

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL BARRIO SAN BENITO TRAMO III DE BOGOTÁ D.C**

FAUSTO JOSÉ GUERRERO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTA DC

2017

**DISEÑO PRELIMINAR DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL BARRIO SAN BENITO TRAMO III DE BOGOTÁ D.C**

FAUSTO JOSÉ GUERRERO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTA DC

2017

Tabla de contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2. ANTECEDENTES.....	9
2.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	9
2.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo General	15
4.2 Objetivos Específicos	15
5. MARCO REFERENCIA.....	16
5.1. MARCO CONCEPTUAL.....	16
5.1.1 AGUAS RESIDUALES (AR)	16
5.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	17
Tabla 5.1 CONDICIÓN GENERAL DEL AGUA RESIDUAL.....	19
Tabla 5.2. Parámetros de aguas residuales urbanas.....	20
5.1.3 Efluentes de aguas residuales.....	27
5.1.4 Constituyentes del agua residual	28
5.2 DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
5.2.1 Pre-tratamiento	29
5.2.2 Sedimentador primario.....	30
5.2. MARCO GEOGRÁFICO	31
5.3 MARCO LEGAL	33
6. DISEÑO METODOLÓGICO	36
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	36
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
6.3 DISEÑO MUESTRAL	36
6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIÓN DE VARIABLES	37
TABLA 6.1 DEFINICIÓN Y MEDICIÓN DE VARIABLES	37
6.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
6.6 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	41

TABLA 6.2. FASES DE INVESTIGACIÓN.....	41
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	42
7.1. MUESTREO	43
Tabla 7.1. Resultados de análisis del agua residual barrio San Benito tramo III	43
7.2 CÁLCULO DE CAUDAL	44
8. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75

Ilustración 1 turbidímetro.....	19
Ilustración 2 relación DBO/DQO	26
Ilustración 3 localización, Localidad, barrio, quebrada y tramo	32
Ilustración 4 envases de vidrio y polipropileno	38
Ilustración 5 potenciómetro	38
Ilustración 6 conductímetro	39
Ilustración 7 nevera portátil.....	39
Ilustración 8 colorímetro.....	40

LISTA DE TABLAS

tabla 1 Condición general del agua residual	19
tabla 2 Parámetros de aguas residuales urbanas.....	20
tabla 3 Definición y medición de variables	37
tabla 4 Fases de investigación	41
tabla 5 Resultados de análisis del agua residual barrio San Benito tramo III	43

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Tunjuelito ubicado en la ciudad de Bogotá presenta un alto nivel de contaminación especialmente el tramo III (comprendido entre la Cr 16b hasta la Cr19) en el barrio San Benito, por causa de los vertimientos realizados en el sector. La contaminación que lleva el río son aguas residuales domésticas en los puntos de vertimiento que descargan mediante el sistema de alcantarillado público que aportan entre otras descargas de materia orgánica, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno y fecales. En este tramo el sistema del alcantarillado corresponde al río Tunjuelo.

Uno de los mayores contaminantes del río son los barrios que descargan en la quebrada Chiguaza que desemboca en este punto aguas abajo del río Tunjuelo, este punto se ha convertido en focos de infección y enfermedades, siendo su mayor parte de contaminación en los Barrios (La Gloria, Villa del Cerro, Canadá, La Península, Buenos Aires, Molinos II y San Agustín); La falta de interceptores en la quebrada afluentes al río hacen que las aguas residuales domésticas e industriales sean vertidas directamente al río generando contaminación, a éstos se suma las actividades tradicionales de cultivos y ganadería de usos prohibidos de áreas protegidas.

En el sector también existe fábricas dedicadas al tratamiento del cuero que es uno de los mayores contaminantes que existen de los afluentes, pero en este caso se supone que las industrias de curtiembres que están en el barrio deben tratar las aguas residuales industriales antes de ser descargadas al río. Estos contaminantes afectan la comunidad debido a que se propagan insectos y roedores, que son transmisores de enfermedades infectocontagiosas; así como también, problemas de salud por las infecciones respiratorias y diarreicas que afectan la población infantil y al adulto mayor en su mayoría.

Actualmente se han propuesto proyectos educativos para la comunidad y la gestión de la Corporación Autónoma Regional (CAR) así como la EAB-ESP ha formulado un plan de alcantarillado, plan de cumplimiento para la descontaminación del río Tunjuelo, plan de saneamiento y manejo de vertimientos; sin embargo, en estos

planes no se ha planteado el diseño de un de tratamiento preliminar de aguas residuales como una opción para dar solución a la problemática.

Por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el diseño preliminar más adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales para mitigar los impactos de la contaminación del Barrio San Benito que llega al río Tunjuelo tramo III?

2. ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

En el municipio de La Tebaida en el departamento de Quindío el investigador Alejandro Quintero Ángel¹, realizó la evaluación preliminar del funcionamiento y el comportamiento mostrado por un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, la metodología utilizada durante el desarrollo del presente estudio involucró una serie de pruebas de laboratorio de aguas residuales de la empresa sanitaria del Quindío ESAQUIN S.A E.S.P. éste se basó especialmente en la medición de parámetros de control, tales como: caudal, demanda química de oxígeno, sólidos sedimentables, pH, temperatura y alcalinidad. A través de la tecnología de flujo ascendente con manto de lodos realiza el control de aguas residuales para garantizar una remoción de la carga orgánica contaminante que es producida en dicha zona procurando producir un efluente del tratamiento anaerobio que se vierta en la quebrada la Jaramilla sin producir deterioro en las aguas en este tramo de la quebrada. Este autor concluye que dicho estudio se desarrolla con base en el suministro de la información de los análisis de control que se realizan en el laboratorio. Los resultados obtenidos en las pruebas permitieron definir los parámetros más adecuados de mayor influencia para la operación de la PTAR existente y diseño de nuevas ideas que ese requiera para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

En el departamento de Casanare en la locación petrolera Caño Gandul la investigadora Alejandra Patricia Otálora Rodríguez², evaluó la calidad del agua a la entrada y salida de cada reactor de las PTAR, en las diferentes fases de arranque y operación hasta lograr el estado estacionario del proceso. También hizo el monitoreo de las condiciones de operación y mantenimiento del sistema construido. Calificar observar el proceso con otras alternativas convencionales de tratamiento para estos efluentes con base en los resultados obtenidos. Aproximación a la modelación de la remoción en el humedal a partir de los modelos clásicos de decaimiento de contaminantes.

¹ QUINTERO, Alejandro. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida Quindío. Especialización en ingeniería ambiental-área sanitaria. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2007. P.12

² OTALORA, Alejandra. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de Caño Gandúl, Maestría en ingeniería ambiental. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 2011. 4 p.

La evaluación del sistema de humedales artificiales de alta tasa construido en la estación Caño Gandul, se inició mediante la recolección de información preliminar de las memorias técnicas, diseños e información cartográfica, así como análisis de aguas de muestreos realizados al sistema de tratamiento. Conocida dicha información se llevaron a cabo tres muestreos en varias unidades componentes del sistema de tratamiento, una vez recolectadas las muestras, estas se trasladaron al laboratorio de análisis de aguas de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, donde se llevaron a cabo los ensayos químicos y microbiológicos necesarios para la caracterización del agua residual. Una vez obtenidos los reportes de los análisis de laboratorio, se realizó la evaluación estadística para determinar los valores medios, desviación estándar y coeficientes de variación para evaluar el comportamiento de dichos resultados.

Posteriormente se evaluó la composición de las aguas residuales domésticas y se determinó la eficiencia de remoción de cada uno de los parámetros estudiados. Se realizó una aproximación a la modelación de la remoción en el humedal mediante la determinación de la constante cinética de velocidad de la reacción en el proceso de degradación de algunos parámetros de calidad del agua medidos.

En el municipio de La Castilla la nueva (Meta), el investigador Javier Orlando Baquero Guayacán³ realizó el proceso de oxidación con Peróxido de Hidrógeno H₂O₂ (al 50%), al agua residual doméstica efluente de la planta de tratamiento de agua residual Pinares del municipio de Castilla La Nueva (Meta), como complemento y etapa final del tratamiento biológico, obviando la desinfección con cloro. Se hicieron ensayos para remoción de color por sulfuros metálicos y desinfección de agua residual doméstica aplicando Peróxido De Hidrógeno al 50% al agua residual. El ensayo se centra en una prueba de jarras para las diferentes dosificaciones empíricas de peróxido de hidrógeno.

La dosificación del peróxido se inicia con 0,3 ml por litro de agua residual, hasta un valor máximo de 8 ml por litro de agua residual. De manera paralela al ensayo de aplicación de H₂O₂ se adicionará sulfato de aluminio (0,5 ml), con el propósito de ayudar a remover color del agua residual y ver qué efecto tiene en la eficiencia del oxidante. Se espera que la solución de peróxido y alumbre genere lodos. Se inicia un ensayo de jarras para las diferentes dosificaciones dejando mezcla rápida por 25 minutos y mezcla lenta por 40 minutos.

³ BAQUERO, Javier. Oxidación con peróxido de hidrógeno como pulimiento del efluente de la PTAR "Pinares" Castilla La Nueva Meta, tesis de especialización ingeniería de sistemas hídricos urbanos. Bogotá: Universidad de los andes. 2014.16 p.

La temperatura del agua en el instante de la aplicación del H_2O_2 tratara de simular las condiciones del agua en la planta (30 °C). También se harán ensayos con agua a 50 °C para ver qué efecto tiene la temperatura en las reacciones y si hay bastante diferencia a los resultados previos.

Al finalizar la prueba de jarras se miden de forma directa los parámetros: color aparente, pH y temperatura. A las muestras donde se obtuvo una reducción más alta de color, son seleccionadas para hacer el ensayo de detección de coliformes totales. Esto con el fin de evaluar la acción desinfectante del H_2O_2 . Se toma una muestra de control del agua residual donde se miden los mismos parámetros. Se obtendrán remociones de color, y reducción de coliformes totales para cada concentración de peróxido con y sin alumbre.

La aplicación de H_2O_2 en los volúmenes de los ensayos no tiene un efecto significativo en el pH ocasionando un descenso en su valor permaneciendo el pH cerca de 6. Cumple el decreto 1594/84. La solución peróxido de hidrógeno y sulfato de aluminio es más eficiente en la remoción de color. El sulfato de aluminio genera precipitados que reducen el color, a diferencia del peróxido que no genera sedimento alguno. Es una alternativa es costosa pues requiere de la compra del sulfato de aluminio, de una estructura de mezclado de alto gradiente para garantizar la mezcla rápida y por supuesto genera lodos que habría que tratar y disponer. Después de la remoción de sulfuros se espera una disminución de los olores provenientes del agua residual.

Los anteriores antecedentes aportan los parámetros que se deben tener en cuenta para el óptimo funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para mejorar la calidad del agua que cae al río Tunjuelito. También podemos hacer el estudio del agua residual doméstica por medio de equipos y limpieza de químicos diferentes al cloro de los cuales no se tenía conocimiento alguno y que se pueden llegar a utilizar de ser necesario en caso de que se dificulte algún análisis de los diferentes parámetros a estudiar.

2.2 ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

En el país de Guatemala el investigador Diego Josué Robín⁴ realizó un estudio para hallar las características fisicoquímicas y microbiológicas actuales del agua residual del municipio San Juan Chamelco Alta Verapaz; se utilizaron equipos para la medición de parámetros a evaluar, como el medidor multiparámetros Hanna HI 255, papel de pH, termómetro ambiental, recipientes plásticos estériles 800 mm, una hielera de un galón, un recipiente de cinco galones y un GPS.

De igual manera se tomaron muestras de agua residual de desfogue municipal analizadas en el laboratorio donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos como fósforo, nitrógeno, turbiedad, DQO y DBO, níquel, plomo, color, coliformes fecales, materia flotante, sólidos en sedimentales y sólidos suspendidos, mediante un espectrómetro, tomando como referencia el método de estándar Métodos para el examen del agua y de los residuos. Se planteó una medida de mitigación ante los hallazgos encontrados en la carga contaminante. Proponiendo una planta de tratamiento de aguas residuales de nivel secundario para reducir la carga considerando que esta influye negativamente al municipio a nivel ambiental y socioeconómico.

En la ciudad de Caracas-Venezuela, las investigadoras⁵ Zasha Cisneros y Daniela Penso, realizó un estudio sobre el diseño de plantas de tratamientos de aguas residuales para la urbanización “mis cariños” Chaguaramas estado de Guárico, donde el agua en su disposición final será vertida en cauces naturales.

