

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA

AUTOR:

POMBOZA GUIJARRO SAMANTA VANESA

DIRECTOR:

ING. CARLOS LUIS NAVAS

QUITO, 2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, donde conocí a grandes personas que hicieron de mi vida universitaria una verdadera aventura.

Agradezco al Ing. Carlos Luis Navas, director del presente trabajo de titulación y a los lectores Ing. Luis Servando Espín e Ing. Paúl Enríquez por impartirme su conocimiento, por su tiempo y paciencia.

Samanta Vanesa Pomboza Guijarro

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, hermanos y amigos cercanos quienes cada día me han demostrado su apoyo incondicional y me han enseñado a creer en mí. Especialmente dedico este trabajo a Andrés y a Kevin quienes han sido el motor fundamental de mis logros y han despertado en mí los sentimientos de superación, perseverancia y fortaleza.

Samanta Vanesa Pomboza Guijarro

RESUMEN

Se diseñó una Planta de Tratamiento para la descarga del Colector Brigada ubicada en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, con la finalidad de mejorar la calidad del agua y de esta manera reducir la carga contaminante que se dispone al río Chibunga.

En una primera etapa se realizó un análisis de calidad del agua del Colector Brigada, para lo cual fue necesario tomar muestras in situ utilizando envases de vidrio de 1L y frascos estériles de 50 ml. Debido a que la descarga del Colector Brigada corresponde a un caudal diluido, fue necesario realizar un análisis de calidad de agua lluvia para de esta manera determinar la caracterización física, química y microbiológica que concierne al caudal diluido.

Los parámetros de diseño y el dimensionamiento fueron obtenidos de las Guías de Diseño de la Organización Panamericana de la Salud y de la Norma CPE INEN 5 Parte 9.1, además se utilizaron datos como caudales y topografía del lugar brindados por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba.

Los resultados de la caracterización de la descarga al río Chibunga demuestran el incumplimiento de los límites permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce descritos en el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente en los siguientes parámetros: turbiedad, DBO y coliformes fecales. Con los estudios previos y resultados se diseñó una planta de tratamiento que incluye una reja como tratamiento preliminar, dos tanques de sedimentación como tratamiento primario, tres lechos de secado y dos filtros lentos biológicos de arena como tratamiento secundario empleando un área de 931.98 m^2.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del problema 1

1.2. Justificación 1

1.3. Objetivos general y específicos 2

1.4. Alcance 2

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4

2.1. Generalidades del agua 4

2.1.1. Aguas Residuales 5

2.2. Utilidades del agua 5

2.3. Calidad del agua residual 6

2.3.1. Características físicas 6

2.3.1.1. Turbiedad 6

2.3.1.2. Color 7

2.3.1.3. Olor y sabor 8

2.3.1.4. Sólidos totales 8

2.3.1.5. Temperatura 9

2.3.2. Características químicas 9

2.3.2.1. Materia orgánica 9

2.3.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 10

2.3.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO) 10

2.3.2.4. Materia inorgánica 10
2.3.2.5. pH 10
2.3.2.6. Alcalinidad 11
2.3.2.7. Acidez 12
2.3.2.8. Dureza 12
2.3.2.9. Arsénico 12
2.3.2.10. Plomo 12
2.3.2.11. Cobre 13
2.3.2.12. Nitrógeno 13
2.3.2.13. Azufre 13
2.3.2.14. Metano 14
2.3.3. Características biológicas 14
2.3.3.1. Organismos Patógenos 14
2.3.3.2. Bacterias 15
2.3.3.3. Protozoos 15
2.3.3.4. Virus 15
2.3.3.5. Helmintos 16
2.3.4. Marco Legal 16
2.4. Origen de las aguas residuales 35
2.4.1. Composición de las aguas residuales 36
2.4.2. Estimación de los caudales de aguas residuales 36

2.5. Tratamiento de aguas residuales 40

2.5.1. Tipos de tratamiento aplicados a aguas residuales 41

2.5.1.1. Tratamiento Preliminar 41

2.5.1.2. Tratamiento Primario 47

2.5.1.3. Tratamiento Secundario 54

2.5.2. Importancia del tratamiento de aguas residuales 63

2.5.3. Recuperación y reutilización de aguas residuales 64

2.5.4. Eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales 65

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO 67

3.1. Caracterización Regional 67

3.1.1. Hidrografía 68

3.1.2. Geología 69

3.1.3. Meteorología 70

3.1.4. Descargas al río Chibunga 71

3.2. Muestreo de aguas residuales 71

3.3. Pruebas de tratabilidad en el laboratorio 72

3.4. Caudal de descarga 74

3.5. Diseño de la Planta de Tratamiento 77

3.5.1. Tratamiento Preliminar 78

3.5.2. Tratamiento Primario 81

3.5.3. Tratamiento Secundario 91

3.5.4. Eficiencia de la Planta de Tratamiento 98

3.5.5. Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental 101

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 103

4.1. Análisis y discusión de resultados 103

4.1.1. Caudal de descarga 103

4.1.2. Diseño de la Planta de Tratamiento 103

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 109

5.1. Conclusiones 109

5.2. Recomendaciones 110

REFERENCIAS 111

ANEXOS 114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de organismos parasitarios 14

