como mínimo tres unidades.

*Nota.* Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico TÍTULO C. P.234

### 16.1. Cálculo del volumen del sedimentador

$$Q = \frac{V}{T} \quad V = Q_{MD} * \text{tiempo de detención}$$

De la tabla 21 parámetros de referencia de diseño de sedimentación, Tiempo de retención hidráulica (h) es de entre 2h y 4h, se asumió un tiempo de retención de 2 horas

$$Q_{MD} = 0.010 \frac{m^3}{s} * 2 \text{ horas} = 72 m^3$$

$$V = 72 \text{ m}^3$$

### 16.2. Cálculo de (e) = Espacio que recorre el agua horizontalmente

$$\text{velocidad horizontal} = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo de detencion}} = V_h = \frac{e}{t} \Rightarrow e = V_h * t$$

De tabla 21 Velocidad de flujo (cm/s), resolución 330/2017  $< 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Se asumió  $V_h = 0.009 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$$\text{tiempo de detención} \Rightarrow 2 \text{ horas} = 7200 \text{ s}$$

reemplazando

$$e = V_h * t = 0.009 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 7200 \text{ s} \Rightarrow e = 64.8 \text{ m}$$

Espacio recorrido: 64.8 metros

### 16.3. Cálculo de la altura del sedimentador (h)

Según el título C de la norma RAS, la relación entre el largo y la profundidad debe estar entre 5:1 y 25:1.

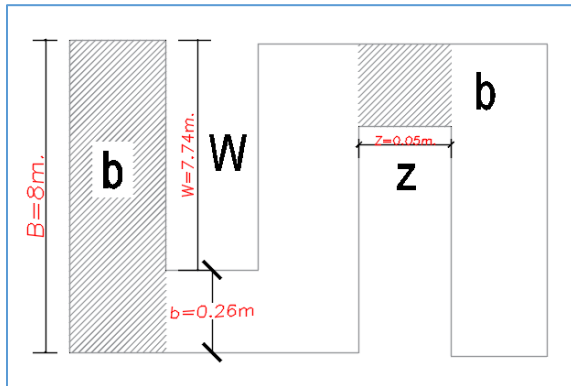
Se asume una relación de 15:1

$$15:1 \Rightarrow \frac{e}{h} = \frac{15}{1} \Rightarrow e = 15h \Rightarrow h = \frac{e}{15}$$

$$h = \frac{64.8 \text{ m}}{15} = 4.32 \approx 4.30 \text{ m}$$

la norma sugiere que la altura del nivel del agua debe estar entre 4 m y 5 m; entonces el resultado está dentro del rango establecido.

### 16.4. Cálculo de b (Espacio entre pantallas)

**Figura 22***Espacio entre pantallas*

Nota. Diseño propio, dibujo sin escala

$$\forall = 72 \text{ m}^3 = b * h * e \Rightarrow b = \frac{72 \text{ m}^3}{h * e}$$

$$\Rightarrow b = \frac{72 \text{ m}^3}{4.30\text{m} * 64.8\text{m}} = 0.26 \text{ m}$$

Se realizó una aproximación en b entonces, se recalcula (h) o altura del sedimentador

$$72 \text{ m}^3 = \forall = b * h * e \Rightarrow h = \frac{\forall}{b * e} = \frac{72 \text{ m}^3}{0.26 \text{ m} * 64.8 \text{ m}} = h = 4.27\text{m} \approx 4.3\text{m}$$

$$h = 4.30\text{m}$$

### 16.5. Cálculo de B (ancho del sedimentador)

B se muestra en la imagen 22, y según la norma RAS la relación entre ancho y largo debe estar entre 1:4 y 1:8. Dimensiones en la tabla 22

Se asumió una relación 1:8

$$1:8 \Rightarrow \frac{B}{e} = \frac{1}{8} \Rightarrow B = \frac{e}{8}$$

$$B = \frac{64.8\text{m}}{8} \Rightarrow B = 8\text{m}$$

**16.6. Cálculo de W (largo de cada pantalla)**

Como se muestra en la imagen 22

$$B = W + b \Rightarrow W = B - b$$

$$W = 8m - 0.26m \Rightarrow W = 7.74 m$$

**16.7. Número No. de espacios ( $\theta + 1$ ) y No. de pantallas ( $\theta$ )**

$$(W + b) = \text{longitud del espacio} = B$$

$$V = \{((\theta + 1) * (w + b) * b * h) + (\theta * b * z * h)\}$$

$$72 m^3 = \{((\theta + 1) * (7.74m + 0.26m) * 0.26m * 4.3m) + (\theta * 0.26m * z * 4.3m)\}$$

$$\text{Se asumió: } z = 5cm = 0.05m$$

$$72 m^3 = \{8.94\theta m^3 + 8.94m^3 + (1.12m^2 * 0.05m * \theta)\}$$

$$63.06m^3 = 8.88m^3$$

$$\theta = \frac{63.06m^3}{8.88m^3} = 7.2$$

$$\theta = 7 \text{ pantallas}$$

$$\text{No. de espacios} = \theta + 1 = 7 + 1 = 8 \text{ espacios}$$

**16.8. Longitud total del sedimentador (LT)**

$$L_T = (\theta + 1) * b + (\theta * z)$$

$$L_T = (7 + 1) * 0.26 + (7 * 0.05)$$

$$L_T = 2.40m$$

**16.9. Cálculo de la carga superficial (CS)**

$$\text{Carga Superficial} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area defondo} * \text{tiempo}}$$

$$CS = \frac{72 m^3}{[(B * b * \text{No. espacios}) + (b * z * \text{No. pantallas})] * 7200s}$$

$$CS = \frac{72m^3}{[(8m * 0.26m * 8) + (0.26m * 0.05m * 7)] * 7200s}$$

$$CS = 6.0 \times 10^{-4} \frac{m^3}{m^2 * s} * \frac{86400s}{dia} = 52 \frac{m^3}{m^2 * dia}$$

El resultado no es el esperado, puesto que en la Tabla 21 parámetros de referencia de diseño de sedimentación, de la resolución 0330 de 21 de junio de 2017, se infiere que la carga superficial debe estar entre 15 y 30 ( $\frac{m^3}{m^2 * día}$ ), el resultado es superior. Por tanto, se deben modificar los parámetros.

Tiempo de detención se asume un  $t = 4 \text{ horas}$ ; son, 14.400 s; tiempo expresado en segundos.

Disminución de la velocidad tomada inicialmente al 50%

$$V_h = \frac{0.009 \frac{m}{s}}{2} = 0.0045 \text{ m/s}$$

Recalculo

$$e = V_h * t = 0.0045 * 14400 = e = 64.8m$$

$$\frac{e}{h} = \frac{15}{1} \Rightarrow h = \frac{e}{15} \Rightarrow h = \frac{64.8m}{15} = 4.32m \approx 4.30m$$

$$\frac{B}{e} = \frac{1}{8} \Rightarrow 8B = e \Rightarrow B = \frac{e}{8} \Rightarrow B = \frac{64.8m}{8} = 8.1m \approx 8m$$

$$b = \frac{V}{h * e} = \frac{72m^3}{4.30m * 64.8m} = b = 0.26m$$

$$b = 0.26m$$

$$W = B - b = 8 - 0.26m = 7.74m$$

$$W = 7.74m$$

$$CS = \frac{\text{Volumen}(m^3)}{\{(B * b * N^{\circ}\text{espacios}) + (B * Z * N^{\circ}\text{pantallas})\} * 14400s}$$



$$CS = \frac{72m^3}{\{(8 * 0.26m * 8) + (0.26m * 0.05 * 7)\} * 14400s}$$

$$CS = \frac{72m^3}{(16.64m + 0.091m)} * 14400s * \frac{1 \text{ día}}{86400s}$$

$$CS = 25.82 \frac{m^3}{m^2 * \text{día}}$$

La carga superficial  $CS$  está dentro de los parámetros establecidos.