La planta cuenta con un conjunto de componentes que juntos integran funcionamiento apropiado, estos son: el redactor biológico acoplado con tuberías sopladoras de aire, el sedimentador que cuenta con una tolva conectada con una tubería o bomba Neumo-eyectora tipo Air-Life, encargada de la recirculación del agua. La cámara de cloración y el lechado secado estos son los componentes principales para el funcionamiento apropiado de la planta.

En esta investigación los autores concluyeron que los procesos más significativos para esta planta de tratamiento de aguas residuales fueron un sistema de aireación,

⁴ MACLONI, Diego. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio San Juan Chamelco. Ingeniero ambiental en el grado académico licenciado. Guatemala de la asunción. Universidad Rafael Landivar. 2014. P26

⁵ CISNEROS, Zasha. PENSO, Diana. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la urbanización mis cariños, Chaguaramas, estado de Guárico, para ser vertidas en un cauce natural. En el grado académico Ingeniera Civil .Caracas Venezuela. Universidad Nueva Esparta 2012. P 35

sedimentación y purificación; la aireación se realiza dentro de un reactor biológico y su funcionamiento es sopar oxígeno mediante el uso de tuberías perforadas con el propósito de separar el material orgánico o lodo. El agua resultante de esta etapa transportada al segundo proceso que es el de sedimentación en este el tanque se termina de separar el agua del material orgánico o lodo se devuelve mediante un sistema de tubería que los succionaba para matar los organismos infecciosos y por último es la purificación de donde se utiliza el cloro para desinfectarla.

3. JUSTIFICACIÓN

Uno de los grandes problemas que afectan actualmente las corrientes de agua de las cuales se benefician los habitantes del mundo, es la contaminación generada a través de las aguas residuales que surgen desde un hogar o desde grandes empresas. Éstas son descargadas a los sistemas de alcantarillado. Las aguas residuales domésticas constan principalmente de papel, jabón, orina, heces y detergentes; los desechos industriales, en cambio, son variados y dependen de los procesos específicos de las plantas de las que proceden en origen. En algunos casos, los residuos industriales son liberados directamente sobre los ríos y mares.

La utilización de sistemas sépticos para el tratamiento del agua residual doméstica de una familia, o bien de plantas de tratamiento de agua residual hacia un mayor número de habitantes, es la manera más efectiva de evitar la contaminación del suelo y eventualmente de fuentes de abastecimiento de agua.

Es de vital importancia reconocer lo imprescindible que es el tratamiento de estas aguas antes de ser vertidas nuevamente a los afluentes naturales, y procurar a través de diferentes acciones como el control y manejo adecuado de las basuras, el disminuir la contaminación que se genera en ellas. Teniendo en cuenta estos aspectos y la normativa ambiental las personas se verán beneficiadas debido a que contarán con una mejor calidad de vida, así como también se evitará que esta contaminación que lleva el río avance en la cuenca baja donde puede afectar más personas.

Esta investigación pretende que a futuro se pueda reducir los niveles de contaminación para que así mitigar el daño que se está causando no solo a la comunidad si no también el que se está generando a la desembocadura de este río.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Plantear un diseño preliminar de una planta de tratamiento de aguas residuales que permita mitigar la contaminación que llega al Río Tunjuelito tramo III del Barrio San Benito.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros relevantes de las aguas residuales debido a las curtiembres presentes en la zona.
- Diagnosticar el estado físico actual del sistema de alcantarillado del Barrio San Benito en las fuentes ya existentes por parte de la Empresa de Acueducto de Bogotá.
- Diseñar la estructura más conveniente para un tratamiento primario que permitan reducir el DBO y DQO que contiene el agua del sector.

5. MARCO REFERENCIA

5.1. Marco conceptual

5.1.1 Aguas residuales (ar)

Las actividades humanas generan inevitablemente aguas residuales que contaminan nuestros ríos. Las aguas residuales domésticas son las procedentes de las zonas de vivienda y de servicios producidas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. En las aguas residuales urbanas estarán siempre presentes en las aguas residuales domésticas, pero también puede haber dependiendo del grado de industrialización de la aglomeración urbana, aguas industriales procedentes de actividades de este tipo que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado, así como de escorrentía pluvial.

“Estas pueden ser llamadas aguas negras o cloacales; o una combinación de ellas sin tratamiento posterior a su uso. También se acostumbra a denominar aguas residuales a las aguas provenientes de inodoros es decir aquellas que transportan excrementos humanos ricas en (SST) sólidos suspendidos totales, nitrógeno, y coliformes fecales; y aguas grises provenientes de tinajas, duchas, lavadoras, lavaplatos y sifones, aportantes de (DBO) demanda bioquímica de oxígeno, (SS) sólidos suspendidos, fosforo y grasas”⁶.

Para hablar de aguas residuales es indispensable conocer la fuente de éstas y los componentes que la forman; como lo son los diferentes tipos de efluentes que existen, las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua residual ya que son datos indispensables para la investigación a realizar.

⁶ MARÍN, Rafael. Análisis de aguas y ensayos de tratamiento. 2000. 1° Edición. P. 87

5.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

5.1.2.1 Características físicas

A continuación, se describen las características más relevantes de las aguas residuales como los son las físicas y químicas.

➤ **Sólidos**

En las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicos e inorgánicos. “Los sólidos orgánicos son sustancias que contienen carbón, nitrógeno, y oxígeno; los principales grupos los conforman las proteínas, los carbohidratos y las grasas, susceptibles todos a ser degradados por bacterias y de organismos vivos que son combustibles”⁷. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no susceptibles de ser degradados comúnmente llamados como minerales. “Dentro de éstos se incluyen las arenas aceites y sales minerales disueltas en el agua potable y sin propiedades combustibles”⁸.

Algunos sólidos inorgánicos pueden ser arcillas, limos u otros componentes del suelo; de la misma forma pueden ser encontrados sólidos orgánicos como restos de plantas y microorganismos. Existen grandes cantidades de sólidos en suspensión orgánicos e inorgánicos, producto de los procesos industriales y domésticos, así como también líquidos inmiscibles como aceites y grasas.

Los sólidos suspendidos son aquellos que son visibles en la superficie y el fondo de las aguas residuales, estos pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de procesos de filtración o sedimentación. “En esta clasificación las grandes partículas que flotan tales como la arcilla, sólidos fecales, restos de papel, partículas de comida y basura, de los cuales el 70% son orgánicos y 30% inorgánicos”⁹.

⁷CRITES Ron y TCHOBANOGLUS George. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES. Mc Graw Hill. Usa. 2000. P. 37

⁸ Ibíd., P. 97

⁹ VIII FASE DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE EFLUENTES INDUSTRIALES Y CORRIENTES SUPERFICIALES DE BOGOTÁ D.C. (en línea). 2005 (consultado 8 marzo de 2017). Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/220042/Octava-FASE.pdf>

➤ **Sólidos totales (ST):**

Son los residuos remanentes después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (103 a 105 °C)

➤ **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Son una fracción de los ST retenidos en un filtro con un tamaño específico de filtro medida después de que se ha secado a una temperatura específica.

➤ **Sólidos disueltos totales (SDT)**

son aquellos que pasan a través del filtro, que son evaporados y secados a una temperatura específica, la medida comprende coloides y SD. “Sólidos sedimentables: Son sólidos suspendidos que se expresan como milímetros por litros, los cuales se sedimentan fuera de la suspensión dentro de un rango de tiempo específico”¹⁰.

➤ **Turbiedad**

Es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como micro organismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio, etc. La turbiedad nos es generalmente usada como forma de control de aguas residuales crudas pero puede ser medida para caracterizar la eficiencia del tratamiento secundario una vez que, puede ser relacionada con la concentración de sólidos en suspensión. La siguiente imagen es un turbidímetro medidor de esta característica.

¹⁰ *Ibíd.*, P. 110

Ilustración 1 turbidímetro



Fuente: [https://www.google.com.co/search?q=imagen+de+turbidimetro&rlz=\[12,abril,2017\]](https://www.google.com.co/search?q=imagen+de+turbidimetro&rlz=[12,abril,2017])

➤ **Color**

El color del agua residual es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. “el color causado por sólidos suspendidos se denomina color aparente, mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero”¹¹. El color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada; el color de una muestra de agua residual se determina comparando el color de la muestra y el color producido por las soluciones de diferente concentración. Existen varios valores cualitativos para estimar la condición general del agua residual, la tabla 5.1 se muestran dichos valores.

Tabla 5.1 Condición general del agua residual

COLOR	DESCRIPCIÓN
Café claro	El agua lleva seis horas después de la descarga.
Gris claro	Aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección.
Gris oscuro o negro	Aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterias bajo las condiciones anaerobias.

Fuente: CRITES Ron y TCHOBANOGLUS George¹²

¹¹ MOHIA Gabriela, MORENO Patricia. Química. 1 ed. Buenos Aires. Ministerio de educación de la nación.2011. p.25. ISBN 978-950-00-0862-4

¹² CRITES Ron y TCHOBANOGLUS George “tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones”, usa 2000 P. 33

➤ Temperatura

La temperatura del agua residual es por lo general es mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente del uso doméstico e industrial; la medición de la temperatura es muy importante debido a que la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos de que dependen de la temperatura. “es un parámetro muy importante debido a que afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos, cuando la temperatura es baja el crecimiento y la reproducción de organismos también lo es”.¹³

Los rangos habituales de estos parámetros en las aguas residuales urbanas procedentes de grandes y medianas aglomeraciones urbanas se recogen en la Tabla 5.2

Tabla 5.2. Parámetros de aguas residuales urbanas

PÁRAMETRO	RANGO HABITUAL
Sólidos en suspensión (mg/l)	150-300
DBO5 (mg/l)	200-300
DQO (mg/l)	300-600
Nitrógeno (mg N/l)	50-75
Fósforo (mg P/l)	15-20
Grasas (mg/l)	50-100
Coliformes totales (UFC/100ml)	10 ⁶ -10 ⁷

Fuente: (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y desarrollo, 2008)

¹³ Ibíd.p.27

➤ **Conductividad**

La conductividad eléctrica del agua es la medida de la capacidad e una solución para la conducción de la corriente eléctrica es transportada por iones de solución el aumento de la concentración de iones que provoca un aumento en la conductividad.

“La conductividad eléctrica se expresa en micromhos por centímetro (umho/cm) en unidades del sistema inglés como milisimens por metro (mS/m) en unidades de SI.”¹⁴

➤ **Olor**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Los olores pueden medirse con métodos sensoriales, mientras que las concentraciones de olores específicos pueden determinarse con métodos instrumentales. Se ha podido constatar que, en condiciones estrictamente controladas, la medida sensorial (organoléptica) de los olores, empleando el olfato humano puede proporcionar resultados fiables y significativos. “Es por ello que, a menudo, se emplea el método sensorial para la medición de los olores que emanan de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. La posibilidad de contar con aparatos de medición de sulfuro de hidrógeno de lectura directa capaces de detectar concentraciones de hasta 1 ppb ha representado un gran avance en esta materia”.¹⁵

¹⁴ Ibíd., pág. 48

¹⁵ Ibíd. Pág. 45

5.1.2.2 Características químicas

➤ **Nitrógeno**

“Al ser el amoníaco el primer producto de la degradación de la urea y del material proteico, se puede considerar como producto de la degradación de la urea y del material proteico, se puede considerar como el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal reciente. Hay algunas especies que utilizan el amonio preferentemente al nitrato, cuando ambos están disponibles; e incluso, el amonio puede inhibir la captación de nitratos por los organismos”¹⁶. Sin embargo, el amonio resulta tóxico para algunas especies de microorganismos, sobretodo en forma de NH₃, porque está descargado y es soluble en los lípidos, por lo que puede atravesar las membranas biológicas más rápidamente. Esto puede interferir el tratamiento biológico de las aguas residuales.

La importancia del nitrógeno radica en que es esencial para la síntesis de proteínas, necesitan conocer sobre la presencia de este nutriente para evaluar el tratamiento del agua residual mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

➤ **pH**

Es la expresión para medir “la concentración del ion hidrógeno en una solución. Este se define como el logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno.”¹⁷ El pH es una medición muy importante debido a que partiendo de estos resultados se buscar neutralizar el agua y no sea perjudicial para el medio ambiente ni los seres humanos.

$$pH = -\text{Log}_{10}(H)^{+}$$

Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales. De este modo, un efluente con pH adverso puede alterar la composición y modificar la vida biológica

¹⁶ ESPIGARES, Alejandro. Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. 1985.