Tabla 2. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce 17

Tabla 3. Técnicas generales para la conservación de muestras – análisis físico – químico – microbiológico 19

Tabla 4. Cantidades de muestras y reactivos para varios vasos de digestión. 29

Tabla 5. Volúmenes de Muestra Sugeridos para el Filtro de Membrana. Prueba de Coliformes o E. Coli 33

Tabla 6. Composición típica de un agua residual doméstica bruta 36

Tabla 7. Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning 43

Tabla 8. Recomendaciones de diseño del canal de llegada o de aproximación 44

Tabla 9. Recomendaciones de diseño de la reja.....44

Tabla 10. Densidad y Viscosidad Cinemática del Agua 51

Tabla 11. Criterios de selección de vertederos rectangulares 53

Tabla 12. Características de la arena para filtros lentos.....57

Tabla 13. Características de la grava para filtros lentos 58

Tabla 14. Tiempo de digestión para lechos de secado de lodos 63

Tabla 15. Estación Meteorológica Riobamba Politécnica M1036.....70

Tabla 16. Análisis de calidad del agua del Colector Brigada 73

Tabla 17. Análisis de calidad del agua lluvia.....73

Tabla 18. Cálculo de parámetros de calidad en la descarga.....76

Tabla 19. Comparación de los parámetros de calidad de la descarga con los límites máximos permisibles del TULSMA 77

Tabla 20. Dimensiones del canal de llegada y reja 81

Tabla 21. Dimensiones del sedimentador 90

Tabla 22. Dimensiones del lecho se secado de lodos 94

Tabla 23. Dimensiones del filtro lento biológico de arena 97

Tabla 24. Rendimiento Teórico del Tratamiento Preliminar 99

Tabla 25. Rendimiento Teórico del Tratamiento Primario 99

Tabla 26. Rendimiento Teórico del Tratamiento Secundario 100

Tabla 27. Eficiencia de la Planta de Tratamiento 101

Tabla 28. Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental 102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de pH.....11

Figura 2. Esquema del canal de llegada y rejilla 45

Figura 3. Recorrido del Colector Brigada.....68

Figura 4. Distribución Temporal de Precipitación 2013.....71

Figura 5. Dimensiones del canal de llegada y reja 81

Figura 6. Dimensiones de la pantalla perforada de la zona de entrada del sedimentador 87

Figura 7. Dimensiones de la pantalla perforada de la zona de entrada del sedimentador 87

Figura 8. Esquema de la zona de lodos del sedimentador 88

Figura 9. Planta y corte longitudinal del sedimentador 90

Figura 10. Planta del lecho de secado de lodos 94

Figura 12. Corte del filtro lento biológico de arena.....97

Figura 12. Esquema de la Planta de Tratamiento sugerida.....98

Figura 13. Procesos Unitarios de Tratamiento Sugeridos.....103

Figura 14. Ubicación de la Planta de Tratamiento Sugerida 108

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La descarga directa de las aguas lluvias como excedente del volumen del agua sanitaria al Rio Chibunga representa un gran riesgo, ya que constituye una fuente importante de agentes patógenos, virus, bacterias, protozoarios y helmintos que contaminan el cuerpo de agua, además de producir enfermedades en poblaciones que hacen uso de esta agua para distintas actividades. Es necesario realizar un análisis de calidad del agua de la descarga del Colector Brigada para determinar la alternativa adecuada de tratamiento y con esto mejorar la calidad del agua, para lo cual se contará con el apoyo de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba.

1.2. Justificación

El presente trabajo tiene como propósito mejorar la calidad del agua de la descarga del Colector Brigada de la ciudad de Riobamba. Según la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR), existen varias descargas de agua tanto residual como pluvial que se vierten directamente al Río Chibunga, estas descargas afectan ambientalmente las zonas de protección y además ponen en riesgo la salud pública. La EMAPAR menciona que, el Río Chibunga tiene una baja capacidad de asimilación de contaminantes orgánicos y bacterianos, por lo que se debe evitar la descarga directa de agua contaminada en este recurso hídrico. Realizar un tratamiento a la descarga del Colector Brigada, ayuda a reducir considerablemente la carga contaminante que se dispone en el Río Chibunga debido a que, las aguas pluviales como excedente del volumen de agua sanitaria son descargadas directamente a este cuerpo de agua, lo que provoca una concentración de carga orgánica alta.