### 16.10. Cálculo de la velocidad de sedimentación ( $V_s$ )

Se toma como supuesto que el sedimentador recoge coloides de  $\phi = 0.001mm$

$$\phi = 0.001mm = 1x10^{-6}m$$

$$\rho_{particula} = 2650 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Según resolución 330 de 2017}$$

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$\Rightarrow \mu_{19^\circ} = 1.028 x 10^{-3} \frac{Kg}{m * s}$$

$$V_s = \frac{g}{18} * \left( \frac{\rho_{particula} - \rho_{agua}}{\mu_{agua} 19^\circ} \right) * dp^2$$

$$V_s = \frac{9.81m/s^2}{18} * \left( \frac{2650 \frac{kg}{m^3} - 1000 \frac{kg}{m^3}}{1.028 x 10^{-3} \frac{Kg}{m * s}} \right) * (1x10^{-6}m)^2$$

$$V_s = 0.545 \frac{m}{s^2} * 1605x10^3 \frac{s}{m^2} - 10^{-12}m^2$$

$$V_s = 8.75x10^{-7}m/s$$

$$V_s = 0.00875x10^{-4}m/s$$

### 16.11. Velocidad ascensional ( $V_A$ )

$$V_A = \frac{Q_{MD}}{A_{fondo}} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{\{(B * b * 8) + (b * z * 7)\}}$$

$$V_A = \frac{Q_{MD}}{\text{Afondo}} = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{[(8\text{m} * 0.26\text{m} * 8) + (0.26\text{m} * 0.05\text{m} * 7)]}$$

$$V_A = \frac{0.010 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{16.73 \text{ m}^2} \Rightarrow V_A = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 16.12. Retención de partículas

Si  $V_s > V_a$  la retención es del 100% o más

$$0.00875 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} < 6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{NO CUMPLE}$$

Por no cumplir con los requerimientos de norma no se retiene más del 100% de los coloides de  $1 \times 10^{-6}$ , que es un diámetro tentativo y no se retendrá el diámetro

### 16.13. Cálculo de la eficiencia ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{V_s}{V_A} * 100\%$$

$$\epsilon = \frac{0.00875 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}} * 100\%$$

$$\epsilon = 1.458 \times 10^3 * 100\%$$

$$\epsilon = 0.1458\% \text{ Retenido}$$

### 16.14. Cálculo diámetro de partícula que se retiene un 100%

Para que se retenga un 100% la relación  $\frac{V_s}{V_A}$  debe ser igual a 1, se asumió un  $V_s = V_A$

$$V_s = 6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De la fórmula de Stokes:

$$(d_p)^2 = \frac{6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.545 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} * 1605 \times 10^3 \frac{\text{s}}{\text{m}^2}} = 6.85 \times 10^{-10} \text{ m}^2$$

$$\sqrt{d_p = 6.85 \times 10^{-10} \text{ m}^2}$$

$$0.0000261 * \frac{100cm}{1m} * \frac{10mm}{1cm} = 0.0261 \approx 0.03mm$$

El sedimentador está diseñado para retener partículas  $\geq 0,03mm$  mediante sedimentación por peso de la partícula y la acción de la gravedad.

### 16.15. Volumen de lodos

Para el fondo del sedimentador se asumió una pendiente del 10%

$$L_T = 2.4m$$

$$S = 10\% > 2\%$$

$$\begin{array}{l} 100 m \rightarrow 10m \\ 2.4 m \rightarrow \Delta h \end{array}$$

$$\Delta h = \frac{2.4m \times 10m}{100} \Rightarrow \Delta h = 0.24 \approx 0.25m$$

Para que la zona de lodos no coincida con el nivel de las pantallas, se aumentó un 10% el  $\Delta h$  en la parte de inicio del desnivel

$$0.25m * 0.10 = 0.025m$$

$$\Delta h = 0.25m + 0.025m = 0.275m$$

$$V_{lodos} = \frac{(0.025m + 0.275m)}{2} * 2.4m * 8m$$

$$V_{lodos} = 2.88 m^3 \approx 3.0 m^3$$

### 16.16. Tiempo de vaciado

*De la Tabla 22: Otras consideraciones de diseño; se tiene que, según la norma RAS, debe existir un dispositivo de descarga apropiado de los lodos que permita un vaciado de la unidad en máximo 6 horas. Pero en el título B9. Tanques de almacenamiento y compensación; la norma RAS en el sub capítulo 9.4.14. Tiempo de vaciado y caudal de vaciado, emplea la ecuación (B. 9.3) para calcular dicho tiempo. Señalando textualmente que, “el tiempo de vaciado*

debe ser menor que 8 horas. Dicha ecuación es válida, para tanques con área superficial constante a lo largo de su altura". RAS, título B. p.398.

$$T = \frac{2 \times A \times \sqrt{h}}{m \times a \times \sqrt{2g}}$$

donde:

$T$  = Tiempo de vaciado (s).

$A$  = Área superficial del tanque ( $m^2$ ).

$h$  = Cabeza sobre el desagüe (m).

$m$  = Coeficiente de contracción del desagüe (adimensional).

$a$  = Área del desagüe ( $m^2$ ).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Entonces:

Área superficial del tanque ( $A$ )

$$A = L * B = 2.4m * 8m = 19.2 \text{ m}^2$$

Cabeza sobre el desagüe ( $h$ )

$$h(m) = (0.025m + 0.25 \text{ m}) + 4.30m = 4.58m$$

Coeficiente de contracción del desagüe ( $m$ )

$$m = \text{se asumió} = 0.55$$

$$T(s) = 6 \text{ horas}$$

$$T = 21.600s$$

Entonces:

$$T * m * a * \sqrt{2g} = (2 \times A \times \sqrt{h}) \Rightarrow a = \frac{2 * A * \sqrt{h}}{T * m * \sqrt{2g}}$$

$$a = \frac{2 \times (19.2m^2) \times \sqrt{4.58m}}{21600s \times 0.55 \times \sqrt{19.62m/s^2}} \Rightarrow a = 0.0016m^2$$

$$a = \pi * \frac{D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4a}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0016m^2}{\pi}} = 0.044m * \frac{1pulg}{0.0254m} = 1.75 Pulgadas$$

Diámetro comercial 2 pulgadas = 0.051m

Se aproximó el diámetro a un comercial, se verifica que el tiempo se cumpla de acuerdo a la norma RAS.