¹⁷ FERRER, José. Tratamientos biológicos de aguas residuales. Valencia. Universidad politécnica de Valencia.2003 p.43.

de las aguas naturales. También es más difícil de tratar por métodos biológicos, que sólo pueden realizarse entre valores de pH de 6,5 a 8,5.

Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro. Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación.

➤ **Alcalinidad**

Esta se define como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. “en las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos, y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio”¹⁸. La alcalinidad en el agua residual es provocada por la presencia de hidróxidos dentro de estos los anteriormente mencionados; esta alcalinidad nos ayuda a regular los cambios en el pH son producidos por la adición de ácidos. Normalmente el agua residual es alcalina debido a que es una propiedad que adquiere las aguas en tratamiento, el agua subterránea y los materiales añadidos en los usos domésticos.

➤ **Acidez**

Este es un parámetro muy importante a considerar en un análisis de aguas residuales este es el que mide la acidez de la muestra o su capacidad para ceder protones por lo general es deseable que el agua residual que vaya a tratar “tenga un pH cercano a 0.7, para que el tratamiento biológico sea efectivo”¹⁹, especialmente en las aguas residuales están presentes varias formas de acidez mineral libre. En algunos casos los sistemas de microbianos pueden reducir la acidez al oxidar bioquímicamente los ácidos grasos.

➤ **Cloruros**

La concentración de cloruros de aguas residuales es un parámetro muy importante relacionado con la reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviado las rocas y rocas y los suelos con los que ellas n contactos. En áreas costeras las concentraciones de los cloruros pueden prevenir de la ilustración de aguas salinas y salobres.

¹⁸ *Ibíd.*, p.44

¹⁹ CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS [en línea]. 2000 [consultado 15 marzo]. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.

Es indicador indirecto de contaminación fecal, “ya que el hombre elimina unos 6 gr de cloruros al día aproximadamente en las excretas. Pero los cloruros pueden tener otras procedencias, como son la infiltración de aguas marinas, en los acuíferos subterráneos próximos al mar, y también pueden aparecer debido al uso de sustancias ablandadoras, en los tratamientos del agua de abastecimiento, cuando la dureza de ésta es elevada, por lo que en la actualidad los cloruros han perdido todo valor como indicador de contaminación fecal”.²⁰

➤ **Metales**

“Los metales tienen interés en la parte de tratamiento, reutilización y vertimiento de los lodos y efluentes ya tratados, ya que todos los organismos necesitan para su adecuado desarrollo elementos tales como hierro, cromo, cobre, zinc en diferentes cantidades. Aunque los metales estén en cantidades micro o macro y sean necesarios para el desarrollo biológico, estos pueden convertirse en tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas”²¹

➤ **Fósforo.**

El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, “actualmente existe mucho interés en limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías naturales. Como ejemplo podemos citar el caso de las aguas residuales municipales, cuyo contenido en fósforo como P puede variar entre 4 y 15 mg/l”.²²

El ion fosfato tiene una carga formal negativa y es la base conjugada del ion hidrogeno fosfato HPO_4^{2-}

➤ **Gases disueltos**

Las aguas residuales contienen pequeñas y variadas concentraciones de gases disueltos; entre uno de los más importantes se encuentra el oxígeno el cual se encuentra presente en el agua en su estado original, este es generalmente denominado como oxígeno disuelto, también podemos encontrar el anhídrido carbónico, que es el resultante de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmosfera y sulfuro de hidrogeno de compuestos como azufre tanto orgánicos como inorgánicos.

²⁰ Ibíd., pág. 53

²¹ Ibíd. Pág. 50

²² Ibíd. Pág. 52

5.1.2.3 Características químicas de los compuestos orgánicos agregados

➤ **(DBO) Demanda Bioquímica Del Oxígeno**

Es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno disuelto para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

➤ **(DBO) Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea**

Para el análisis de DBO carbonácea se inhiben las bacterias nitrificantes con agentes específicos con azul de metileno o nitrificantes con agentes específicos como azul de metileno o por medio de pretratamientos como pasteurización, cloración y acidificación. Es utilizada por las bacterias para degradar compuestos orgánicos de carbono.

➤ **(DBON) Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada**

Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos oxiden el amoníaco presente en la materia orgánica y luego a nitrito.

➤ **(DQO) Demanda química de oxígeno.**

La prueba del DQO es usada para medir el material orgánico presente en aguas residuales susceptibles de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido.

“Aunque el valor de la DBO carbonácea última fuera similar al de la DQO, este sería un caso fortuito. Algunas razones para explicar la diferencia:

- Muchas sustancias orgánicas las cuales son difíciles de oxidar biológicamente, tales como la lignina, pueden ser usadas químicamente.
- Las sustancias inorgánicas que se oxidan con dicromato y aumentan la evidentemente el contenido orgánico de las muestras.
- Algunas sustancias orgánicas pueden ser tóxicas para los microorganismos usados en las pruebas del DBO.

- Valores altos de DQO se puede obtener por la presencia de sustancias inorgánicas en las cuales el dicromato puede reaccionar”.²³

Algunos materiales no se pueden degradar biológicamente por que resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Para conocer la cantidad de este tipo de materiales orgánicos no biodegradables se realiza la prueba de (DBO) junto con la prueba de (DBQ) y así poder calcular la cantidad de biodegradables presentes en el agua.

“La relación DBO/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas”.²⁴

Ilustración 2 relación DBO/DQO

{	≥ 0,4	Aguas muy biodegradables
	0,2 - 0,4	Aguas biodegradables
	≤ 0,2	Aguas poco biodegradables

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.

➤ (COT) Carbono orgánico total

La concentración de carbono orgánico total en las aguas residuales es una medida de un grado de contaminación y estos valores pueden ser relacionados con el (DQO). Para este (COT) se realiza un ensayo para poder determinar la concentración de materia orgánica presente, en este ensayo “involucra un proceso de oxidación de la materia orgánica mediante un proceso de combustión hasta que se obtenga dióxido de carbono y agua”.²⁵

Los métodos para esta prueba del COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en la muestra. Los métodos para la prueba se utilizan calor y oxígeno, radiación ultra violeta oxidantes químicos o alguna combinación de esto para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono el cual se mide con un analizador infrarrojo o por otros medios.

²³ *Ibíd.*p.67

²⁴ (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y desarrollo, 2008)

²⁵ CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES Y LODOS [en línea]. 2000 [consultado 15 marzo]. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-01.pdf>.

5.1.2.4 Características biológicas

El agua residual urbana contiene microorganismos de muchas clases, algunos de ellos muy perjudiciales para la salud por ser causantes de enfermedades. Los tipos de microorganismos más abundantes en el agua residual son bacterias, protozoos y virus.

➤ **Bacterias**

Bacterias Las bacterias son microorganismos unicelulares que se multiplican por escisión celular, es decir, dividiéndose en dos partes. Cuando se miran al microscopio se observa que tienen distintas formas, entre las cuales la de palito es la más frecuente (bacilos). Según cuál sea su fuente de alimentación, las bacterias pueden ser autótrofas (pueden crecer en medios completamente inorgánicos) o heterótrofas (dependen de compuestos orgánicos para alimentarse). Ejemplos de bacterias autótrofas, en el agua residual y en el tratamiento biológico de ésta las bacterias más importantes son heterótrofas. “Otra importante distinción entre bacterias viene dada por su necesidad de oxígeno disuelto. Se llaman bacterias anaerobias aquellas que no pueden vivir en presencia de oxígeno, y bacterias aerobias a las que no pueden vivir en ausencia de oxígeno. Por último, las bacterias facultativas son las que se adaptan a la presencia o ausencia del oxígeno, y viven tanto en medio aerobias como anaerobias”.²⁶

5.1.3 Efluentes de aguas residuales

“El drenaje sanitario es el agua residual procedente de cocinas baños, lavabos, sanitarios y lavanderías, las materias orgánicas originalmente contenidas en el agua suministrada por la comunidad”²⁷, se agrega un conjunto de materias fecales papel, jabón, suciedad, restos de alimentos y otras sustancias. “Gran parte de la materia residual es orgánica y útil para los microorganismos saprófitos, es decir, organismos de la descomposición”.²⁸

²⁶AGUAS RESIDUALES MOPT. [en línea]. 2000 [consultado 20 abril de 2017]. Disponible en <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/residuales.pdf>

²⁷ GONZALES, Pedro. Planta de tratamiento de aguas residuales. Equipos electromecánicos. Ingeniería constructiva.2013. 1° edición, p. 28

²⁸ Ibid, pág. 30

Las aguas residuales industriales varían según su composición de acuerdo con los procesos industriales a los que son sometidos. Algunas son aguas de enjuague relativamente limpias, otras se encuentran fuertemente cargadas de materia orgánica o mineral, o sustancias corrosivas, inflamables o explosivas.

5.1.4 Constituyentes del agua residual

Las aguas residuales “se componen, básicamente, de un 99,9% de agua en su estado líquido y de un 0,1% por peso de sólidos, sean estos disueltos o suspendidos”.²⁹

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Los análisis empleados usualmente para cuantificar estos constituyentes encontrados en aguas residuales son “sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos fijos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos fijos, sólidos disueltos totales, sólidos disueltos volátiles, sólidos disueltos fijos totales, distribución de partícula por tamaño, turbiedad color, olor, temperatura, densidad y conductividad.

Características químicas inorgánicas nitrógeno orgánico, nitrógeno total, nitritos nitratos, fósforo total, pH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, metales, gases.

Características químicas orgánicas son demanda bioquímica carbonácea de oxígeno demanda química de oxígenos, carbono orgánico total”.³⁰

Y los sólidos suspendidos los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia y por ello la mayoría de las instalaciones de aguas residuales son diseñadas para su remoción.³¹

²⁹ GORDON. Fair. Water and waste. Water Engineering. 2015. 2° Edition. P. 33

³⁰ TCHOBABNOGLOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas plocaciones.1 Ed. Colombia 2000. p.21. ISBN 10:958-41-0042-4

³¹ Ibíd., pág. 31

5.2 DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

5.2.1 Pre-tratamiento

“Antes de que las aguas residuales pasen por el proceso de tratamiento biológico, que también se denomina proceso "secundario", se requiere de un "pretratamiento" o "tratamiento primario", donde se retirarán las partículas no disueltas de las aguas”³²; estas partículas podrían ocasionar bloqueos o incluso daños de algunas partes rotativas como distribuidores en un filtro percolador, barre lodos en tanques de sedimentación y erosionar los impellers y los encajes de las bombas de lodos. Además, pueden ocasionar bloqueos en tuberías o sedimentar en los filtros percoladores, los clarificadores, los digestores de lodos. Esta separación de arenas y partículas pesadas se lleva a cabo en un desarenador.

Los otros sólidos gruesos no disueltos se retiran antes del sistema de tratamiento biológico mediante una rejilla.

5.2.1.1 Rejillas

Están formadas por barras paralelas con espaciamiento entre ellas entre 2 y 15 cm. Están instaladas en un ángulo que oscila entre 45 y 60 grados con la horizontal.

“Las rejillas pueden ser de diferentes tipos:

- De limpieza manual.
- De limpieza mecánica.
- En forma de canasta.
- Retenedoras de fibra.

Entre las más comunes están las primeras, o sea, aquellas que se limpian manualmente”.³³

³² GRUPO BIODINAMICO S.A. (en línea). 2002 (consultado 31 octubre de 2017). Disponible en <http://grupobiodinamico.com/wp-content/themes/principal/material-apoyo/sanitarios/Ultra.pdf>

³³GUTIERREZ, Carlos. Plantas de tratamientos de aguas residuales mediante filtros percoladores [en línea], Octubre 2005 [consultado 31 octubre 2017]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/284446077_Plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_Filtros_percoladores.