En los alrededores del Río Chibunga se encuentran asentamientos poblacionales dedicados a la agricultura y ganadería por lo que la incorporación de un sistema de tratamiento

es conveniente debido a que, se tiene un agua de mejor calidad para distintos usos, como el riego de cultivos y abrevadero de animales de este sector. Es oportuno indicar que, si no se realiza un tratamiento, la contaminación estará presente en el Río Chibunga en niveles superiores a los permitidos.

1.3. Objetivos general y específicos

Objetivo General

Diseñar un sistema de tratamiento para la descarga del Colector Brigada del sistema de alcantarillado de la ciudad de Riobamba para el mejoramiento de la calidad de agua.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de la calidad del agua de descarga del Colector Brigada.
- Determinar el sistema de tratamiento adecuado para la descarga del Colector Brigada.
- Diseñar el sistema de tratamiento para la descarga del Colector Brigada.
- Elaborar los planos del sistema de tratamiento de acuerdo a la alternativa seleccionada.

1.4. Alcance

En el presente trabajo se realizará un análisis de la calidad del agua del Colector Brigada para determinar el tratamiento adecuado, con el fin de que el agua que se descarga al río Chibunga tenga una mejor calidad y sea apta para distintos usos de acuerdo al tratamiento utilizado. La aplicación del tratamiento a la descarga del Colector Brigada conlleva varios procesos entre los que se destacan un muestreo de agua, análisis de calidad del agua, la selección y el diseño del sistema de tratamiento y finalmente los planos del sistema de tratamiento.

El trabajo se limita a hacer uso de datos como: caudales, intensidad de lluvia y topografía del lugar, brindados por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de

Riobamba. Es importante indicar que no se contempla la realización de presupuestos, métodos constructivos, estudios de impacto ambiental, ni cronogramas para el sistema de tratamiento aplicado.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Generalidades del agua

El agua es una molécula formada por 3 átomos, dos átomos de hidrógenos y uno de oxígeno unidos por enlaces covalentes que hacen que la molécula sea estable. El agua es la molécula más abundante en la biósfera, en donde se la encuentra en sus tres estados, líquido, sólido y gaseoso, además es el componente esencial de la estructura y función de los tejidos de los seres vivos.

El Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo menciona que, aunque el agua cubre más de las tres cuartas partes de la superficie terrestre, únicamente el 2.53 % del total es agua dulce y el resto es agua salada. Además, se conoce que, aproximadamente las dos terceras partes del agua dulce se encuentran en glaciares y a la cantidad natural de agua dulce existente en lagos, ríos y acuíferos se agregan 8.000 kilómetros cúbicos almacenados en embalses. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2003)

Los recursos de agua dulce se ven afectados por la contaminación, ya que aproximadamente 2 millones de toneladas de desechos como residuos industriales, químicos y domésticos, fertilizantes y pesticidas son vertidos diariamente en aguas receptoras. Por otro lado, se estima que la producción global de aguas residuales es aproximadamente 1 500 km^3, y asumiendo que un litro de aguas residuales contamina ocho litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender a 12 000 km^3. (UNESCO, 2003)

El agua, si no es afectada por contaminantes puede conservar su calidad durante varios años. El volumen total del agua en nuestro planeta no ha variado, pero ha sufrido un deterioro en su calidad debido al crecimiento demográfico e industrial. (Auge, 2007)

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el agua es fundamental para el desarrollo socioeconómico, producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. Además, el agua forma parte de la adaptación al cambio climático y forma un vínculo entre la sociedad y el medio ambiente. La ONU (2021) menciona también, que el desarrollo del ser humano requiere de agua y de sistemas de saneamiento para mejorar las condiciones de salud, educación y productividad de las poblaciones.

2.1.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales o servidas son aquellas que han sido usadas para distintas actividades en hogares, establecimientos comerciales, industrias, instituciones públicas y otras entidades similares. Esta agua contiene una gran cantidad de contaminantes y patógenos, por lo que es necesario evacuarlas de forma segura de modo que no afecten la salud de la población ni el medio ambiente. La contaminación de un agua residual está en función del caudal, de la concentración de materias en suspensión y de la demanda bioquímica de oxígeno. (Orozco Jaramillo, 2014)

El vertido de aguas residuales sin tratamiento ocasiona daños irreversibles en el medio ambiente, afectando a ecosistemas y a la salud de la población, es por esto que, es importante depurar las aguas residuales previo a su vertido. (Orozco Jaramillo, 2014)

2.2. Utilidades del agua

La disponibilidad de agua es fundamental para la vida y para el desarrollo económico-productivo de cualquier región del mundo. El agua es utilizada en muchas actividades y en cada caso se requiere una calidad particular. La calidad de agua para uso doméstico es la más exigente, debido a que tiene consecuencias directas en la salud de la población.