$$a_3 = \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{(0.051)^2}{4} = 0.00065m^2$$

$$h = 4.3m - 0.051m = 4.25m$$

$$T = \frac{2A\sqrt{h}}{m \times a \times \sqrt{2g}} \Rightarrow T = \frac{2 \times (19.2m^2) \times \sqrt{4.58m}}{0.55 \times 0.0016 \times \sqrt{19.62m/s^2}} = \frac{82.18}{0.0039}$$

$$T = (10523.46s) \times \frac{1hr}{3600s} = 5.86 \text{ horas}$$

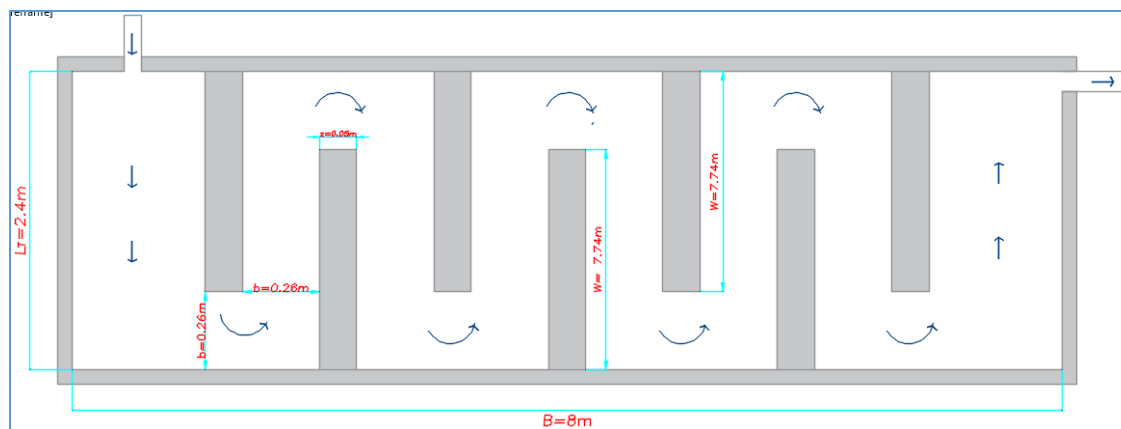
$$\approx 5 \text{ hora: } 51 \text{ minutos}$$

$T < 6 \text{ horas. Cumple}$

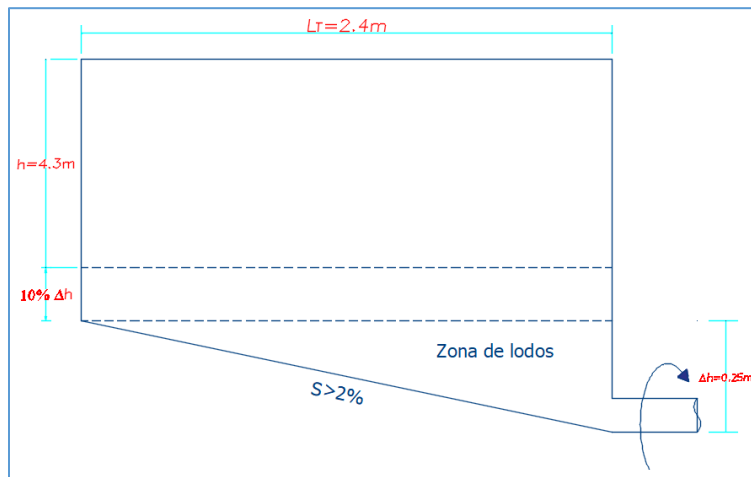
## 16.17. Dimensiones y dibujo

**Figura 23**

*Planta sedimentador*



Nota. Diseño propio. Dibujo sin escala

**Figura 24***Corte sedimentador*

*Nota.* Diseño propio. Dibujo sin escala

## 17. Aireadores

La aireación en acueductos dentro de sus funciones tiene la transferencia de  $O_2$  al agua y aumentar el  $O_2$  disuelto, así como minimizar la cantidad de sustancias volátiles presentes en el agua. Puede disminuir concentraciones de  $(CO_2)$ ,  $(H_2S)$ ,  $(CH_4)$ ,  $(Fe)$ , entre otros, así como la remoción de compuestos orgánicos que pudieran generar olores, sabores y/o coloración.

(Colombia. Ministerio de vivienda , ciudad y territorio., 2010)

Existen diferentes tipos de aireadores, tales como aireador de cascada y aireadores de bandeja, para efectos de este trabajo se realizará el diseño de un aireador de bandeja:

### 17.1. Aireador de bandeja

Para el diseño del aireador por bandejas, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros establecidos en la resolución 0330 de 21 de junio de 2017.

**Tabla 23***Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples*

Parámetro	Valor
Carga hidráulica	500 – 1500 m/d
Altura total	1.2 – 3.0 m
Número de bandejas	3 – 9
Distancia entre bandejas	0.3 – 0.5 m
Altura de bandeja	0.20 – 0.25 m
Diámetro medio orificios	0.5 – 0.6 cm
Separación media entre orificios	0.25 m
Eficiencia de remoción de CO <sub>2</sub> esperada	60%
Tamaño del material de contacto	4 – 12 cm
Espesor del lecho de contacto	0.15 – 0.20 m

*Nota.* Resolución 0330 de 21 de junio de 2017, sección 3, artículo 110, p. 67

$$t = n \times \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

n = Número de bandejas

h = Separación entre bandejas (m)

t = Tiempo de exposición (s)

g = Aceleración de la gravedad  $\left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$

### 17.2. Número de bandejas

Distancia entre bandejas entre 0.3m y 0.50m

- Se asumió 0.50m
- Tiempo de exposición (2s)

$$n = t * \sqrt{\frac{g}{2 \times h}} \Rightarrow n = 2s * \sqrt{\frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \times 0.50\text{m}}} = 6.3$$

n = 6 bandejas

### 17.3. Área de las bandejas

$$A_{bandejas} = \frac{QMD}{Carga\ hidr\acute{a}ulica}$$

Tabla 23, la carga hidráulica debe estar entre  $500 - 1500 \frac{m^3}{m^2/d\acute{a}a}$ ; se asume una carga hidráulica de  $600 \frac{m^3}{m^2/d\acute{a}a}$

$$A_{bandejas} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{600 \frac{m^3}{m^2/d\acute{a}a}} = 0.000017 m^2 \times d\acute{a}a/s$$

$$A_{bandejas} = 0.000017 m^2 \times \frac{d\acute{a}a}{s} \times \frac{86400s}{d\acute{a}a} = 1.45 m^2$$

$$A_{bandejas} = 1.45 m^2$$

### 17.4. Área de cada bandeja

$$A_b = \frac{\acute{A}rea\ de\ bandejas}{No.\ de\ bandejas} \Rightarrow A_b = \frac{1.45 m^2}{6} = 0.24$$

$$A_b = 0.25$$

### 17.5. Dimensiones de cada bandeja

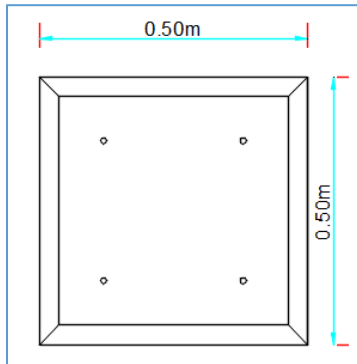
Se considera que las bandejas son cuadradas, entonces,

$$A_b = L \times L \Rightarrow L^2 = A_b \Rightarrow L = \sqrt{A_b}$$

$$L = \sqrt{0.25} = 0.50$$

$$L = 0.50m$$



**Figura 25***Dimensiones bandejas*

Nota. Diseño propio. Dibujo sin escala

### 17.6. Área de cada orificio

De la Tabla 23: Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples, se indica que el diámetro medio de orificio debe estar entre 0.5 y 06 centímetros.

Se asumió 6 cm = 0.06 m

$$A_{c/o} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0.06m)^2}{4} \Rightarrow A_{c/o} = 0.003 m^2$$

### 17.7. Caudal sobre cada orificio

De la Tabla 23: Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples, se indica que la altura de cada bandeja debe estar entre 0.20m y 0.25m.

Se asume un valor de 0.20m

Según el principio de Torricelli la velocidad en un orificio es  $= \sqrt{2gh}$

$$Q_{Orificio} = A_{Orificio} \times V_{Orificio}$$

$$Q_{Orificio} = 0.003 m^2 \times \sqrt{2 \left( 9.81 \frac{m}{s^2} \right) \times 0.20m}$$

$$Q_{Orificio} = 0.003 m^2 \times 1.98 \frac{m}{s} = 0.006 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{\text{Orificio}} = 0.006 \frac{m^3}{s}$$

### 17.8. Determinación del número de orificios

$$N = \frac{Q_{MD}}{Q_{\text{Orificio}}} = \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.006 \frac{m^3}{s}} = 1.7$$

$$N = 2 \text{ Orificios}$$

### 17.9. Distribución de los orificios en filas y columnas

En las dimensiones se consideró una bandeja cuadrada, por tanto, filas y columnas serán iguales.