5.2.2 Sedimentador primario

El tratamiento primario es básicamente la remoción de aquellos sólidos en suspensión que son sedimentables, mediante el proceso físico de decantación o sedimentación. Se remueve una fracción de DBO de las aguas residuales. Los sólidos se depositan en el fondo, donde deben ser extraídos periódicamente a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que tengan lugar su descomposición en el fondo y la formación de gases. “los sedimentadores pueden ser convencionales. Desde el punto de vista estructural, la principal diferencia entre ambos radica que en los lamelares poseen en su interior laminas inclinadas que tienden a favorecer la remoción de los sólidos suspendidos al aumentar el área de sedimentación.”³⁴

Ilustración 3 rejillas



Fuente: https://www.researchgate.net/publication/284446077_Plantas_de_tratamiento [en línea] consultado [3 de noviembre 2017]

Estas rejillas se encuentran localizadas aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento posterior que se susceptible de obstruirse del material grueso contenido en el agua residual sin tratar

³⁴ Ibíd. 7

5.2.1.2 Desarenador

La velocidad del flujo en los desarenadores debe ser lo suficientemente baja como para permitir la separación por gravedad de las partículas que desean eliminar, pero a su vez lo suficientemente alta como para que el desarenador no se convierta en un sedimentador. “tal condición se alcanza con velocidades de flujo cercanas a 0,3 m/s. se recomienda que los desarenadores con un caudal inferior a 50 Lt/s sean limpiados manualmente. Para caudales mayores a 150 Lt/s se recomienda la limpieza mecánica.”³⁵

5.2. MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto a realizar estará ubicado en la ciudad de Bogotá en la localidad de Tunjuelito la cual tiene una extensión de 1.062.33 hectáreas en donde predomina el estrato 2, aproximadamente hay 182.532 habitantes. Su topografía es plana a ligeramente ondulada, en su interior no se encuentran estribaciones montañosas.

Aunque se observa algunas zonas quebradas al sur, donde están los barrios, San Benito, Tunjuelito y Abraham Lincoln, según el censo de 2005 cuenta con 225.511 habitantes, información suministrada por el Departamento Administrativo de Estadística, hacen parte de la localidad la escuela de Policía, la escuela de Artillería, la zona Industrial y el Parque Metropolitano El Tunal.

La conforman los siguientes barrios: Condado de Santa Lucía, Conjunto Residencial Nuevo Muzú, El Carmen, Fátima, Isla del Sol, Laguneta, Nuevo Muzú, Ontario, Rincón de Muzú, Rincón de Nuevo Muzú, Rincón de Venecia, Samore, San Vicente, San Vicente de Ferrer, Santa Lucía, Tejar de Ontario, Ciudad Tunal, Venecia, Venecia Occidental, Villa Ximena, Abraham Lincoln, San Benito, San Carlos, Tunalito, Tunjuelito.³⁶

La quebrada de Chiguaza desciende de los cerros surorientales hasta desembocar en el Río Tunjuelito, afluente del Río Bogotá.

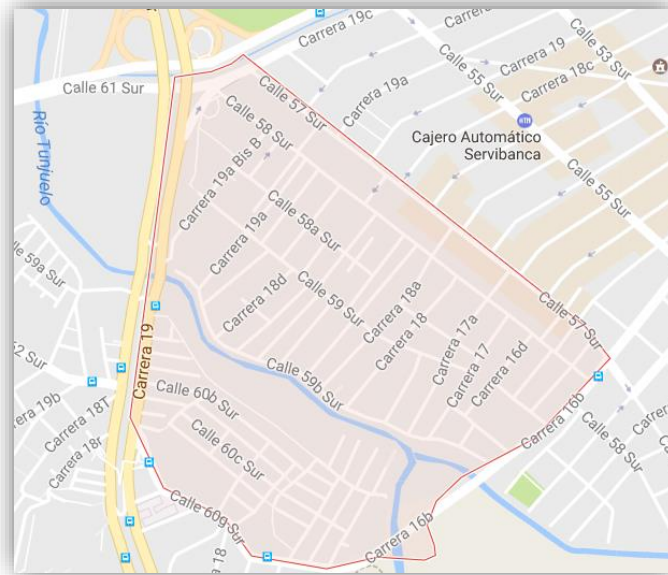
³⁵ *Ibíd.* 8

³⁶ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA (en línea). 2014 (consultado 14 de marzo de 2017). Disponible en <http://www.bogota.gov.co/localidades/tunjuelito>

El tramo que se va a investigar está situado en el Barrio San Benito entre la Carrera 16B hasta la carrera 19.

En la siguiente imagen se mostrará la localización de nuestro proyecto.

Ilustración 4 **Localización Localidad, barrio, tramo III**



Fuente: <https://www.google.com.co/maps/place/San+Benito,+Bogotá>

5.3 MARCO LEGAL

Tabla 5: Leyes para la ejecución del proyecto

LEY, RESOLUCIÓN	DECRETO, NORMA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Resolución Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible.	0631	Aplicación de la presente resolución adoptan definiciones de aguas residuales domésticas y no domésticas.	Aguas residuales domésticas (ARD) son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan aguas industriales comerciales o a los servicios. Aguas residuales no domésticas (ARND) son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a la que constituyen aguas residuales domésticas.
RAS 2.000 capítulo E República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.		Establece el procedimiento que debe seguir para la caracterización de las aguas residuales.	El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia.

		dentro de un nivel de complejidad determinado.
Resolución 3957 de 2009	Control y manejo de vertimientos.	Por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital.
Acuerdo 332 de 2008 Concejo de Bogotá D.C.	Recursos hídricos de servicios públicos.	Por medio del cual se establece la obligación de efectuar auto declaraciones de vertimientos líquidos de interés ambiental o de interés sanitario, a los usuarios del recurso hídrico servicio público domiciliario de alcantarillado dentro del territorio de Bogotá D. C.

<p>Resolución 1433 de 2004 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.</p>	<p>Planes de Saneamiento y Manejo, de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones.</p>	<p>Los usuarios prestadores del servicio de alcantarillado sujetos al pago de la tasa retributiva deberán presentar a la autoridad ambiental competente el plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, de conformidad con la reglamentación que para tal efecto expida el Ministerio de Ambiente.</p>
<p>Decreto 3930</p>	<p>Establece los parámetros para los diversos tratamientos de aguas de acuerdo a su uso y disposición.</p>	<p>El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillado.</p>
<p>Resolución 330</p>	<p>Procedimiento técnico-científico y participativo para la determinación de los servicios y tecnologías que no podrán ser financiados con recursos públicos asignados a la salud y se establecen otras disposiciones.</p>	<p>Procedimiento técnico-científico, participativo, de carácter público, colectivo y transparente que permita la aplicación de los criterios de exclusión definidos en el artículo 15 de la Ley 1751 de 2015, con el fin de construir y actualizar periódicamente la lista de tecnologías que no serán financiadas con recursos públicos asignados a la salud y dictar disposiciones en relación con la organización de los participantes en el procedimiento.</p>

Fuente: propia

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

La metodología de esta investigación fue de enfoque cuantitativo debido a que las técnicas de muestreo y de análisis son usadas variables cuantitativas para caracterizar aguas residuales desde determinaciones químicas y precisas, hasta las determinaciones biológicas y físicas.

Las técnicas de muestreo, los métodos de análisis, las unidades de medidas para constituyentes químicos y algunos conceptos químicos útiles para caracterizar los parámetros más relevantes que llevan las aguas residuales domésticas en el Barrio San Benito todas hacen parte de variables numéricas por esta razón es el enfoque del presente trabajo.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos de esta investigación se estableció el trabajo de tipo **proyectivo** debido a que está fundamentada en proceso sistemático de la búsqueda de indagación que requiere la descripción, el análisis, la comparación, adicional a ello es la evaluación de los parámetros físico químicos de las aguas residuales domesticas del barrio san Benito tramo tres.

Agregando la investigación es de tipo **descriptivo**, debido a que inicialmente se determinaran los aspectos relacionados a la calidad del agua residual, información de servicios básicos y generales del barrio San Benito. Con los parámetros analizados se logró determinar que existe un nivel de contaminación de los cuerpos de agua y con base a los resultados se desarrolló la propuesta, para el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales, acorde a las necesidades de esta población.

6.3 DISEÑO MUESTRAL

La presente investigación tuvo parte de su desarrollo actividad de campo la cual consistió en ubicar la zona de estudio en donde se efectúan las descargas de aguas residuales del barrio San Benito al río Tunjuelo. Se procedió a la toma de muestras en la zona de descarga en el primer punto antes del desfogue de las aguas

residuales domésticas al cuerpo de agua para analizar procesos físicos químicos del agua residual.

Se tomaron parámetros iniciales de caudal (m^3/s), temperatura ($^{\circ}C$), pH (unidades), sólidos suspendidos totales(ppm), oxígeno disuelto, conductividad ($\mu S/cm$), con un medidor multiparámetro Hanna y un termómetro; esta muestra se lleva al laboratorio en un recipiente plástico transparente esterilizado para el análisis del (DBO) Y (DQO) y compuestos inorgánicos. En un envase de vidrio para compuestos orgánicos.

Dichas muestra fueron refrigeradas a $0^{\circ}C$ a $4^{\circ}C$ y en oscuridad tiempo suficiente para conservar la muestra en periodo de 24 horas.

6.4 DEFINICIÓN Y OPERACIÓN DE VARIABLES

TABLA 6.1 DEFINICIÓN Y MEDICIÓN DE VARIABLES

VARIABLE		INDICADOR	MEDICIÓN
INDEPENDIENTES	TEMPERATURA	Medida del calor de las partículas en una sustancia	$^{\circ}C$
	pH	Concentración de iones de hidrógeno.	pH
	TIEMPO	Intervalo de tiempo para realizar la evaluación.	HORAS
	COLOR	Presencia de iones metálicos naturales entre otros.	UC
	TURBIDEZ	Capacidad de transparencia en el agua.	UNT
	SST	es Cantidad de sólidos retenidos	mg/lt
	DQO	Cantidad de materia orgánica presente en el agua.	mg O ₂ /lt
	COLIFORMES TOTALES	Medida de bacterias de origen fecal y natural.	UFC
DEPENDIENTES	ÍNDICE DE CALIDAD	Cuantifica el estado de la calidad del agua.	ADIMENSIONAL
	CAUDAL	Cantidad de agua máxima, media y mínima de la corriente superficial.	m^3/s
INTERMEDIAS	VELOCIDAD	Magnitud recorrida por el agua en unidad de tiempo.	m/s

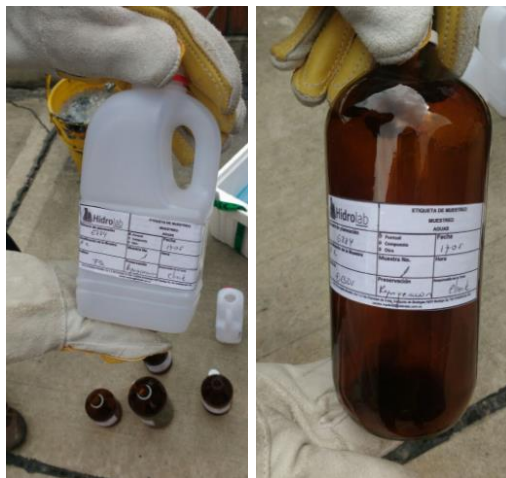
Fuente: propia

6.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la realización de los objetivos de este proyecto de investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos para determinar las características físicas químicas del río Tunjuelo en el barrio San Benito tramo III.

- **Envases de vidrio y polipropileno:** estos envases fueron utilizados para la recolección de la toma de muestra de agua del Río Tunjuelo.

Ilustración 5 envases de vidrio y polipropileno



Fuente: propia

- **Potenciómetro o Peachímetro:** Cuantifica el pH que tiene el agua. Portátil, Marca Jenway 370, lectura directa.

Ilustración 6 potenciómetro



Fuente: propia

- **Conductímetro:** Mide la conductividad que está presente en el agua. Portátil, Marca Jenway 470, lectura directa

Ilustración 7 conductímetro



Fuente: propia

- **Nevera Portátil:** Nevera de icopor para refrigerar las muestras a una temperatura de 2 - 4 °C, para conservar sus propiedades.

Ilustración 8 nevera portátil



Fuente: propia

- **Colorímetro:** esta es una herramienta marca Hanna HI 96727, que nos permite identificar el color de la muestra para así poder identificarlo en el rango en que se encuentra.