El agua de uso doméstico comprende el consumo de agua en la alimentación de la población, la limpieza de viviendas, lavado de ropa, higiene y aseo personal. Por otro lado, en

la industria, el agua es usada en el proceso de fabricación de productos, talleres, en la construcción, entre otros. (Fernández Cirelli, 2012)

Según Fernández (2012), las dos terceras partes de los recursos hídricos se destinan al uso agrícola, sin embargo, existe una demanda creciente para el turismo, usos urbanos e industriales.

Es importante resaltar que el agua también cumple un papel importante en la naturaleza debido a que, mantiene los ríos, plantas, ecosistemas y ayuda al transporte de sedimentos.

2.3. Calidad del agua residual

La valoración de la calidad del agua puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza física, química y biológica en relación con su calidad natural. Los parámetros de calidad del agua son los que ayudan a identificar las tendencias integradas a los cambios en la calidad del agua. (Cerezo, 2011)

Los parámetros de calidad de agua permiten identificar la variación espacial y temporal de la calidad del agua, estos parámetros pueden ser físicos, químicos y biológicos y se los describe a continuación. (Cerezo, 2011)

2.3.1. Características físicas

Para ser agradable, el agua debe estar significativamente libre de color, turbidez, olor y sabor, con una temperatura moderada en verano e invierno y bien aireada. (Shammas & Wang, 2016)

2.3.1.1. Turbiedad

La turbiedad o turbidez en el agua, es causada por la presencia de materia en suspensión como arcilla, limo, materiales orgánicos e inorgánicos.

La turbiedad es la medida de las propiedades de transmisión de luz de un agua. La turbiedad se mide comparando la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (Metcalf & Eddy, 1995)

Los nefelómetros son los instrumentos estándar que sirven para medir la turbidez en el agua y dan resultados expresados en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Niveles de turbiedad altos suelen estar asociados con la presencia de microorganismos causantes de enfermedades como virus, parásitos y algunas bacterias.

Es importante considerar a la turbiedad en el tratamiento de aguas residuales debido a que causa rechazo en la población.

2.3.1.2. Color

La materia orgánica disuelta que proviene de la vegetación en descomposición y ciertas materias inorgánicas provocan el color del agua. El color no es un parámetro objetable desde el punto de vista de la salud, sino desde el punto de vista estético. (Shammas & Wang, 2016)

El agua residual suele tener un color grisáceo, sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado, el agua residual cambia de un color gris a un gris oscuro, y finalmente adquiere un color negro. Este color se debe a la formación de sulfuros metálicos por la reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995)

El color es expresado en Unidades de Color Verdadero (UCV), por lo que es necesario conocer la definición de color verdadero y color aparente. Se entiende por color verdadero cuando se mide el color del agua luego de haber removido la turbiedad y color aparente es cuando se mide el color del agua sin haber removido la turbiedad.

Al igual que la turbiedad, es importante considerar el color en el tratamiento de aguas residuales debido a que causa rechazo en la población.

2.3.1.3. Olor y sabor

El olor y sabor ocurren al mismo tiempo. Los olores y sabores de un agua residual se deben a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual tiene un olor desagradable debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microrganismos anaerobios. (Metcalf & Eddy, 1995)

El sabor y olor del agua pueden ser causa del crecimiento de algas, compuestos orgánicos en descomposición, hongos y agroquímicos, sin embargo, también pueden presentarse en el agua debido a causas subterráneas, ya que la materia orgánica sin presencia de oxígeno produce ácido sulfhídrico (H2S), que es un gas inflamable, incoloro y tóxico que causa un olor similar al de los huevos podridos.

El olor provoca rechazo en la población además de conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria.

2.3.1.4. Sólidos totales

Los sólidos totales (ST) son la materia que se obtiene como resultado de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas y se calculan pasando una muestra por un papel filtro para luego determinar los sólidos totales del filtrado. (Sierra, 2011)

Los sólidos sedimentables o suspendidos son aquellos que en el transcurso de un periodo de 60 minutos sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica. Los sólidos sedimentables se expresan en unidades de mg/l. (Metcalf & Eddy, 1995)

Los sólidos suspendidos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte el agua residual a un cuerpo hídrico.

2.3.1.5. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser más elevada que el agua de suministro, debido a la incorporación de agua caliente procedente de uso doméstico e industrial. (Metcalf & Eddy, 1995).

Es importante conocer que, a mayor temperatura, existen mayor cantidad de microorganismos y mayor olor. La temperatura se mide en el sitio con un termómetro y la unidad de medida más utilizada son los grados centígrados (°C).