$m$  = No. de filas

$n$  = No. de columnas

$m \times n = 2$  orificios

$m = n$ ;  $m \times m = 2$  orificios

$$\Rightarrow m^2 = 2 \Rightarrow m = \sqrt{2} = 1.41$$

$m = 2$  filas

$n = 2$  columnas

*entonces:*

$m \times n = 2 \times 2 = 4$  orificios

### 17.10. Separación entre orificios ( $z$ )

$$L_{\text{Bandeja}} = (\text{No. de filas} \times \phi_{\text{orificios}}) + (\text{No. de espacios} \times z)$$

$$0.50m = (2 * 0.006m) + (3 * z)$$

$$0.50m = 0.012 + 3z \Rightarrow 3z = 0.50m - 0.012m$$

$$z = \frac{0.49m}{3} = 0.16$$

$$z = 0.16 = 160\text{mm}$$

En la tabla 23, Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples, la Separación media entre orificios es de 0.25m, entonces, el resultado fue 0.16m, lo cual no está cumpliendo con el requerimiento establecido. Por tanto, se tomó el valor establecido por la norma 0.25m

### 17.11. Volumen de fondo para salida de agua aireada

$$Q_{Bandeja} = Q_{Orificios} \times \text{No. de orificios}$$

$$Q_{Bandeja} = 0.003 \frac{m^3}{s} \times 2 \text{ Orificios} = 0.006 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{Bandeja} = 0.006 \frac{m^3}{s}$$

Se asume un área del fondo  $0.80 \times 0.80 = 0.64 \text{ m}^2$

Se asumió un volumen para un tiempo de 3 minutos. Para el depósito de fondo de las bandejas

$$3 \text{ min} = 180s$$

$$V = Q_{Bandeja} \times 180s$$

$$Q_{Bandeja} = 0.006 \frac{m^3}{s} \times 180s = 1.1 \text{ m}^3$$

### 17.12. Tubería de conducción entre sedimentador y aireador de bandeja

- Según la resolución 0330 /2017 la velocidad mínima debe ser de 0,5 m/s
- Si la conducción es a superficie libre el diámetro interno nominal mínimo que se debe utilizar es de 100 mm y/o 4"
- Si la tubería trabaja a presión el diámetro interno nominal mínimo es de 50 mm y/o 2"
- De la tabla No. 12 Caudales de diseño para conducción  $QMD = 0.010 \frac{m^3}{s}$

Datos:

Longitud de tubería asumido 100 m

Diferencia de cotas sobre el nivel del mar entre sedimentador y aireador de bandejas

$$h_{\text{Sedimentador}} - h_{\text{Aireador}} = 1190m - 1180m = 10$$

$$\Delta h = 10m$$

### 17.13. Pendiente de conducción (s)

$$S = \frac{\Delta h}{L} = \frac{10m}{100m} = 0.10 * 100\% \rightarrow S = 10\%$$

### 17.14. Diámetro de la tubería de conducción

Se empleó la fórmula de Hazen Williams

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * S^{0,54}$$

C = coeficiente de Hazen Williams para PVC  $C_{PVC} = 140$

$$D = \left[ \frac{Q_{MD}}{0.2785 * C_{pvc} * S^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = \left[ \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 140 * 0.10^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = 0.070m \Rightarrow D = 2.72 \text{ pulgadas}$$

$$D_3 = 3 \text{ pulgadas} \Rightarrow 0.076m$$

Diámetro comercial 3 pulgadas.

Según el requerimiento del ítem B no cumple, por ser a superficie libre debe ser un diámetro mínimo de 100 mm, 4"

### 17.15. Pérdidas por fricción de tubería por Hazen Williams

Estas pérdidas se calculan con diámetro de 4 pulgadas

$$H = \frac{10.67 * 100m * \left(0.010 \frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{(140)^{1.852} * (0.102m)^{4.87}}$$

$$H = \frac{0.21}{0.14} m$$

$H = 1.50 m$  pérdidas por fricción

$$\Delta H = 10m - 1.5m = 8.5m$$

#### 17.16. Pendiente de conducción (Recalculo s)

$$S = \frac{\Delta h}{L} = \frac{8.5m}{100m} = 0.085 * 100\% \rightarrow S = 8.5\%$$

#### 17.17. Recalculo de diámetro

$$D = \left[ \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 140 * (0.085)^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}} = 0.072m \times \frac{1 \text{ pulgada}}{0.0254m} = 2.82 \text{ pulgadas}$$

$$\Rightarrow D = 2.82 \approx 3" \text{ comercial}$$

#### 17.18. Tubería de conducción (desde aireador hasta tanque de almacenamiento)

Longitud entre estructuras: 60 metros

Diferencias de altura entre las dos estructuras

$$h_{\text{Aireador}} - h_{T. \text{ Almac}} = 1190m - 1180m = 10$$

$$\Delta H = 10m$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{10}{60} = 0.16 \times 100 = 16\%$$

#### 17.19. Diámetro de la tubería

El caudal utilizado es el último Q que se calculó para la bandeja de aireación.

$$Q_{\text{Bomba}} = 0.006 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 0,2785 * C * D^{2,63} * S^{0,54}$$

$C$  = coeficiente de Hazen Williams para PVC  $C_{PVC} = 140$

$$D = \left[ \frac{0.006 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 140 * 0.16^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = \left[ \frac{0.006 \frac{m^3}{s}}{14.5} \right]^{0.38} \Rightarrow D = 0.052m \Rightarrow 2.03''$$

$$D = 2'' \Rightarrow 0.051m$$

### 17.20. Pérdidas de carga

$$H = \left[ \frac{10.67 * (60m) * \left(0.006 \frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{(140)^{1.852} * (0.051)^{4.87}} \right]$$

$$H = \frac{0.049}{0.0048} = 10.3m$$

### 17.21. Recalculo diámetro con las nuevas pérdidas

Presión en el punto de la bomba =  $\Delta H + H$

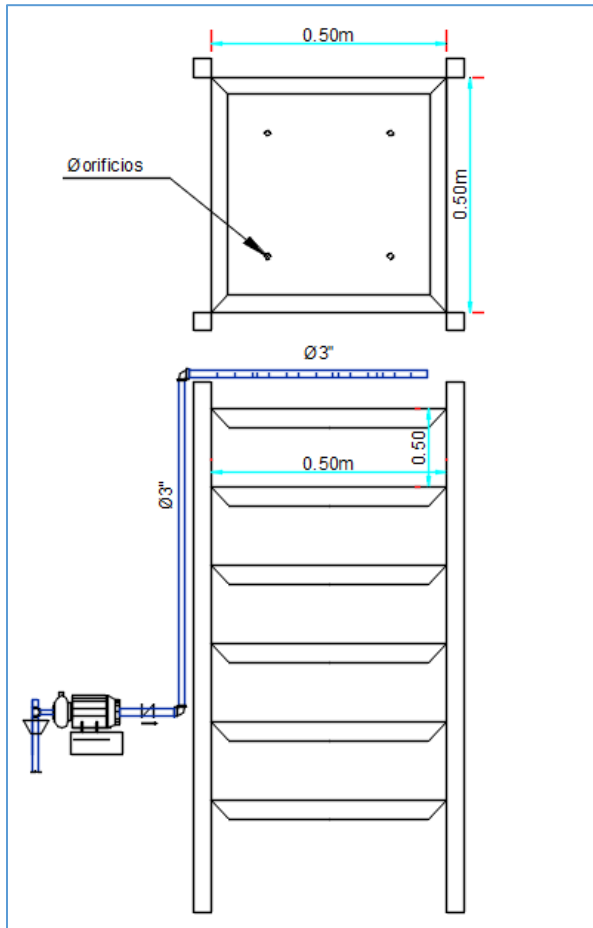
$$P_{Bomba} = 10m + 10.3m = 20.3m$$

$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{20.3}{60} = 0.34 * 100 = 34\%$$