Ilustración 9 colorímetro



Fuente: propia

6.6 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

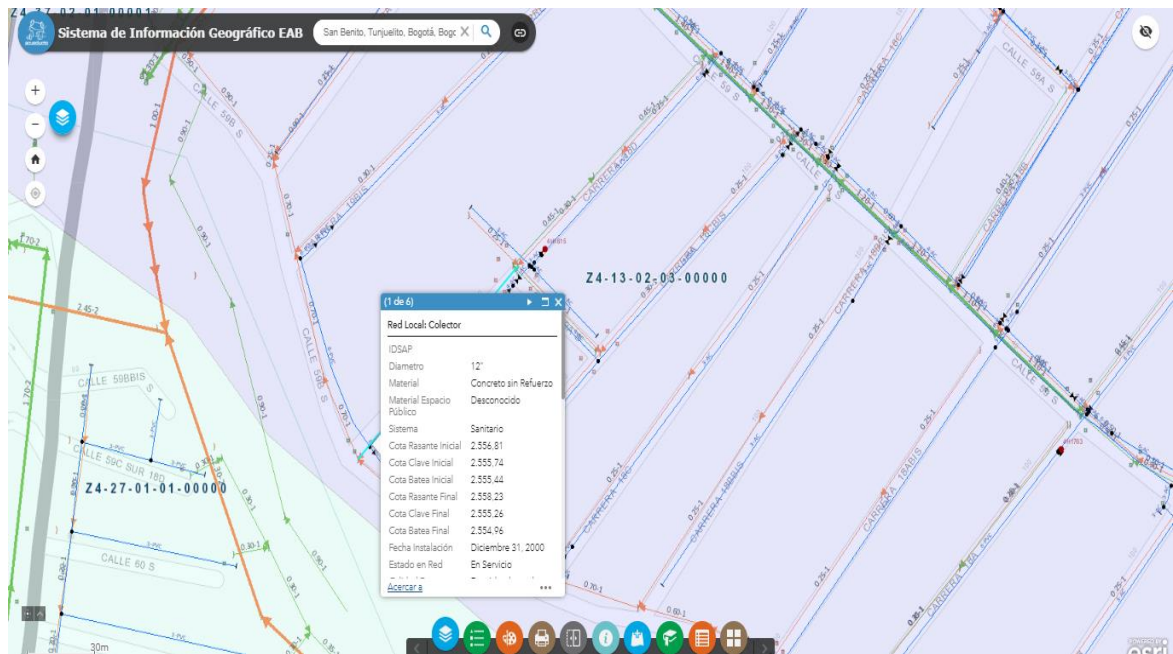
TABLA 6.2. FASES DE INVESTIGACIÓN

FASES	ACTIVIDADES
<ul style="list-style-type: none">• 1. Diagnosticar el estado físico actual de sistema de alcantarillado del barrio san Benito en las fuentes existentes en la empresa de acueducto de Bogotá.	<ul style="list-style-type: none">• Consistió en ubicación del sector donde se llevaron a cabo la toma de caudales del agua residual doméstico.• Se realizó visita de campo a estación de bombeo de San Benito para poder obtener información del estado del sistema de alcantarillado• se hizo la inspección de dos tapas en el sector para verificar el estado en el que se encuentran y poder analizar la toma de caudales.
<ul style="list-style-type: none">• 2. Caracterización de los parámetros relevantes de las aguas residuales debido a las curtiembres de la zona.	<ul style="list-style-type: none">• En el sector a trabajar se hizo el muestreo del agua residual, utilizando un balde con una polea donde la muestra se empaco en sus respectivos envases.
<ul style="list-style-type: none">• 3. Diseñar la estructura más conveniente para un tratamiento primario que permita reducir el DBO y el DQO que contiene el agua del sector.	<ul style="list-style-type: none">• A partir de los resultados de los análisis fisicoquímicos de la muestra se procede a estudiar el tipo de tratamiento preliminar que es apto para el contenido de contaminación de la red.

Fuente: propia

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Diagnosticar el estado físico actual de sistema de alcantarillado del barrio San Benito en las fuentes existentes en la empresa de acueducto de Bogotá.



Fuente: <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=6ad170bd1cdc450b823bd22d0786431d&scale=40000>

De acuerdo con la información encontrada en la Empresa de Acueducto de Bogotá, el sector cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario instalado en año 2000; el material de esta red es concreto sin refuerzo, el sector cuenta con un 20% de sistema pluvial que este a su vez llega a la estación de bombeo de San Benito.

Actualmente la Alcaldía Mayor, atreves del acueducto de Bogotá inicio un programa de modernización de redes de acueducto y alcantarillado con el busca mejorar el drenaje del sector, donde "la rehabilitación del interceptor del barrio San Benito beneficiando a 204mil habitantes de uso residencial de estratos 1,2 y cerca de 40mil

usuarios comerciales e industriales con una inversión de \$13.549 millones dando inicio el 7 de abril del 2017 con una duración de un año”.³⁷

7.1. MUESTREO

Tabla 7.1. Resultados de análisis del agua residual barrio San Benito tramo III

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	FECHA Y HORA DE ANÁLISIS	REF.MÉTODO
Cloruros	mg/L Cl	22,2	16/05/2017 12:58	SM 4500-CI B (2)
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	122	15/05/2017 16:39	SM 4500-NH3 C (2)
Fósforo Total	mg/L P	3,05	17/05/2017 17:10	SM 4500-P D (2)
COT	mg/L	2272	18/05/2017 17:07	SM 5310 C (2)
DBO	mg/L	2005	11/05/2017 12:10	SM 5210 B (2)
DQO	mg/L	5773	17/05/2017 10:21	SM 5220 D (2)
Alcalinidad	mg/L CaCO3	1150	12/05/2017 8:29	SM 2320 B (2)
Conductividad	us/cm	4870	18/05/2017 10:23	SM 2510 B (2)
Sólidos disueltos totales	mg/L	2360	15/05/2017 15:29	SM 2510 B (2)
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2120	11/05/2017 13:16	SM 2540 D (2)

Fuente: Hidrolab Colombia LTDA

³⁷ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA (en línea). 2014 (consultado 10 de noviembre 2017). Disponible en <http://www.bogota.gov.co/localidades/tunjuelito>

7.2 CÁLCULO DE CAUDAL

Se realizó una visita de campo donde se obtuvieron los siguientes datos medidos por aforos.

Tabla 7.2. Resultados de los aforos del barrio San Benito Tramo III

LANZAMIENTOS	segundos
TIEMPO 1	101
TIEMPO 2	103
TIEMPO 3	111
PROMEDIO	105

Fuente: propia

LANZAMIENTOS	segundos
TIEMPO 1	105
TIEMPO 2	110
TIEMPO 3	113
PRIMEDIO	109,333333

Fuente: propia

Luego de haber ejecutado los datos de lanzamiento, la distancia que había entre pozo a pozo la altura laminar y el diámetro de la tubería hallamos la velocidad que llevaba el caudal.

Tabla 7.3 Cálculos

DISTANCIA DEL RECORRIDO TAPA 1	h LAMINAR 1	h POZO 1	DIÁMETRO TUBERÍA
45 m	0,51 m	6,7 m	0,711 m
VELOCIDAD TAPA 1			
0,568571429 m/s			

DISTANCIA DEL RECORRIDO TAPA 2	h LAMINAR 2	h POZO 2	DIÁMETRO TUBERÍA
47 m	0,41 m	6,8 m	0,711 m
VELOCIDAD TAPA 2			
0,539878049 m/s			

Fuente: propia

Respectivamente hicimos los diferentes cálculos, dado que se utilizó la relación $Q = A \cdot v$, donde se obtuvieron:

POZOS	N° 1	N°2
FECHA Y HORA DE MUESTREO	12/05/17 10 :15	12/05/17 16:15
ÁREA DE CORTE (m ²)	0.36261	0.29151
CAUDAL(m ³ /s)	0.155404286	0.12531375
COEFICIENTE DE FRICCIÓN (m ³ /s)	0.139863857	0.112782375
COEFICIENTE DE FRICCIÓN (Lt/s)	139.863851	112.782375

Fuente: propia

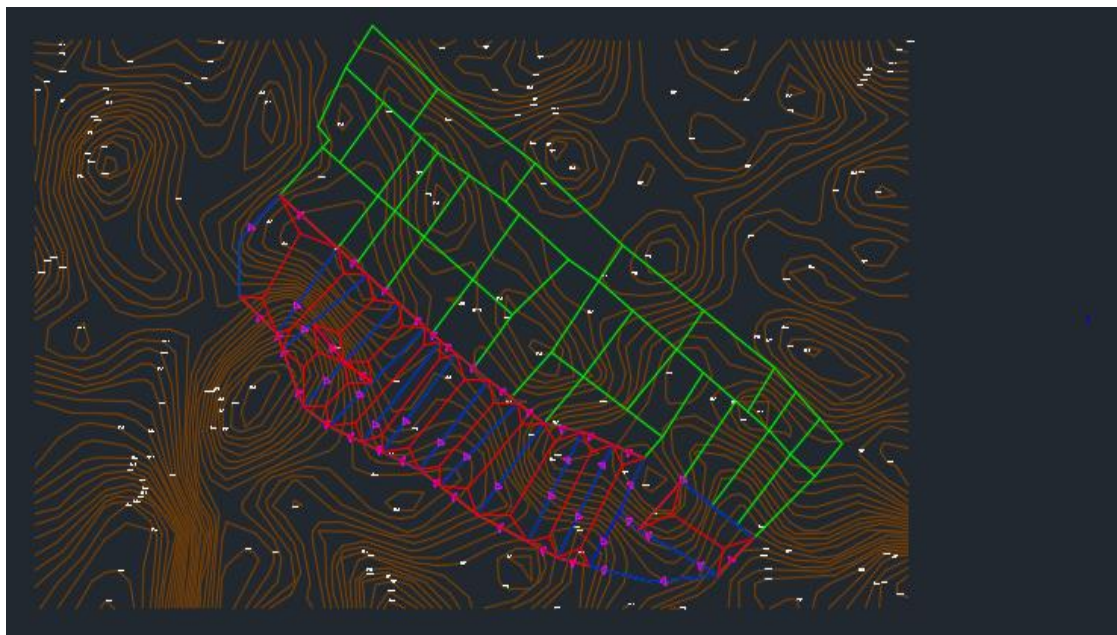
Según los datos hallados en campo se procede a realizar un promedio del caudal calculado el cual es:

$$Q = \frac{0.155404268}{0.12531375} = 0,14035902 \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ CÁLCULO CAUDAL DE DISEÑO

Para hallar el caudal de diseño se hallaron las áreas propias y aferentes al sector afectado por las curtiembres del barrio San Benito, como lo indica en el siguiente plano:

Ilustración 10 plano de la zona de estudio



Fuente: propia

Teniendo el plano del sector se hallaron las siguientes áreas.

ÁREA PROPIA	m ²	HECTÁREA	HECTÁREA
1	5697,27	0,569727	
2	7622,65	0,762265	1,331992
3	2371,7	0,23717	1,569162
4	2772,71	0,277271	1,846433
5	3370,81	0,337081	2,183514
6	2889	0,2889	2,472414
7	10114,92	1,011492	3,483906
8	8166,52	0,816652	4,300558
9	6131,18	0,613118	4,913676
10	8619,6	0,86196	5,775636
11	4906,66	0,490666	6,266302
12	6782,44	0,678244	6,944546
13	3794,72	0,379472	7,324018
14	4659,52	0,465952	7,78997
15	6169,97	0,616997	8,406967
16	4987,05	0,498705	8,905672
17	5243,05	0,524305	9,429977
18	6787,89	0,678789	10,108766
19	14733,77	1,473377	11,582143

Fuente: propia

El área total del sector de influencias es de 11.582143 en hectáreas.