2.3.2. Características químicas

2.3.2.1. Materia orgánica

Son sólidos que provienen del reino animal y vegetal, así como también de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de materia orgánica. La materia orgánica normalmente contiene carbono, hidrógeno y oxígeno, y en algunos casos se observa la presencia de azufre, fósforo o hierro. En las aguas residuales, los principales grupos de sustancias orgánicas presentes son las proteínas con un 40-60%, los hidratos de carbono con un 25-50% y finalmente los aceites y grasas con un 10%. (Metcalf & Eddy, 1995)

El contenido orgánico se mide en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO). Si se descargan aguas con presencia de materia orgánica sin antes ser tratada puede ocasionar el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y el desarrollo de condiciones sépticas. (Metcalf & Eddy, 1995)

2.3.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO mide la cantidad de oxígeno que requieren los microrganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable presente en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) y es expresada en miligramos de oxígeno por cada litro (mg/l). La DBO medida a los 5 días (DBO5) es el parámetro de contaminación orgánica más usado. La DBO5 mide oxígeno que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. La determinación de la DBO permite determinar la cantidad aproximada de oxígeno necesaria para estabilizar la materia orgánica presente en el agua residual, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y además para controlar los parámetros de vertido de un agua residual. (Metcalf & Eddy, 1995)

2.3.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO mide la cantidad de materia orgánica oxidable químicamente. La DQO es mayor a la DBO debido a que se oxidan sustancias biodegradables como las proteínas, grasas, aceites y carbohidratos y sustancias no biodegradables como hidrocarburos y pesticidas.

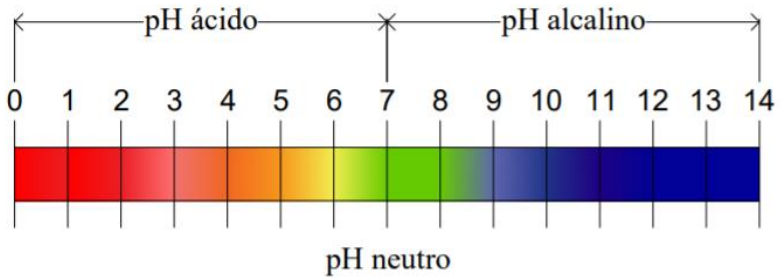
2.3.2.4. Materia inorgánica

Las aguas residuales disuelven minerales y rocas con los que entran en contacto, por lo que es importante considerar las concentraciones de materia inorgánica presente.

2.3.2.5. pH

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Es una escala que representa la acidez y basicidad de una solución. Mediante análisis químicos se sabe que el pH se encuentra en una escala de 0 a 14, donde 7 indica que el agua es neutra, valores inferiores a 7 indican una acidez creciente y valores superiores a 7 indican una alcalinidad creciente. (Metcalf & Eddy, 1995)

Figura 1. Escala de pH



Nota. La escala de pH es una representación que indica que sustancias son ácidas, alcalinas o neutras.

El pH se puede medir en campo o en laboratorio y para ello se utiliza un instrumento conocido como potenciómetro. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades en el tratamiento de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1995)

Las aguas naturales suelen tener valores de pH en el rango de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos. (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2018)

2.3.2.6. Alcalinidad

Es la capacidad para neutralizar ácidos, una alta alcalinidad previene rápidos cambios en el pH, lo que interfiere en el tratamiento de aguas residuales. (Castro, 2019)

La alcalinidad de un agua se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el sodio, el magnesio y el potasio. La alcalinidad se mide en unidades de carbonato de calcio (CaCO3). (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 97)

La alcalinidad se determina por medio de un análisis en laboratorio denominado titulación y los resultados se expresan en mg/l como CaCO3 (Carbonato de Calcio).

2.3.2.7. Acidez

Es la capacidad para neutralizar bases, una alta acidez contribuye a la corrosividad del agua. La acidez de aguas naturales es ocasionada por la presencia de dióxido de carbono (CO_2) o la presencia de un ácido fuerte como el ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4) o amoníaco (NH_3). (Sierra, 2011)

La acidez se determina por medio de un análisis en laboratorio denominado titulación y los resultados se expresan en mg/l como $CaCO_3$ (Carbonato de Calcio).