$$D = \left[ \frac{0.006 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 140 * 0.34^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}} \Rightarrow D = 0.045$$

$$D = 1.75 \Rightarrow 2'' \text{ comercial}$$

### 17.22. Dibujo aireador de bandeja

**Figura 26***Esquema bandejas de aireación*

*Nota. Diseño propio. Dibujo sin escala*

## 18. Tanque de almacenamiento

### 18.1. Volumen de regulación

Este volumen busca tener una compensación entre el volumen de entrada y el volumen de consumo que se pueda dar, es decir, este volumen permite manejar contingencias en caso de problemas con el suministro. *De la Tabla 13: Caudal de diseño, se tiene que el caudal para el cálculo del tanque se toma el QMD, pero para hallar el volumen de regulación se utiliza QMH*

$$Q_{MH} = 10 \frac{l}{s} = 0.010 \frac{m^3}{s}$$

Para el volumen de regulación se consideró el 30% de almacenamiento de ese volumen y un factor de 1.2

$$V_{regulacion} = 1.2 * Q_{MH} * 0.30$$

$$V_{regulacion} = 1.2 * 0.010 \frac{m^3}{s} * 0.30$$

$$V_{regulacion} = 0.004 \frac{m^3}{s} * \frac{86400seg}{1día} = 346 \frac{m^3}{día}$$

Volumen para un día de consumo

$$V_{regulacion} = 346 \frac{m^3}{día} * 1día$$

$$V_{regulación} = 346m^3$$

## 18.2. Caudal contra incendio (Q<sub>in</sub>)

El volumen destinado a la protección contra incendios se determinó considerando una duración de incendio de 2 horas, (Colombia. Ministerio de Vivienda. Ciudad y territorio., 2010)

$$Q_{in} = \frac{3.86}{60} * \sqrt{\frac{P}{1000}} * \left( 1 - 0,01 * \sqrt{\frac{P}{1000}} \right)$$

$$Q_{in} = \text{caudal contra incendios requerido} \left( m^3/s \right)$$

$$P = \text{Poblacion (habitantes)} \Rightarrow Pf$$

$$P_f \cong 3765 \text{ hab}$$

$$Q_{in} = 0.064 * \sqrt{3.765} * (1 - 0.01 * \sqrt{3.765})$$

$$Q_{in} = 0.064 * (1.94) * (1 - 0.01 * (1.94))$$

$$Q_{in} = 0.12 * 1.92$$

$$Q_{in} = 0.24 m^3/s$$



Conocido el caudal de agua para protección contra incendio se halla el volumen destinado para tal fin.

$$V_{\text{incendio}} = Q_{\text{in}} * T$$

Donde:

V = Volumen de agua para protección contra incendio (m<sup>3</sup>)

Q<sub>in</sub> = Caudal contra incendio requerido (m<sup>3</sup>)

T = Duración del incendio (s)

$$V_{\text{incendio}} = 0.24 \text{ m}^3/\text{s} * 7200\text{s}$$

$$V_{\text{incendio}} = 1728 \text{ m}^3$$

### 19. Volumen del tanque

De la tabla 8 se tiene que el Nivel de complejidad es *medio*, por tanto, el volumen del tanque será determinado entre el mayor volumen calculado entre el volumen de regulación y volumen de contra incendio.

$$V_{\text{regulación}} = 346\text{m}^3 < V_{\text{incendio}} = 1728 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Tanque}} = 1728\text{m}^3$$

#### 19.1. Altura del tanque (H)

En todos los casos debe dejarse un borde libre con el fin de permitir la ventilación. Se recomienda un borde de 0.30 m como mínimo.

$$H = \frac{V}{3} k$$

Donde:

H = profundidad en metros

V = volumen en cientos de metros cúbicos

k = constante de almacenamiento según tabla 24

**Tabla 24**

Constante de capacidad del tanque de almacenamiento

V (Cientos de m <sup>3</sup> )	k
< 3	2,0
4 a 6	1,8
7 a 9	1,5
10 a 13	1,3
14 a 16	1,0
>17	0,7

Nota. Diseño propio. Dibujo sin escala

$$V_{\text{tanque}} = \frac{1728m^3}{100} = 17.28m^3 \approx 17 \text{ cientos de } m^3$$

Según tabla 33, k para volúmenes mayores a 17 m<sup>3</sup>. Es de 0.7

$$H = \frac{17}{3} \times 0.7 = 5.66 \times 0.7 \Rightarrow H = 3.96m$$

$$H = 4m$$

## 19.2. Dimensiones del Tanque

Los tanques de almacenamiento pueden tener diferentes formas geométricas, rectangular, cuadrado, circular.

Para este trabajo se asumió un tanque cuadrado  $\Rightarrow L \times B$

$$V = L \times L \times H \Rightarrow L^2 = \frac{V}{H}$$

$$L = \sqrt{\frac{V}{H}} \Rightarrow L = \sqrt{\frac{1728m^3}{4m}} = 20.3m$$

$$L = 21m$$

Se recalcula H por la aproximación de L y B

$$1728m^3 = 21m \times 21m \times H$$

$$H = \frac{1728m^3}{21m \times 21m} = 3.91m$$

$$H = 3.9m$$

### 19.3. Dimensiones del tanque

$$21m \times 21m \times 3.9m = 1720m^3$$

$$\text{Nuevo volumen} = 1720m^3$$

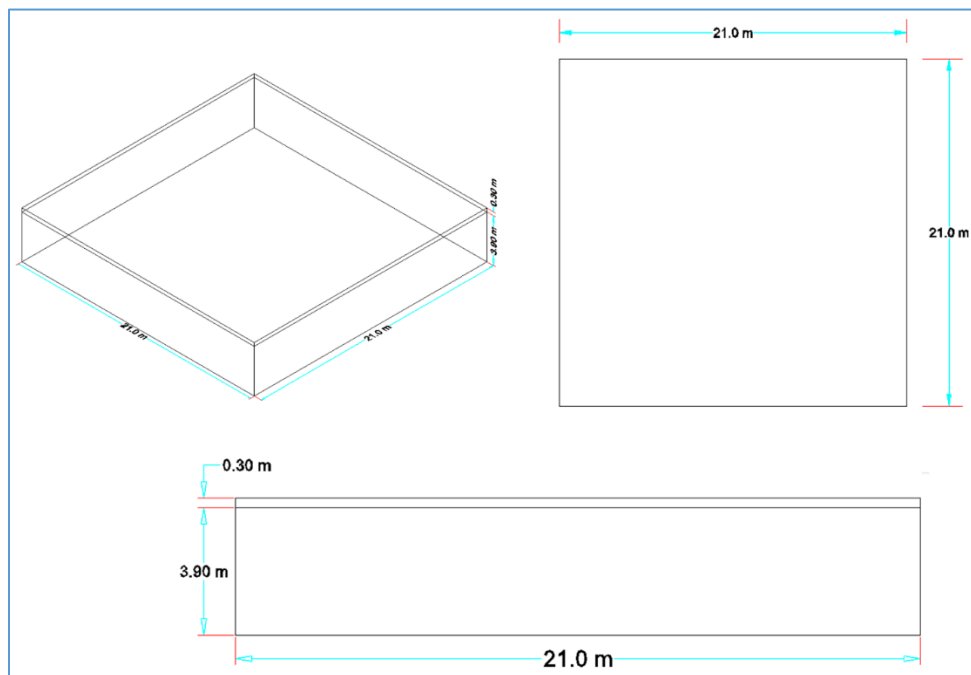
El volumen del tanque recalculado es menor que el volumen teórico, pero la diferencia en altura no cumple con los requerimientos de la norma RAS; que recomienda un borde libre mínimo de 0.30m, según el cálculo.  $4.0m - 3.9m = 0.10m$ . Por tanto, es necesario aumentar 0.30m para cumplir con lo mínimo requerido. De tal manera que la nueva altura será:

$$\Rightarrow 3.9m + 0.30m = 4.20m$$

$$H = 4.20m$$

### Figura 27

*Dimensiones tanque de almacenamiento*



*Nota.* Diseño propio, dibujo sin escala

#### 19.4. Tiempo de vaciado

Según la norma RAS, el tiempo de vaciado debe ser menor a 8 horas (Colombia. Ministerio de Vivienda. Ciudad y territorio., 2010). P. 398

$$T = \frac{2A\sqrt{h}}{m * a * \sqrt{2g}}$$

Donde:

$T$  = Tiempo de vaciado (s). se asumió el tiempo RAS; 8 horas

$A$  = Área superficial del tanque ( $m^2$ ).

$h$  = Cabeza sobre el desagüe (m).

$m$  = Coeficiente de contracción del desagüe (adimensional). El coeficiente  $m$  debe estar entre 0.50 y 0.60. Se asume un valor de 0.50

$a$  = Área del desagüe ( $m^2$ ).

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $9.81m/s^2$ ).

$$T = 8 \text{ horas} = \frac{3600s}{1 \text{ hora}} = 28800s$$

$$28800s = \frac{2(441m^2)\sqrt{3.9m}}{0.50 \times a \sqrt{2(9.81 m/s^2)}}$$

$$28800s = \frac{1742}{0.50 \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times 4.43}$$

$$28800s = \frac{1742}{1.74D^2} \Rightarrow D^2 = \frac{1742}{1.74 \times 28800s} \Rightarrow D^2 = 0.035m^2$$

$$D = \sqrt{0.036m^2} = 0.186m \Rightarrow D = \frac{0.186}{0.0254} = 7.34m$$

$$\Rightarrow D = 8" \text{ comerciales}$$

$$\Rightarrow 8" = \frac{8" \times 0.254}{1"} = 0.2032m$$

Área para 8 pulgadas

$$a_8 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times (0.2032)^2}{4} = 0.032m^2$$

Altura de la cabeza del agua

$$h = 3.9m - 0.032 = 3.87m$$

Tiempo

$$T = \frac{2(441m^2)\sqrt{3.87m}}{0.50 \times 0.032m^2 \times 4.43}$$

$$T = \frac{1735}{0.071} = 24478 \text{ s}$$

$$\Rightarrow T = 24478 \times \frac{1 \text{ hora}}{3600s} = 6.80 \text{ horas} \approx 6 \text{ hora } 48 \text{ minutos}$$

El tiempo T requerido es menor que el solicitado por la norma RAS

### 19.5. Tubería de alivio para evacuar excesos

Todos los tanques deben contar con un sistema de alivio que tenga la capacidad de evacuar excesos. Este sistema debe dimensionarse con el fin de evacuar el QMD para el horizonte de diseño. (Colombia. Ministerio de vivienda ciudad y territorio, 2017)

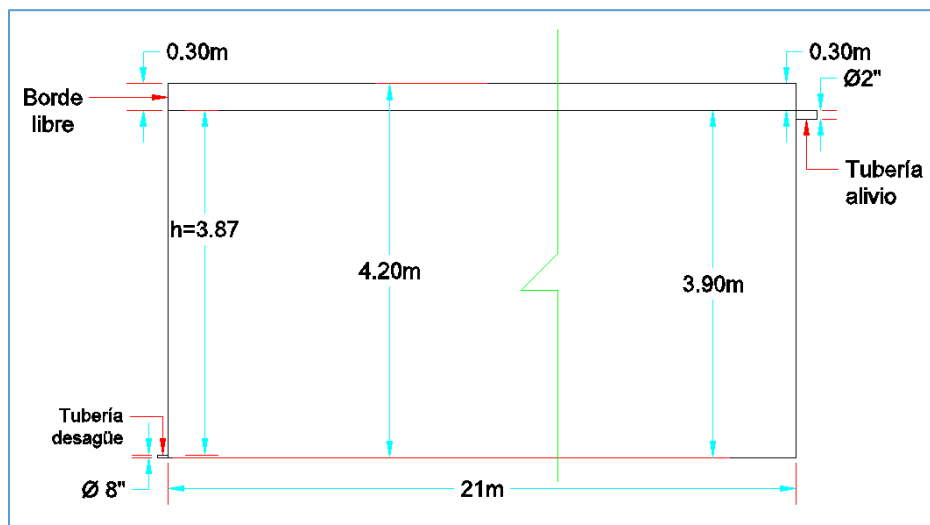
$$QMD = 10 \text{ L/s} \Rightarrow 0.010 \text{ m}^3/\text{s}$$

S= 5% para tubería de alivio

$$D = \left[ \frac{0.010 \frac{m^3}{s}}{0.2785 * 140 * (0.05)^{0.54}} \right]^{\frac{1}{2.63}}$$

$$D = \frac{0.0167 \times 1 \text{ pulgada}}{0.0254m} = 0.051m$$

$$\Rightarrow D = 2" \text{ comerciales}$$

**Figura 28***Corte tubería desagüe y alivio*

Nota. Diseño propio, dibujo sin escala

## 20. Laboratorio

El laboratorio del acueducto de Nocaima Cundinamarca cuenta con los siguientes elementos, para realizar pruebas de calidad del agua.

- a. Medidor de pH ó pH-metro, marca LaMotte pH 5 Plus. Con el cual se mide el potencial de hidrogeno, que, según la resolución 2115 de 2007 en su artículo 4°, el valor de pH en agua para consumo humano debe estar entre 6.5 y 9.0, aunque no es objeto de este trabajo se hace mención por ser un dato relevante en cualquier sistema de acueducto. (Ministerio de protección social; Ministerio de vivienda, 2007)
  - Rango: 0.00-14.00 pH / 0.01 pH.
  - Lectura de la temperatura 0-100 ° C / 0.1 ° C
  - Compensación automática de temperatura.
- b. Colorímetro o fotómetro

Como su nombre lo indica, la función de este dispositivo es el análisis físico del agua para consumo humano, bien sea antes de ser tratada o posterior al tratamiento. Sin embargo, según la resolución 2115 de 2007 en su artículo 2º, el agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables, expresados en unidades de platino cobalto (UPC), valor máximo aceptable 15 unidades.

c. Test de jarras

Cuentan con un equipo de tres jarras, el cual está en funcionamiento. Este tipo de equipamiento es indispensable en cualquier planta de tratamiento de agua potable; primordialmente para hacerle seguimiento al comportamiento del coagulante utilizado en el tratamiento; los equipos son utilizados por el personal encargado de la operación de la planta de tratamiento.

**Figura 29**

*Equipo de laboratorio*



*Nota. Archivo personal*

## 21. Análisis de los resultados

### 21.1. Captaciones

El municipio de Nocaima cuenta con dos puntos de captación por gravedad *Qda* La Moya y *Qda* El Tigre. La tabla 24 muestra las dimensiones actuales y las calculadas, la tabla 25 datos de las zonas de captación.