De acuerdo con esto se procede a calcular el caudal de diseño:

$$Q_d = Q_R + Q_{CE} + Q_{IN} * \text{área}$$

$$Q_D = 1.87 \text{ Lt/Ha/S} + 0.55 \text{ Lt/Ha/S} + 0.2 \text{ Lt/Ha/S} * 11.582143 \text{ Ha}$$

$$Q_D = 30.354 \text{ Lt/S}$$

$$Q_D = 0.030 \text{ m}^3/\text{S}$$

Teniendo el caudal de diseño se procede hallar el diámetro de la tubería:

$$Q_o = 0.312 * d_o^{8/3} \frac{\sqrt{s}}{n} \quad (1)$$

Despejando el diámetro queda:

$$d_o = 1.55 \left(\frac{0.030^{\frac{3}{8}}}{\sqrt{0.012}} \right) \quad (2)$$

$$d_o = 0.1879 * 12 * 3.28$$

$$d_o = 8''$$

Hallando el diámetro reemplazamos en la ecuación uno para obtener el caudal a tubo lleno:

$$Q_o = 0.312 * 0.203^{8/3} * \frac{\sqrt{0.012}}{0.013}$$

$$Q_o = 0.037 \text{ m}^3/\text{s} \text{ caudal a tubo lleno}$$

Este dato se divide con el caudal de diseño para luego así obtener la relación de caudales Q_d / Q_o .

$$\frac{Q_d}{Q_o} = \frac{0.0304}{0.037} = 0.81$$

Se procede con este dato hallar los valores de las relaciones hidráulicas en la siguiente tabla:

Ilustración 11 Ilustración 12 tabla de relaciones de hidráulicas

v_r/v_o	y/D	T_r/T_o	$(H/D)^2$
0.535	0.880	1.082	0.483
0.540	0.882	1.100	0.487
0.545	0.885	1.103	0.491
0.550	0.887	1.106	0.494
0.555	0.889	1.109	0.498
0.560	0.891	1.112	0.502
0.565	0.894	1.115	0.506
0.605	0.911	1.138	0.538
0.610	0.913	1.140	0.542
0.615	0.915	1.143	0.546
0.620	0.917	1.145	0.550
0.625	0.919	1.148	0.555
0.630	0.921	1.150	0.559
0.635	0.923	1.153	0.564
0.640	0.925	1.155	0.568
0.645	0.927	1.157	0.572
0.650	0.929	1.159	0.576
0.655	0.931	1.162	0.581
0.660	0.933	1.164	0.585
0.665	0.935	1.166	0.590
0.670	0.937	1.168	0.595
0.675	0.939	1.171	0.600
0.680	0.941	1.173	0.604
0.685	0.943	1.175	0.609
0.690	0.944	1.177	0.614
0.695	0.946	1.179	0.619
0.700	0.948	1.181	0.623
0.705	0.950	1.183	0.628
0.710	0.951	1.184	0.633
0.715	0.953	1.186	0.639
0.720	0.955	1.188	0.644
0.725	0.957	1.190	0.649
0.730	0.959	1.191	0.654
0.735	0.961	1.193	0.655
0.740	0.963	1.194	0.655
0.745	0.965	1.196	0.666
0.750	0.967	1.197	0.677
0.755	0.969	1.199	0.339
0.760	0.970	1.200	0.688
0.765	0.972	1.201	0.694
0.770	0.974	1.202	0.700
0.775	0.976	1.204	0.707
0.780	0.977	1.205	0.713
0.785	0.979	1.206	0.719
0.790	0.981	1.207	0.725
0.795	0.983	1.208	0.732
0.800	0.984	1.209	0.739
0.805	0.986	1.210	0.746
0.810	0.988	1.211	0.753
0.815	0.990	1.212	0.760
0.820	0.991	1.213	0.767
0.825	0.993	1.214	0.775
0.830	0.994	1.214	0.783

Fuente: propia

$$\frac{v_r}{v_o}$$

$$v_o = \frac{Q_o}{A_o}$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} (d_o)^2 = \frac{\pi}{4} (0.203)^2$$

$$A_o = 0.032$$

$$v_o = \frac{0.037}{0.032} = 1.14$$

$$v = 0.968 * 1.14 = 1.10$$

$$\text{➤ } \frac{T}{T_0} = 1.21$$

$$T_0 = 250 * 0.012 * 0.0203$$

$$T_0 = 0.609$$

$$T = 1.211 * 0.609$$

$$T = 0.737$$

$$\text{➤ } \frac{R}{R_0} = 1.205$$

$$R_0 = \frac{d}{4}$$

$$\frac{0.203}{4} = 0.050$$

$$R = 1.205 * 0.50 = 0.061$$

$$Y/D = 0.764$$

$$Y = 0.764 * 0.203$$

Tirante hidráulico será = 0.155 m

➤ **Conversión de unidades de las cargas contaminantes**

Los parámetros de entrada fueron los caracterizados en la zona, el caudal utilizado es 30.354L/s, teniendo así a continuación la carga contaminante de cada uno de los parámetros como se muestra a continuación:

$$CC = Q * C$$

Donde

CC: Carga contaminante, Kg/d

Q: Caudal, L/s

C: concentración, mg/L

$$CC = \frac{30.354l}{s} * \frac{1m^3}{10^3l} * \frac{86400s}{1dia} * 5773 \frac{mg}{l} * \frac{1kg}{10^6mg} * \frac{10^3l}{1m^3} = 15140.1 \frac{Kg}{dia} DQO$$

$$CC = \frac{30.354l}{s} * \frac{1m^3}{10^3l} * \frac{86400s}{1dia} * 2005 \frac{mg}{l} * \frac{1kg}{10^6mg} * \frac{10^3l}{1m^3} = 5258.2 \frac{Kg}{dia} DBO$$

$$CC = \frac{30.354l}{s} * \frac{1m^3}{10^3l} * \frac{86400s}{1dia} * 2120 \frac{mg}{l} * \frac{1kg}{10^6mg} * \frac{10^3l}{1m^3} = 5559.8 \frac{Kg}{dia} SST$$

De acuerdo a las remociones establecidas en la Resolución 330 en el artículo 184 “Eficiencias de los procesos de tratamiento” se adoptaron las siguientes eficiencias por unidad de tratamiento para obtener los resultados esperados según norma.

UNIDAD DE TRATAMIENTO	DESARENADOR
DBO	5%
DQO	5%
SST	10%

Fuente: propia

Por lo anterior se procede a realizar el balance de carga con el fin de establecer si las unidades propuestas cumplen con la Resolución 631 de 2015.

A continuación, se presenta la tabla resumen de las cargas contaminantes halladas:

ENTRADA		
PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN	CARGA CONTAMINANTE
	mg/L	Kg/día
DQO	5773	15140.1
DBO	2005	5258.2
SST	2120	5559.8

Fuente: propia

Teniendo las cargas contaminantes de entrada se procede a calcular la remoción por cada unidad de tratamiento con las eficiencias establecidas anteriormente; como la rejilla fina y la rejilla gruesa no tienen remoción.

REJILLA FINA			
PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN	CARGA CONTAMINANTE	EFICIENCIA
	mg/L	Kg/día	
DQO	5773	15140	0
DBO	2005	5258	0
SST	2120	5560	0

Fuente: propia

REJILLA GRUESA			
PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN	CARGA CONTAMINANTE	EFICIENCIA
	mg/L	Kg/día	
DQO	5773	15140	0
DBO	2005	5258	0
SST	2120	5560	0

Fuente: propia

se procede a calcular la remoción a partir del desarenador.

$$"S_{sp} = S * (1 - R_{sp})"^{38}$$

Donde:

S_{sp}: remoción desarenador mg-/L

³⁸ RUIZ, Adolfo B. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
 Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales:
 Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Fija. México, D.F., Coyoacán, C.P. 04340.pág 104

S: Afluente mg/L

Rsp: remoción sedimentador primario %

$$S_{spDQO} = 5773 * (1 - 5\%) = 5484 \text{ mg/L}$$

$$S_{spDBO} = 2005 * (1 - 5\%) = 1905 \text{ mg/L}$$

$$S_{spSST} = 2120 * (1 - 10\%) = 1908 \text{ mg/L}$$

A continuación, se presenta el resumen de la remoción que se presenta en el desarenador:

DESARENADOR			
	CONCENTRACIÓN	CARGA CONTAMINANTE	EFICIENCIA
PARÁMETRO	mg/L	Kg/día	
DQO	5484	14382	5%
DBO	1905	4996	5%
SST	1908	5003.8	10%

Fuente: propia

➤ PRETRATAMIENTO

➤ Canal de entrada

El canal de entrada se calcula a partir de la ecuación de ancho de canal de aducción planteada por el autor

$$X_s = 0.36 V^{\frac{2}{3}} + 0.60 H^{\frac{4}{7}} \text{ "39}$$

³⁹ LOPEZ RICARDO., Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Segunda edición. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Julio 2003 Bogota Colombia. Pág 98

$$X_s = 0.36 \cdot 1.14^{2/3} + 0.60 \cdot 0.155^{4/7}$$

$$X_s = 0.599 \text{ m}$$

Teniendo el alcance fijo superior se procede a remplazar en la ecuación para así poder hallar el ancho del canal de aducción.

$$B = X_s + 0.10$$

$$B = 0.599 + 0.10$$

$$B = 0.70 \text{ m}$$

➤ Cribado

El Cribado es la operación mecánica o manual utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una rejilla. En este caso se establecieron dos rejillas una gruesa y otra fina, esto con el fin de retener sólidos gruesos y finos, lo cual permite el adecuado funcionamiento de los tratamientos posteriores y evita la obstrucción de tuberías.

Con base a las características de las rejillas que plantea Jairo Romero Rojas en su libro de tratamiento de aguas residuales asumimos los siguientes valores para el cribado grueso - fino,

Ilustración 13 Características de las rejillas de barras

Característica	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 - 1,5 cm	0,5 - 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 - 7,5 cm	2,5 - 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 - 5,0 cm	1,5 - 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 - 0,6 m/s	0,6 - 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente: ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2001

Los parámetros de diseño de la Rejilla Gruesa son:

Ancho de la barra $\frac{1}{2}$ " – 1.27cm

Angulo de inclinación 45°

Espaciamiento entre barras 5.0 cm

Para hallar la longitud de la rejilla se calcula apartar del diámetro de la tubería, que será tres veces el diámetro de la tubería

$$L = 3 * 0.203\text{cm} = 70 \text{ cm}$$

Entonces el número de varillas será

$$N = \frac{\textit{longitud+diámetro}}{\textit{separacion+diámetro}}$$

$$N = \frac{70 \text{ cm} + 1.27 \text{ cm}}{5 \text{ cm} + 1.27 \text{ cm}}$$

$$N = 12 \text{ varillas}$$

Teniendo la altura de la lámina de agua y el ancho del canal se procede a calcular el área del canal:

$$A = B * Y$$

$$A = 0.86 * 0.41 = 0.35 \text{ m}$$

La velocidad antes de la reja se calcula a partir del caudal y el área del canal:

$$V_r = Q/A$$

$$V_r = 0.1316/0.35 = 0.37 \text{ m/s}$$

La longitud de la reja se calcula mediante la siguiente ecuación con un ángulo de 45 grados:

$$L_r = (Y + bl) / \sin(45)$$

Donde:

Y: altura lámina de agua, m

bl: borde libre

$$L_r = (0.41 + 0.3) / \text{SEN}(45) = 1.00 \text{ m}$$

El número de espacios es:

$$N_e = (B - a) / (a + e)$$

Dónde:

N_e : número de espacios, und

B : ancho del canal, m

a : apertura de las barras, m

e : espesor de las barras, m

$$N_e = (0.86 - 0.05) / (0.05 + 0.004) = 15$$

El número de barras es el número de espacios menos 1, entonces:

$$N = N_e - 1$$

$$N = 15 - 1 = 14 \text{ barras}$$

La velocidad de acercamiento es:

$$V_a = Q / ((B - e) * Y)$$

Donde,

Q : caudal, m³/s

B : ancho del canal, m

e : espesor de barras, m

Y : tirante hidráulico, m

$$V_a = 0.1316 / ((0.86 - 0.004) * 0.41) = 0.38 \text{ m/s}$$

El área de la rejilla se calcula a continuación:

$$A_r = N * e * Y$$

Dónde:

A_r : área de la rejilla, m²

N : número de barras und

e: espesor de la barra, m

Y: Tirante hidráulico, m

$$A_r = 14 * 0.004 * 0.41 = 0.02 \text{ m}^2$$

La velocidad a través de la reja:

$$V_r = Q / (A - A_r)$$

Donde:

V_r: velocidad de la reja, m/s

Q: caudal, m³/s

A: área del canal, m²

A_r: área de la rejilla, m²

$$V_r = 0.1316 / (0.35 - 0.02) = 0.40 \text{ m/s}$$

Como la rejilla es de barras tiene un factor de forma de 1.79

La pérdida de energía es la función de la forma de barras y de la altura o energía de velocidad del flujo de las barras según Kirschmer, la pérdida de energía según la siguiente ecuación:

$$H = f * \left(\frac{e}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * hv * \sin \theta$$

H: pérdida de energía, m

F: factor de forma

e: espesor de la barra

a: apertura de las barras

hv: energía de velocidad del flujo

$$H = 1.79 * \left(\frac{0.004}{0.05}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{0.14}{2 * 9.81} * \sin 45 = 0.03$$

Para el cribado fino se realiza el procedimiento anterior solo con la diferencia que el espaciamiento entre las barras disminuye, a continuación, se presenta el resumen del Cribado Fino:

➤ **Desarenador**

Los desarenadores se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento o peso específico bastante mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales.