2.3.2.8. Dureza

La dureza es la concentración de cationes metálicos multivalentes. La dureza de un agua se debe a la presencia de aluminio, hierro, manganeso, pero principalmente al calcio y al magnesio. El agua dura no hace espuma, no disuelve el jabón y a elevadas temperaturas forma incrustaciones en las tuberías. (Sierra, 2011)

2.3.2.9. Arsénico

El arsénico (As) se encuentra de forma natural y se utiliza en insecticidas. Si las personas beben agua que supera los valores permitidos de arsénico en una cantidad considerable a lo largo de su vida, pueden sufrir de fatiga y pérdida de energía, y en niveles extremadamente altos puede causar toxicidad. (Castro, 2019)

2.3.2.10. Plomo

Las fuentes de plomo incluyen las tuberías de plomo, las tuberías galvanizadas y los vertidos de residuos peligrosos. Cantidades excesivas de plomo provocan trastornos del sistema nervioso, daños cerebrales o renales. (Castro, 2019)

2.3.2.11. Cobre

El cobre se encuentra en ciertas aguas residuales, sobre todo en las zonas donde existen actividad minera. El cobre en pequeñas cantidades no se considera perjudicial para la salud, sin embargo, da un sabor indeseable al agua. (Shammas & Wang, 2016, págs. 302-303)

2.3.2.12. Nitrógeno

El nitrógeno es fundamental para la síntesis de proteínas y está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitritos y nitratos, se expresa en unidades de mg/l. (Castro, 2019)

Los nitritos son relativamente inestables y fácilmente oxidables a la formas de nitratos además de que son tóxicos para especies acuáticas. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 98)

Los nitratos son la forma más oxidada del nitrógeno que se encuentran en las aguas residuales, se forman debido a la descomposición de sustancias inorgánicas nitrogenadas, como las proteínas. Una concentración mayor a 10 mg/l produce una enfermedad en los niños llamada metahemoglobina, además de que produce dificultad para respirar. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 98)

2.3.2.13. Azufre

La presencia de azufre se fundamenta en la síntesis de proteínas, y posteriormente este elemento es liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen a sulfuros y sulfuros de hidrógeno en condiciones anaerobias. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 100)

El sulfuro de hidrógeno (H2S) se forma durante la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre. El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable, y con un olor similar al de huevos podridos; este gas es corrosivo para las tuberías y es el responsable de la generación de olores desagradables. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 100)

2.3.2.14. Metano

Es un hidrocarburo incoloro e inodoro y con un alto valor energético. Este gas es producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual. (Castro, 2019)

2.3.3. Características biológicas

En el agua se pueden encontrar cinco categorías de organismos parasitarios infecciosos o indeseables para las personas: bacterias, protozoos, gusanos, virus, hongos y algas. Las bacterias, protozoos, gusanos y virus son organismos productores de enfermedades, mientras que los hongos y las algas son los responsables del olor y sabor del agua. (Shammas & Wang, 2016, pág. 307)

Tabla 1. Características de organismos parasitarios

Bacterias, Protozoos y Gusanos	**Algas**
Liberan energía	Almacenan energía
Pueden tener órganos sensoriales y sistema nervioso	No tienen órganos sensoriales ni sistema nervioso
Liberan dióxido de carbono	Liberan oxígeno
Las paredes celulares se componen de materia proteica	Las paredes celulares están compuestas de celulosa
El metabolismo depende de la digestión de los alimentos	El metabolismo depende de la absorción de agua y gases

Nota. Las bacterias, protozoos y gusanos se clasifican como animales, mientras que las algas pertenecen al reino vegetal por lo tanto tienen sus propias características. Adaptado de "Water Engineering: Hydraulics, Distribution and Treatment", por N. K. Shammas, L. K. Wang, 2016, p. 307.

2.3.3.1. Organismos Patógenos

Los organismos patógenos presentes en las aguas residuales pueden originarse en desechos humanos infectados o que sean portadores de alguna enfermedad. Los principales organismos patógenos son las bacterias, virus, protozoos y helmintos. Las enfermedades que

pueden transmitirse por medio de estos organismos son la diarrea, fiebre, tifoidea y el cólera. (Metcalf & Eddy, 1995)

2.3.3.2. Bacterias

Son organismos unicelulares, pueden ser aerobias o anaerobias, son autótrofas o heterótrofas y miden aproximadamente de 0.5 a 5 micras. Las bacterias desempeñan un papel importante en los procesos de descomposición y estabilización de materia orgánica. Las bacterias más comunes presentes en las aguas residuales son la Escherichia Coli, y la Salmonella. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 104)

2.3.3.3. Protozoos

Son microorganismos eucariotas y tienen una estructura formada por una célula abierta. Los protozoos se alimentan de bacterias y de otros microorganismos microscópicos. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 105)

Cryptosporidium y giardia lamblia son los microorganismos más comunes de esta categoría. La presencia de estos microorganismos en el agua puede causar infecciones intestinales que causan gases, diarrea, malestares estomacales, calambres estomacales y náuseas, además de deshidratación y pérdida de peso. (Shammas & Wang, 2016, págs. 307-308)

2.3.3.4. Virus

Los virus son los microorganismos más pequeños conocidos por los científicos y están formados por ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN). Estos microorganismos no son capaces de sintetizar compuestos, sin embargo, invaden las células de un cuerpo vivo haciendo que se produzcan nuevas partículas virales a costa de células originales. Los virus que más comúnmente se presentan en las aguas residuales son el Adenovirus, Rotavirus y la Hepatitis A. (Metcalf & Eddy, 1995, pág. 106)