**Tabla 25**

*Dimensiones actuales y propuestas*

CAPTACION	DIMENSION ACTUAL			DIMENSIONES PROPUESTAS		
	L (m)	B (m)	h (m)	L (m)	B (m)	h (m)
<b>QDA EL TIGRE</b>	2.12	1.50	0.92	3.60	0.90	3.8
<b>QDA LA MOYA</b>	1.0	0.80	0.80	3.60	0.90	3.8

*Nota.* Elaboración Propia

Estas estructuras según información suministrada por la empresa de servicios públicos Emsergualiva S.A.S – E.S.P, tienen más de tres décadas de servicio, y no han sido modificadas; aunque las estructuras se encuentran en buen estado, con las diseñadas se podría tener un mayor volumen de agua para tratar.

**Tabla 26**

*Datos zonas de captación*

Datos captación	Quebrada el Tigre	Quebrada la Moya
<b>Población Periodo de Diseño (Hab)</b>	3765	3765
<b>Nivel de Complejidad</b>	Medio	Medio
<b>Periodo de Diseño (años)</b>	25	25
<b>Elevación (msnm)</b>	1500	1185
<b>Clima</b>	Clima Frío ó Templado	Clima Frío ó Templado
<b>Temperatura quebrada °C</b>	19	19



<b>Pérdidas netas máximas admisibles (%)</b>	25		25
<b>Dotación bruta (L/hab/día)</b>	173		173
<b>Caudal medio diario (Qmd) (l/s)</b>	8		8
<b>k1</b>	1		1,3
<b>Caudal máx. Diario (QMD) (l/s)</b>	10		10
<b>k2</b>	1		1
<b>Caudal máx. Horario (QMH) (l/s)</b>	10		10
<b>Caudal de diseño (l/s)</b>	20		20

*Nota.* Elaboración Propia

### 21.2. Sedimentador

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones actuales y las calculadas.

**Tabla 27**

Dimensiones sedimentador

DIMENSION ACTUAL			DIMENSIONES PROPUESTAS		
L <sub>T</sub> (m)	B (m)	h (m)	L <sub>T</sub> (m)	B (m)	h (m)
6	4	3.7	2.4	8	4.3

*Nota.* Elaboración Propia

El sedimentador actualmente se encuentra en buen estado y funcional, no cuenta con pantallas, sino con un sistema de sedimentador tubular o clarificador como también se le conoce.

Sin embargo, la norma RAS C.3.5.a sugiere que debe haber al menos 2 unidades en servicio sin importar el nivel de complejidad.

### 21.3. Medidor Parshall

**Tabla 28***Dimensiones canaletas*

CANALETA	W	cm	A	B	C	D	E	F	G	K	N	LT
EXISTENTE	3"	7.6	46.6	45.7	0.16	0.23	29.5	15.2	30.5	2.5	5.7	0.9
DISEÑO	3"	7.6	46.6	61.0	0.18	0.26	0.38	30.5	61.0	7.6	11.4	1.3

*Nota.* Elaboración Propia

La canaleta Parshall existente cumple con las especificaciones para  $W= 3$  pulgadas, la mezcla rápida no se realiza en la garganta de la canaleta, se aplica a través de una manguera el coagulante en un tanque anexo a la zona de transición de entrada, se desconoce el caudal de llegada mediante tubería PVC 4" y las condiciones hidráulicas de la lámina de agua a lo largo de la canaleta.

#### **21.4. Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento existente tiene una capacidad de  $250 \text{ m}^3$ , la forma del tanque es cilíndrica, semienterrado, en ese sentido; el consumo total promedio de agua potabilizada en Nocaima es de  $240 \text{ m}^3$ , quedando  $10 \text{ m}^3$  como contingencia ante cualquier eventualidad. En ese sentido se hizo la pregunta:

*¿Podrá el municipio de Nocaima con la capacidad instalada de almacenamiento abastecer al municipio en temporada de verano?*

El acueducto podría abastecer de agua potable a los usuarios parcialmente, debido a que por la disminución del caudal en las fuentes de captación la cantidad de agua para tratar que llega a la planta es menor en comparación cuando las fuentes están en sus máximos niveles de caudal, por otra parte, el alivio de las presiones en las mangueras de conducción se realiza con perforaciones en el recorrido, lo cual puede hacer más difícil la conducción del agua hacia la planta, porque a menor volumen de agua en la tubería hay menos presión.

Finalmente, el diseño del acueducto arrojó un tanque de almacenamiento con una capacidad de 1720 m<sup>3</sup>; siendo este el volumen mayor entre el volumen de demanda contra incendios y el volumen de regulación, esta capacidad de almacenamiento permitiría tener una mejor reserva de agua tratada y así asegurar la distribución a los habitantes.

**Tabla 29**

Volúmenes

Volumen	Capacidad (m3)
Regulación	346
Demanda	1720

*Nota.* Elaboración Propia

## 22. Conclusiones

El objetivo general establecido se cumplió, en el sentido de haber realizado la evaluación del sistema de acueducto del municipio, realizando un análisis de brechas con un diseño teórico propuesto considerando una proyección de crecimiento del municipio a 25 años. Permitiendo así identificar oportunidades de mejoras en cada uno de los objetivos específicos como se muestra a continuación.

Dentro de los objetivos específicos se evaluó la condición actual de la tubería de conducción en polietileno de 3 pulgadas tendida sobre el terreno natural. El diseño propuesto arrojó tubería PVC de diámetro 3 pulgadas, con lo que en las recomendaciones se incluye este aspecto.

Otro de los objetivos específicos que se tuvo para la evaluación fueron las condiciones actuales del tanque de almacenamiento. El tanque actual está almacenando un volumen de 250 metros cúbicos. Mientras que el diseñado en este trabajo, almacenará 1720 metros cúbicos de agua potable, es decir aproximadamente 7 veces el almacenamiento actual. De la información

obtenida en emsergualiva, el consumo diario es de 240 metros cúbicos; de tal manera que solo quedan 10 metros cúbicos como reserva para contingencias que se puedan presentar.

Con la nueva capacidad obtenida, se podría manejar una contingencia del suministro de agua de al menos, 4 o 5 días, siendo esto un factor de importancia si el acueducto presentara problemas de potabilización de agua.

Por otra parte, el acueducto cuenta con un sistema de filtración, de donde finalmente se envía el agua al tanque de almacenamiento actual, para aplicarle la dosificación de desinfección. Dentro de los cálculos se diseñó un sistema de aireación por bandejas que podría ser implementado por la planta de tratamiento en cualquier momento, es un sistema pequeño que podría resultar económico y de fácil uso, sobre todo en momentos donde el sistema de aireación se encuentre en mantenimiento o fuera de servicio.

Finalmente, la planta de tratamiento PTAP actual, presenta buenas condiciones de trabajo, la infraestructura física está en buen estado, existen fugas en algunas válvulas o reboses en el tanque homogeneizador, siendo estos inconvenientes de fácil solución. También, el municipio de Nocaima tiene unas limitantes en sus fuentes hídricas, específicamente en época de verano donde los niveles del caudal disminuyen. Por tanto, es importante conservar de la mejor manera dichas fuentes.

### **23. Recomendaciones**

El municipio podría considerar mejoras en la PTAP dentro de las cuales podría incluir. Reemplazo de la tubería de polietileno por tubería PVC, esta última podría ofrecer una mejor conducción, disminución en las pérdidas por fricción y un flujo uniforme.

Implementar una segunda unidad de sedimentación, la norma RAS así lo recomienda.

Realizar la mezcla rápida en el resalto de la canaleta Parshall y verificar que el caudal de entrada corresponda al diseño de la PTAP, dado que los operadores de la planta deben regular el caudal manualmente cerrando las válvulas para evitar rebose en el sedimentador.