Para la sección de control seleccionada se requiere, para velocidad constante, una cámara desarenadora de sección parabólica. Para una parábola:

$$A = \frac{2HT}{3}$$

Dónde:

A= área de la sección

H= altura de la sección

T= ancho superior de la sección

Para Q a tubo lleno de 0,037 m³/s, ancho de canal (T) de 0,86 m y velocidad (v) de 0,40 m/s

La profundidad de flujo en el canal desarenador será:

$$Q = vA = \frac{2HTv}{3}$$

$$H = \frac{3Q}{2Tv} = \frac{3 \times 0.037}{2 \times 0.86 \times 0.4} = 0,16\text{m}$$

Se determina la altura de velocidad y la profundidad para la sección de control (dc), según Bernoulli, igualando la energía aguas arriba, en el canal, con la energía en la sección de control:

Energía en el canal = Energía en la sección de control + perdidas v^2_c

$$H + \frac{v^2}{2g} = d_c + \frac{v^2_c}{2g} + 0,1 \frac{v^2_c}{2g}$$

Para canales rectangulares, la profundidad crítica (d_c) está dada por:

$$d_c = \frac{v^2_c}{2g} = 2 \frac{v^2_c}{2g}$$

Por tanto:

$$H + \frac{v^2}{2g} = 2 \frac{v^2_c}{2g} + \frac{v^2_c}{2g} + 0,1 \frac{v^2_c}{2g} = 3,1 \frac{v^2_c}{2g}$$

La altura de velocidad en la sección de control será:

$$\frac{v^2_c}{2g} = \frac{1}{3,1} \left(H + \frac{v^2_c}{2g} \right) = \frac{1}{3,1} \left(0,16 + \frac{(0,4)^2}{2 \times 9,8} \right) = 0,06m$$

La profundidad en la sección de control (d_c) será:

$$(d_c) = 2 \frac{v^2_c}{2g} = 2 \times 0,06 = 0,12m$$

La velocidad en la sección de control (V_c) será:

$$V_c = \sqrt{2g \times 0,06} = 0,6 \text{ m/s}$$

El área de la sección de control (a) será:

$$a = Q/V_c = 0,037/0,6 = 0,061m^2$$

El ancho de la sección de control (w) será:

$$w = a/d_c = 0,061/0,12 = 0,51m$$

La longitud de la cámara desarenadora (L) requerida para remover partículas de 0,21mm de diámetro (tamiz 65), con una velocidad de asentamiento V_s de 1,15 m/min, para una velocidad de flujo (v) y ahora el agua (H), en condiciones de flujo máximo normal, será:

$$\frac{L}{V} = \frac{H}{V_s}$$

$$L = \frac{H}{V_s} = \frac{0,16 \times 0,4 \times 60}{1,15} = 3,33$$

El área se calcula a partir del caudal y la tasa de desbordamiento:

$$A_d = Q/t_b$$

Donde:

A_d : área del canal de desarenación, m²

Q : caudal, m³/s

t_b : tasa de desbordación, m³/m²d

$$A_d = \left(\frac{11370.24 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)}{32287 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}} \right)} \right) = 0.35 \text{ m}$$

Con el tirante hidráulico de 0.40 m

$$V = H \cdot A$$

Donde:

V : volumen, m³

H : altura, m

A : área, m²

$$V = 0.4 \cdot 45.29 = 18.12 \text{ m}^3$$

Con el volumen se calcula el tiempo de retención en el desarenador:

$$T_r = V/Q = 18.12/0.8388 = 21.6 \text{ seg}$$

El ancho del canal es:

$$A_c = \sqrt{(A_d/2.5)} = \sqrt{45.29/2.5} = 4.3 \text{ m}$$

El largo del canal es:

$$L_c = 2.5 \cdot 4.3 = 10.64 \text{ m}$$

➤ **Vertedero de Control**

Se requiere un vertedero de control de para la salida de los desarenadores por lo tanto se propone un vertedero de control sin contracciones y rectangular, utilizando la fórmula de Francis se obtiene la altura del nivel del agua del mismo:

$$H = (Q / (1.84 \cdot L))^{2/3}$$

Donde:

H: altura de la lámina de agua del vertedero, m

Q: caudal, m³/s

L: longitud del vertedero, m

$$H = (0.8388 / (1.84 \cdot 1))^{2/3} = 0.592 \text{ m}$$

➤ **Sedimentador Primario**

Los sedimentadores primarios tienen el propósito de remover la biomasa y sólidos suspendidos provenientes de las aguas residuales, como procesos de lodos activados y los filtros percoladores.

Los parámetros de diseño esenciales en el sedimentador son la carga hidráulica y el tiempo de retención que se describen a continuación:

Caudal de Diseño	838.76L/s = 72469 m ³ /d
Tiempo de Retención	2 a 3.5 h
Carga hidráulica	28 m ³ /m ² -h
Área	2588.17 m ²
Profundidad	3.00 m

“EL área se determinar a partir de la carga hidráulica”⁴⁰

$$A = \frac{QD}{Tb} = \frac{72469}{28} = 2558.17 \text{ m}^2$$

“El volumen se obtiene a partir del área (A) y la altura (P) la cual se asume de acuerdo con el RAS 2000 TITULO E TABLA E.4.17 (3.6-4.6)”⁴¹:

$$V = A * P = 2558.17 * 3.00 = 7764.52 \text{ m}^3$$

Según la resolución 330 de 2017 la relación ancho largo de los sedimentadores rectangulares debe ser 1.5:1 o 15:1, por lo tanto se dimensiona el ancho y el largo del sedimentador con una relación de 1:1.5

$$B = \sqrt{A/1.5}$$

$$B = \sqrt{2558.17/1.5} = 41.54 \text{ m}$$

Por lo anterior el largo es de 62.31 m.

Se calcula el tiempo de retención a partir del caudal y del volumen de la estructura:

$$Tr = V/Q$$

$$Tr = 7764.52 \text{ m}^3 / 838.76 / 1000 * 3600 = 2.57 \text{ horas}$$

El tiempo de retención Cumple con la Resolución 330 de 2017 artículo 195, cuyo tiempo de retención para un sedimentador secundario debe estar en el rango de 2 a 3.5 horas.

Teniendo el ancho del sedimentador se procede a calcular los vertederos de salida:

Se asume una distancia entre vertederos de 0.15 m

El número de vertedero se calcula con la siguiente expresión:

$$nv = L/dv$$

⁴⁰ METCALF & EDDY Inc., Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc Graw Hill International Editions. New York (2003). Pág 222

⁴¹ RAS 2000 TITULO E TABLA E.4.17 (3.6-4.6)

Donde:

Nv:: número de vertederos, und

L: longitud perimetral, m.

Dv: distancia entre vertederos, m

$$nv=41.54/0.15=276.9 \text{ und}$$

Con el coeficiente de descarga especificado para vertederos triangulares, se procede a calcular el caudal por vertedero, la altura del vertedero y el ancho del vertedero con el fin de obtener el dimensionamiento de la salida de control en el sedimentador secundario:

PARÁMETRO	UNIDAD	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR
Coefficiente de descarga	ad	K	$K=1.4*\text{TAN}(\alpha)/2$	1.4
Caudal por vertedero	m ³ /s	Qv	$Qv=(Qu/1000)/nv$	0.00303
Altura del vertedero	m	hv	$hv=+(IQu/IK)^{(1/2.51)}$	0.0868
Ancho del vertedero	m	wv	$wv=hv*2$	0.174
Ancho total en el vertedero	m	Ew	$Ew=+(wv*nv)$	48.05034 746
Carga sobre el vertedero	m ³ /m ² /d	Cv	$Cv=+(Qv/wv*86400)$	1508.186 056

Fuente: propia

➤ Diseño Filtro Percolador 1

Los filtros percoladores propuestos son diseñados mediante el Modelo de Bruce y Merkens, en el cual se establece una relación de recirculación de 2, un medio filtrante en plástico, se asume una profundidad del medio igual a 2.5, Según Romero, tratamiento de Aguas Residuales pág 560 tabla 20.1 para tasa alta 0.9-2.5 metros y se estima el área superficial requerida de acuerdo a la relación dada entre el volumen hallado del lecho y la profundidad seleccionada.

Se parte de la concentración de DBO entrada de 2005 mg/L, ya que se utiliza una relación de 2 se procede a calcular la concentración de entrada al filtro percolador:

$$C_a = (C + R \cdot C_e) / (1 + R)$$

Donde:

C: concentración afluente del filtro, mg/L

C: concentración de entrada, mg/L

C_e: Concentración efluente, mg/L

R: relación de recirculación, ad

$$C_a = (2005 + 2 \cdot 95) / (1 + 2) = 706 \text{ mg/L}$$

Teniendo la concentración de ingreso al filtro percolador se procede a utilizar la siguiente expresión para calcular el volumen:

$$V = \frac{Q \cdot \ln(C_a / C_e)}{K_d \cdot S_e}$$
$$V = \frac{72468 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \ln(706 \text{ mg/L} / 57 \text{ mg/L})}{0.05 \cdot 200 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 16760.33 \text{ m}^3$$

“Los coeficientes de 0,05 y 200 “⁴²; entonces el área del lecho se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

⁴² ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2001.pág 568

$$A = V/h$$

$$A = \frac{16760.33 \text{ m}^3}{2.50 \text{ m}} = 6704.13 \text{ m}^2$$

Se considera un módulo en operación para obtener mayor versatilidad en la operación de la planta, por consiguiente, cada unidad tendrá el siguiente diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{6704.13 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} = 92.39 \text{ m}$$

La carga hidráulica del filtro será:

$$q_h = Q/A$$

$$q_h = \frac{72468.86 \text{ m}^3/\text{d}}{6704.13 \text{ m}^2} = 10.81 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{d}$$

La carga orgánica del filtro será igual a:

$$C = Co/V$$

$$C = \frac{145300 \text{ Kg/d}}{16760.33 \text{ m}^3} = 8.67 \text{ Kg/m}^3 * \text{d}$$

➤ Sedimentador Secundario

Los sedimentadores secundarios tienen el propósito de remover la biomasa y sólidos suspendidos provenientes de las aguas residuales, como procesos de lodos activados y los filtros percoladores.

Los parámetros de diseño esenciales en el sedimentador son la carga hidráulica y el tiempo de retención que se describen a continuación:

Caudal de Diseño 838.76 L/s = 72469 m³/d

Tiempo de Retención 2 a 3.5 h

Carga hidráulica	28 m ³ /m ² -h
Área	2588.17 m ²
Profundidad	3.00 m

"EL área se determinar a partir de la carga hidráulica (Tb)"⁴³

$$A = \frac{QD}{Tb} = \frac{72469}{28} = 2588.17 \text{ m}^2$$

El volumen se obtiene a partir del área (A) y la altura (P) la cual se asume de acuerdo con el RAS 2000 TITULO E TABLA E.4.17 (3.6-4.6):

$$V = A * P = 2588.17 * 3.00 = 7764.52 \text{ m}^3$$

Según la resolución 330 de 2017 la relación ancho largo de los sedimentadores rectangulares debe ser 1.5:1 o 15:1, por lo tanto, se dimensiona el ancho y el largo del sedimentador con una relación de 1:1.5

$$B = \sqrt{A/1.5}$$

$$B = \sqrt{2588.17/1.5} = 41.54 \text{ m}$$

Por lo anterior el largo es de 62.31 m.

Se calcula el tiempo de retención a partir del caudal y del volumen de la estructura:

$$Tr = V/Q$$

$$Tr = 7764.52 \text{ m}^3 / 838.76 / 1000 * 3600 = 2.57 \text{ horas}$$

El tiempo de retención Cumple con la Resolución 330 de 2017 artículo 195, cuyo tiempo de retención para un sedimentador secundario debe estar en el rango de 2 a 3.5 horas.

Teniendo el ancho del sedimentador se procede a calcular los vertederos de salida:

⁴³ METCALF & EDDY Inc., Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc Graw Hill International Editions. New York (2003). Pág 222

Se asume una distancia entre vertederos de 0.15 m

El número de vertedero se calcula con la siguiente expresión:

$$nv=L/dv$$

Donde:

Nv:: número de vertederos, und

L: longitud perimetral, m.