2.3.3.5. Helmintos

Son organismos multicelulares y pueden ser cestodos o nemátodos. Los nemátodos son gusanos redondos que poseen aparato digestivo y sistema reproductor. Los huevos de nemátodos miden entre 50 y 130 micras. Por otro lado, los cestodos son gusanos planos que no tienen aparato digestivo definido y miden entre 1 y 25 metros. (Castro, 2019)

2.3.4. Marco Legal

En el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, referente a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes del Recurso Agua se encuentran los límites permisibles para las descargas en cuerpos de agua y los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos. El objetivo principal de la norma mencionada es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones.

El Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente prohíbe todo tipo de descarga en:

- Las cabeceras de las fuentes de agua.
- Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y
- Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce deberá cumplir con los valores establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2
Boro total	B	mg/l	2
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cobre	Cu	mg/l	1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	Remoción > al 99.9 %
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10
Manganeso total	Mn	mg/l	2
Nitratos Nitritos	N (Nitrógeno)	mg/l	10
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	15
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	1
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos Totales		mg/l	1600

Nota. Adaptado de "Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua", por Ministerio del Ambiente, 2015, p. 21-22.

La determinación de los límites de calidad para un vertido determinado se efectúa mediante la siguiente relación desarrollada a través de un balance de material, en el punto de descarga, en cualquier sistema consistente de unidades:

$$Ce = Cc + (Cc - Cr) \cdot R \quad (1)$$

Donde:

Ce: concentración media diaria (del contaminante) máxima permitida en el vertido (o efluente tratado).

Cc: concentración media diaria igual al criterio de calidad para el uso asignado en el tramo aguas abajo del vertido.

Cr: concentración del contaminante en el tramo aguas arriba del vertido.

Qr: caudal crítico de cuerpo receptor.

Qe: Caudal del descarga en condiciones futuras.

R: relación de caudales entre el río y el vertido (Qr/Qe).

Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos en la Tabla 2, deberán ser tratadas adecuadamente.

Para determinar la calidad del agua residual se deben aplicar los métodos establecidos en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", en su más reciente edición. Además, deberán considerarse las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2003. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2003 tiene como objetivo establecer las precauciones que se deben tomar para conservar y transportar muestras de agua, además de describir las técnicas de conservación más utilizadas.

Las aguas superficiales, incluyendo las residuales son susceptibles a diferentes cambios como resultado de reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento de muestreo y durante el análisis, por esta razón es importante tomar las precauciones pertinentes al momento de tomar las muestras, antes y durante el transporte de las mismas, así como también durante su permanencia en el laboratorio. (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2013)

En la Tabla 3 se pueden observar las técnicas generales para la conservación de muestras.

Tabla 3. Técnicas generales para la conservación de muestras – análisis físico – químico – microbiológico

Parámetros	Tipo de recipiente	Técnicas de Conservación	Lugar del análisis	Tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis	Método de Ensayo NTE INEN
Acidez y alcalinidad	Plástico o Vidrio	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	
Aluminio	Plástico	Filtración en el lugar de muestreo y acidificación del filtrado a pH <2	Laboratorio	1 mes	
Arsénico total	Plástico o Vidrio	Acidificar a pH <2	Laboratorio	1 mes	980
Cloro Activo	Plástico o Vidrio		Laboratorio	1 mes	976
Cobre	Plástico o Vidrio Borosilicatado	Filtración en el lugar de muestreo y acidificación del filtrado a pH <2	Laboratorio	1 mes	984
Coliformes Fecales	Recipiente estéril	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	8 h	1205
Color real	Plástico o Vidrio	Refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h	970
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Plástico o Vidrio (vidrio para concentraciones bajas de DBO)	Refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h	
Demanda Química de Oxígeno	Plástico o Vidrio (vidrio para concentraciones bajas de DQO)	Acidificar a pH <2 con H2SO4, refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	Laboratorio	5 días	
Dureza	Plástico o Vidrio borosilicatado		Laboratorio	24 h	
		Acidificar a pH <2	Laboratorio	1 mes	974
Manganeso Total	Plástico o Vidrio Borosilicatado		Laboratorio	24 h	1107
		Acidificar a pH <2	Laboratorio	1 mes	
Nitratos	Plástico o Vidrio	Acidificar a pH <2 o refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	975
		En el lugar filtrar en una membrana filtrante y refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	48 h	995
Nitritos	Plástico o Vidrio	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	
Plata	Plástico o Vidrio Borosilicatado	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO3		1 mes	
Plomo	Plástico o Vidrio borosilicatado	Filtración en el lugar de muestreo y acidificación del filtrado a pH <2	Laboratorio	1 mes	1102
pH	Plástico o Vidrio		En el sitio		973
		Transportar a una temperatura más baja que la inicial	Laboratorio	6 h	
Sólidos Totales	Plástico o Vidrio	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	
Turbidez	Plástico o Vidrio		Laboratorio	24 h	971

Nota. Es importante cumplir con las técnicas y tiempo de conservación de muestras para evitar reacciones físicas, químicas y biológicas que alteren los resultados. Adaptado de "NTE INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p. 8-16.