Poner en marcha el aireador de bandejas con el fin de utilizarlo, cuando haya problemas o mantenimiento con el aireador existente.

Tener en consideración el diseño del tanque de almacenamiento, con el fin de poder garantizar el abastecimiento de la población futura servida en el municipio.

Realizar un mantenimiento adecuado a las instalaciones físicas del acueducto puesto que, hay algunos puntos en la planta que presentan deterioro y esto visualmente impacta el buen funcionamiento de la misma.

Considerar otros métodos para aliviar las presiones en la tubería de conducción existente a lo largo de su recorrido. Puesto que actualmente tiene perforaciones hechas con algún elemento cortante, en distintas partes, ocasionando esto perdidas sustanciales a lo largo del trayecto.

Sin embargo, aunque no es objeto de este trabajo; en caso de ser requerido por el municipio se podría realizar la valoración económica del diseño realizado con el fin de que el municipio pueda ampliar o mejorar algunas de las estructuras diseñadas.

## 24. Referencias

- Alberto, D., Arias, L., De Investigación, A., Santiago, K., García, H., Jiménez, D., Carlos, R., & Muñoz, F. M. (2014). *DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ACUEDUCTO COMUNITARIO LA CAPILLA DEL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS INVESTIGADOR PRINCIPAL UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA FACULTAD INGENIERIA INGENIERIAS INGENIERIA CIVIL PEREIRA 2014*.  
[https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17126/DIAGNÓSTICO TÉCNICO DEL ACUEDUCTO 2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17126/DIAGNÓSTICO_TÉCNICO_DEL_ACUEDUCTO_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alcaldía de Nocaima. (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial. Acuerdo municipal 038 del 28 de junio de 2000*. <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/eot-192691/esquema-de-ordenamiento-territorial-acuerdo-n-038-del>

Alcaldía municipal de Nocaima. (n.d.). *Secretaría de Planeación*. Retrieved May 20, 2021, from [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas\\_contenidos/csecreplanea\\_mapas\\_mapasdepart](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas_contenidos/csecreplanea_mapas_mapasdepart)

Alcaldía municipal de Nocaima. (2017). *HISTORIA - GEOGRAFÍA - ECOLOGÍA Y ECONOMÍA - Alcaldía Municipal de Nocaima en Cundinamarca*. <http://www.nocaima-cundinamarca.gov.co/municipio/historia>

Alejandro Quijano Ardila. (2020). *Profesor, Acueductos y alcantarillado. Videoconferencias y clases de la materia acueductos y alcantarillado*. Bogotá, Bogotá DC.

American Psychological Association. (2020). *Guía Normas APA 7ª Edición*. In *Apa* (Issue 12). <https://normas-apa.org/>

Bogotá DC. (n.d.). *Formato Común Hoja Metodológica*. Retrieved October 5, 2021, from [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)

Centro de escritura Javeriano. (2021). *Manual de normas APA Séptima edición / Pontificia Universidad Javeriana, Cali*. <https://www2.javerianacali.edu.co/centro-escritura/recursos/manual-de-normas-apa-septima-edicion#gsc.tab=0>

Congreso de la República de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia. Const* (P. & JANÉS (Ed.); primera Ed).

Colombia. Ministerio de Vivienda. Ciudad y territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO B. Sietema de acueductos*. Bogotá DC: Universidad de los Andes. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/Forms/AllItems.aspx>

Colombia. Ministerio de vivienda ciudad y territorio. (2017). *Resolución 330 de 08 de junio de 2017*. Bogotá. Obtenido de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%200330%20de%202017.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%200330%20de%202017.pdf)

Colombia. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C. Sistemas de Potabilización* (A. (ED) Vargas Liévano (Ed.)).

Cundinamarca, G. de. (n.d.). *Secretaría de Planeación*. Mapas PDF. Retrieved May 20, 2021, from [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas\\_contenidos/csecreplanea\\_mapas\\_mapasdepart](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas_contenidos/csecreplanea_mapas_mapasdepart)

Cundinamarca, G. de. (2020). *Secretaría de Planeación*. Mapas PDF. [http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas\\_contenidos/csecreplanea\\_mapas\\_mapasdepart](http://www.cundinamarca.gov.co/Home/SecretariasEntidades.gc/Secretariadeplaneacion/SecretariadeplaneacionDespliegue/asmapas_contenidos/csecreplanea_mapas_mapasdepart)

- DANE. (2019). *Información Técnica*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/informacion-tecnica>
- DANE. (2018). *DANE: Redatam Webserver / Procesamiento y Difusión de Microdatos*. Censo General 2005-Formulario Ampliado. <http://systema59.dane.gov.co/bincol/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=BASECG2005AMP&lang=esp>
- DANE. (2018). *DANE: Redatam Webserver / Procesamiento y Difusión de Microdatos*. Censo Poblacional Colombia 2018. <http://systema59.dane.gov.co/bincol/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CNPVBASE4V2&lang=esp>
- DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda 2018. In *DANE, publicación para todos* (p. 66). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>
- Daniel Hernández Jiménez, J., Sebastián, J., Pérez, G., Jiménez, H., & García, &. (2015). *Diagnóstico y análisis de alternativas para la optimización del sistema de acueducto de la vereda de Chacua del municipio de Sibaté*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitariahttps://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/552](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitariahttps://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/552)
- Instituto geográfico Agustín Codazzi. (2021). *Colombia en mapas*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/#>
- López Cualla, R. A. (2003). *ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS* (E. C. de Ingeniería (Ed.); Segunda Ed).
- Maldonado, H., Abad, A. V., General, S., Técnicos, D., Efraín, E., & Delgado, F. (2009). *DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA*. [http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LB\\_809\\_1993.PDF](http://biblioteca.dane.gov.co/media/libros/LB_809_1993.PDF)
- Resolución 0330 08 de junio de 2017*, (2017) (Ministerio de vivienda ciudad y territorio). <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Maldonado, H., Abad, A. V., General, S., Técnicos, D., Efraín, E., Delgado, F., Instituto geográfico Agustín Codazzi, Daniel Hernández Jiménez, J., Sebastián, J., Pérez, G., Jiménez, H., García, &, DANE, Cundinamarca, G. de G. de, Colombia. Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Alcaldía municipal de Nocaima, Alcaldía de Nocaima, Alberto, D., ... Muñoz, F. M. (2018). *Secretaría de Planeación* (A. (ED) Vargas Liévano (Ed.)). Mapas PDF. [https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/17126/DIAGNÓSTICO\\_TÉCNICO\\_DEL\\_ACUEDUCTO\\_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/17126/DIAGNÓSTICO_TÉCNICO_DEL_ACUEDUCTO_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ministerio de protección social; Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2007).  
*RESOLUCIÓN 2115 del 22 de junio 2007*. RESOLUCIÓN 2115 Del 22 de junio 2007.  
[https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf)
- Pajarito Correa, L. Andrea. (2021). *Informe de gestión de la vigencia 2021*. [https://esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas.micolombiadigital.gov.co/sites/esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas/content/files/000105/5207\\_infome-de-gestion-2021.pdf](https://esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas.micolombiadigital.gov.co/sites/esp-empresa-de-servicios-del-gualiva-sas/content/files/000105/5207_infome-de-gestion-2021.pdf)
- UNAM. (2017). *Citas y referencias en APA*.  
[https://libguides.ulima.edu.pe/citas\\_referencias/Citas#:~:text=Tipos de citas, con énfasis en el texto.&text=Consiste en la reproducción literal de parte del trabajo de otro autor.](https://libguides.ulima.edu.pe/citas_referencias/Citas#:~:text=Tipos de citas, con énfasis en el texto.&text=Consiste en la reproducción literal de parte del trabajo de otro autor.)