Dv: distancia entre vertederos, m

$$nv=41.54/0.15=276.9 \text{ und}$$

Con el coeficiente de descarga especificado para vertederos triangulares, se procede a calcular el caudal por vertedero, la altura del vertedero y el ancho del vertedero con el fin de obtener el dimensionamiento de la salida de control en el sedimentador secundario:

PARÁMETRO	UNIDAD	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR
Coeficiente de descarga	ad	K	$K=1.4 \cdot \text{TAN}(\alpha)/2$	1.4
Caudal por vertedero	m ³ /s	Qv	$Qv=(Qu/1000)/nv$	0.00303
Altura del vertedero	m	hv	$hv=+(IQu/IK)^{(1/2.51)}$	0.0868
Ancho del vertedero	m	wv	$wv= hv^2$	0.174
Ancho total en el vertedero	m	Ew	$Ew=+(wv \cdot nv)$	48.05034746
Carga sobre el vertedero	m ³ /m ² /d	Cv	$Cv=+(Qv/wv \cdot 86400)$	1508.186056

➤ Diseño Filtro Percolador 2

Los filtros percoladores propuestos son diseñados mediante el Modelo de Bruce y Merkens, en el cual se establece una relación de recirculación de 2, un medio filtrante en plástico, se asume una profundidad del medio igual a 2.5, Según Romero, tratamiento de Aguas Residuales pàg 560 tabla 20.1 para tasa alta 0.9-2.5 metros y se estima el área superficial requerida de acuerdo a la relación dada entre el volumen hallado del lecho y la profundidad seleccionada.

Se parte de la concentración de DBO de salida del sedimentador secundario de 34 mg/L, ya que se utiliza una relación de 2 se procede a calcular la concentración de entrada al filtro percolador:

$$C_a = (C + R \cdot C_e) / (1 + R)$$

Donde:

C: concentración afluente del filtro, mg/L

C: concentración de entrada, mg/L

C_e: Concentración efluente, mg/L

R: relación de recirculación, ad

$$C_a = (34 + 2 \cdot 2) / (1 + 2) = 13 \text{ mg/L}$$

Teniendo la concentración de ingreso al filtro percolador se procede a utilizar la siguiente expresión para calcular el volumen:

$$V = \frac{Q \cdot \ln(C_a / C_e) / (K_d \cdot S_e)}{0.05 \cdot 200 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 13279.59 \text{ m}^3$$

Los coeficientes de 0,05 y 200.

Entonces el área del lecho se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A = V/h$$
$$A = \frac{13279.57 \text{ m}^3}{2.50 \text{ m}} = 5311.83 \text{ m}^2$$

Se considera un módulo en operación para obtener mayor versatilidad en la operación de la planta, por consiguiente, cada unidad tendrá el siguiente diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{5311.83 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} = 82.24 \text{ m}$$

La carga hidráulica del filtro será:

$$q_h = Q/A$$

$$q_h = \frac{72468.86 \text{ m}^3/\text{d}}{5311.83 \text{ m}^2} = 13.64 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{d}$$

La carga orgánica del filtro será igual a:

$$C = C_o/V$$

$$C = \frac{2484.63 \text{ Kg/d}}{13279.57 \text{ m}^3} = 0.19 \text{ Kg/m}^3 * \text{d}$$

➤ Sedimentador secundario 2

Los sedimentadores secundarios tienen el propósito de remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como procesos de lodos activados y los filtros percoladores.

Los parámetros de diseño esenciales en el sedimentador son la carga hidráulica y el tiempo de retención que se describen a continuación:

Caudal de Diseño 838.76L/s = 72469 m³/d

Tiempo de Retención 2 a 3.5 h

Carga hidráulica	28 m ³ /m ² -h
Área	2588.17 m ²
Profundidad	3.00 m

“EL área se determinar a partir de la carga hidráulica (Tb)”⁴⁴

$$A = \frac{QD}{Tb} = \frac{72469}{28} = 2588.17 \text{ m}^2$$

El volumen se obtiene a partir del área (A) y la altura (P) la cual se asume de acuerdo con el RAS 2000 TITULO E TABLA E.4.17 (3.6-4.6):

$$V = A * P = 2588.17 * 3.00 = 7764.52 \text{ m}^3$$

Según la resolución 330 de 2017 la relación ancho largo de los sedimentadores rectangulares debe ser 1.5:1 o 15:1, por lo tanto, se dimensiona el ancho y el largo del sedimentador con una relación de 1:1.5

$$B = \sqrt{A/1.5}$$

$$B = \sqrt{2588.17/1.5} = 41.54 \text{ m}$$

Por lo anterior el largo es de 62.31 m.

Se calcula el tiempo de retención a partir del caudal y del volumen de la estructura:

$$Tr = V/Q$$

$$Tr = 7764.52 \text{ m}^3 / 838.76 / 1000 * 3600 = 2.57 \text{ horas}$$

⁴⁴ METCALF & EDDY Inc., Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc Graw Hill International Editions. New York (2003). Pág 222

El tiempo de retención cumple con la Resolución 330 de 2017 artículo 195, cuyo tiempo de retención para un sedimentador secundario debe estar en el rango de 2 a 3.5 horas.

Teniendo el ancho del sedimentador se procede a calcular los vertederos de salida:

Se asume una distancia entre vertederos de 0.15 m.

El número de vertedero se calcula con la siguiente expresión:

$$nv=L/dv$$

Donde:

Nv: número de vertederos, und.

L: longitud perimetral, m.

Dv: distancia entre vertederos, m.

$$nv=41.54/0.15=276.9 \text{ und.}$$

Con el coeficiente de descarga especificado para vertederos triangulares, se procede a calcular el caudal por vertedero, la altura del vertedero y el ancho del vertedero con el fin de obtener el dimensionamiento de la salida de control en el sedimentador secundario:

PARÁMETRO	UNIDAD	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR
Coeficiente de descarga	ad	K	$K=1.4*\text{TAN}(\alpha/2)$	1.4
Caudal por vertedero	m ³ /s	Qv	$Qv=(Qu/1000)/nv$	0.00303
Altura del vertedero	m	hv	$hv=+(IQu/IK)^{(1/2.5-1)}$	0.0868
Ancho del vertedero	m	wv	$wv=hv*2$	0.174
Ancho total en el vertedero	m	Ew	$Ew=+(wv*nv)$	48.05034746
Carga sobre el vertedero	m ³ /m ² /d	Cv	$Cv=+(Qv/wv*86400)$	1508.186056

➤ **Digestor de lodos**

Para calcular la cantidad de lodos generados en los sedimentadores se debe tener en cuenta la carga orgánica de salida del sedimentador 1, la carga orgánica de salida del sedimentador 2 y 3, las cuales se hallaron en el balance de cargas por lo tanto se tiene:

Carga Orgánica de salida de SST sedimentador 1	48395 kg/d
Carga Orgánica de salida de SST sedimentador 2	2541 kg/d
Carga Orgánica de salida de SST sedimentador 3	133 kg/d

Se toma del libro Tratamiento de aguas residuales de romero Tabla 26.2 el porcentaje de Humedad de sólidos para sedimentadores secundarios es del 98%, por lo tanto se calcula los sólidos en base seca de los dos sedimentadores:

$$WBS1 = \text{COSST1} / (1 - 98\%)$$

Donde:

WBS1: Sólidos en base seca sedimentador 1, kg/d

COSST: Carga orgánica de salida SST sedimentador 1, Kg/d.

$$WBS1 = 48395 / (1 - 98\%) = 2419735.37 \text{ kg/d}$$

$$WBS2 = 2541 / (1 - 98\%) = 127036.11 \text{ kg/d}$$

$$WBS3 = 133 / (1 - 98\%) = 6669.40 \text{ kg/d}$$

La sumatorio de los sólidos en base seca es: $2419735.37 + 127036.1 + 6669.40 = 2553440.9 \text{ kg/d}$.

Se estima una densidad del lodo igual a la del agua: 1000 kg/m^3 .

Teniendo la densidad se calcula el caudal de lodos entrantes al digestor:

$$Q_{\text{lod}} = \text{TS} / \rho$$

Donde:

Q_{lod} : caudal de lodo, m^3/d

Ts: Total sólidos en base seca, kg/d

P: densidad de lodo, kg/m³

$$Q_{\text{lodo}} = 2553440.9 / 1000 = 2553.4 \text{ m}^3/\text{d}$$

Se toma del libro Tratamiento de aguas residuales de romero pág 793 la edad de lodos para un digestor de 25 días, con este valor se calcula el volumen del digestor, como el caudal de lodos es tan grande se procede a proponer 4 digestores por lo tanto el caudal unitario es de 638.4 m³/d.

$$V = Q * \theta$$

Donde,

V: volumen, m³

Q: caudal, m³/s

θ : edad de lodos, días

$$V = 638.4 * 25 = 15959 \text{ m}^3$$

Se asume una profundidad de 4 metros con el fin de obtener el área del digestor:

$$A = V / P$$

Donde:

A: área, m²

V: volumen, m³

P: profundidad, m

$$A = 15959 / 4 = 3989.8 \text{ m}^2$$

El diámetro se calcula a continuación:

$$D = \sqrt{\frac{3989.8 * 4}{\pi}} = 71.3 \text{ m}$$

Los lodos efluentes del digestor se calculan a partir de la remoción del digestor cuyo porcentaje es del 80%:

$$LE=2553440.9*(1-0.8)=510688.2 \text{ kg/d}$$

El caudal de lodos a disponer en los lechos de secado es de: $11506.8/1000=11.51$ m³/d, si se tiene una capa de aplicación de lodos de 0.5 metros según la Tabla 26.25 del libro de tratamiento de aguas residuales de Jairo Alberto Romero Rojas, se obtiene un área de lechos de:

$$Ad=Q/Pa$$

Donde:

Ad: área de lechos, m²

Q: caudal de lodos, m³/d

Pa: profundidad de aplicación, m

$$Ad=510.69/0.5=1021.38 \text{ m}^2$$

Teniendo un área de lechos de 9*9 se requerirán la implantación de 13 lechos de secado.

8. CONCLUSIONES

- Se planteó el diseño conceptual de la planta de aguas residuales que permita mitigar la contaminación que existe en el Río Tunjuelito barrio san Benito tramo III
- Se caracterizaron los parámetros más relevantes de las aguas residuales en el tramo encontrándose que la relación (DBO) y (DQO) está por debajo de 2,5 esto indica que son compuestos biodegradables donde se pueden utilizar sistemas biológicos para el tratamiento de las aguas residuales del sector.
- Se diagnosticó el estado físico del sistema de alcantarillado, el material de esta red es concreto sin refuerzo, el sector cuenta con un 20% de sistema pluvial que este a su vez llega a la estación de bombeo de San Benito.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA (en línea). 2014 (consultado 14 de marzo de 2017). Disponible en <http://www.bogota.gov.co/localidades/tunjuelito>

AMAYA, Jeceny, TRISTANCHO, Andrés, SANCHEZ. Francisco. Utilización de ceniza volante y catalizador FCC gastado en la recuperación de cromo (III) de los efluentes líquidos de las curtiembres. Artículo boletín informativo de la facultad de ingeniería. Bogotá: revista ingeniería e investigación no. 57, abril de 2005.

CIRCULA SEGMENT FROM MATHWORLD” WEISSTEIN, Erick (en línea). 2000 (consultado 9 mayo de 2018). Disponible en <http://mathworld.wolfram.com/circulasegment.html>.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLUS, George “tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones”, usa 2000

FERRER, José. Tratamientos biológicos de aguas residuales. Valencia. Universidad politécnica de Valencia.2003

FLOREZ ALSINA, Xavier. Design of wastewater treatment plants using multiple objectives. Tesis de grado para doctorado en ciencias ambientales. España: Universidad de Girona. 2008.

GONZALES, Pedro. Planta de tratamiento de aguas residuales. Equipos electromecánicos. Ingeniería constructiva.2013. 1° edición.

GORDON, Fair. Water and waste. Water Engineering. 2015. 2° Edition.

Green H, Poh S. Wastewater Treatment in Kathmandu, Nepal. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering. Nepal: Massachusetts Institute of Technology June 2003.

MARÍN, Rafael. Análisis de aguas y ensayos de tratamiento. 2000. 1° Edición.

METCALF & EDDY Inc., Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Mc Graw Hill International Editions. New York (2003).

MOHIA, Gabriela, MORENO, Patricia. Química. 1 ed. Buenos Aires. Ministerio de educación de la nación.2011. ISBN 978-950-00-0862-4

MORAN VILLELA, Diego. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio san Juan Chamelco Alta Verapaz. Tesis de grado ingeniería ambiental. Guatemala: Rafael Landívar. 2014.

QUINTERO ANGEL, Alejandro. Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida Quindío. Especialización en ingeniería ambiental-área sanitaria. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. 2007.

ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería 2001.

TEXAS A & M AGRILIFE EXTENSION. (en línea). 2017 (consultado 5 de octubre de 2017). Disponible en <http://aglifesciences.tamu.edu>.

VIII FASE DEL PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE EFLUENTES INDUSTRIALES Y CORRIENTES SUPERFICIALES DE BOGOTÁ D.C. (en línea). 2005 (consultado 8 marzo de 2017). Disponible en <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/220042/Octava-FASE.pdf>