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.

La Norma INEN 2176:2013 establece las guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de calidad de aguas naturales y residuales para

su caracterización. Los lineamientos que se presentan en esta norma ayudan a la selección de materiales de aplicación general y el equipo de muestreo.

Pruebas de tratabilidad en el laboratorio

Las técnicas de análisis para la calidad de aguas residuales que a continuación se describen, se basan en los métodos Normalizados: APHA (American Public Health Assocition), AWWA (American Water Works Association) y WPCF.

4500-H-B: pH

La medición del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes en la química del agua. Todas las fases del suministro de agua y del tratamiento de aguas residuales como la neutralización ácido-base, la precipitación, la coagulación, la desinfección y el control de la corrosión dependen del pH. El pH se utiliza en las mediciones de la alcalinidad y del dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2018)

La medición electrométrica del pH es una determinación de la actividad de los iones de hidrógeno medida con el potenciómetro que utiliza electrodos de hidrógeno y un electrodo de referencia. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2018)

Aparatos:

- → Potenciómetro: es un medidor de pH que consiste en un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un dispositivo de compensación de temperatura.
- → Electrodo de referencia: Consta de una media celda que proporciona un potencial de electrodo constante. Los más usados son los electrodos de calomelanos y electrodos de cloruro de plata.
- → Electrodo de vidrio: Consiste en una bombilla especial de vidrio que contiene una concentración fija de HCl en contacto con un electrodo de referencia interno.

- → Vasos de precipitados: Se deben utilizar vasos de precipitados de polietileno.
- → Agitador: Se puede utilizar una barra de agitación magnética o un agitador mecánico recubierto de plástico.

Reactivos:

- → Soluciones Buffer de pH 4, 7 y 10.

Procedimiento:

1. Calibración: Se debe calibrar el equipo según las especificaciones del fabricante. Antes de usar, se deben retirar los electrodos de la solución de almacenamiento, enjuagarlos y secarlos.
2. Se sumerge el electrodo medidor de pH en la solución Buffer pH 4 se agita por unos segundos.
3. Se retira el electrodo, se lava, seca y se sumerge en la solución Buffer pH 7, se agita por unos segundos.
4. Se retira el electrodo, se lava, seca y se sumerge en la solución Buffer pH 10, se agita por unos segundos.
5. Se retira el electrodo, se lava, seca y se sumerge en la muestra durante 1 minuto y se toma lectura del pH.

2130-B: Turbiedad

Este método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia en las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez. La suspensión que se utiliza es la formazina. La turbidez de una concentración específica de suspensión de formazina se define como 4000 UNT. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2018)

Limitaciones:

La turbiedad puede determinarse para cualquier muestra de agua que esté libre de residuos y sedimentos gruesos de rápida sedimentación. Por otra parte, la presencia de burbujas de aire da resultados falsos.

Aparatos:

- → Nefelómetro de laboratorio: consiste en una fuente de luz para iluminar la muestra y uno o más detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la trayectoria de la luz incidente. La sensibilidad del instrumento debe permitir detectar diferencias de turbidez de 0.02 UNT o menos.
- → Tubos de muestra: Se deben utilizar tubos de vidrio o plástico transparente e incoloro. Estos deben mantenerse limpios, tanto por dentro como por fuera, y se los debe desechar si están rayados.

Reactivos:

- → Agua de dilución: Para obtener agua de baja turbidez para las diluciones (valor nominal 0.02 UNT), se debe pasar el agua a través de un filtro con un tamaño de poro lo suficientemente pequeño como para eliminar todas las partículas mayores de 0.1 mm.
- → Formazina

Solución 1: Disolver 1.000 g de sulfato de hidracina, $(NH_2)_2\ H_2\ SO_4$ en agua destilada y diluir hasta 100 ml en un matraz.

Solución 2: Disolver 10 g de hexametilentetramina en agua destilada y diluir hasta 100 ml en un matraz.

Solución 3: En un matraz mezclar 5 ml de solución 1 y 5 ml de solución 2, dejar reposar durante 24 horas a 25 ± 3°C.

Procedimiento:

Medición de la turbidez:

1. Agitar suavemente la muestra.
2. Esperar a que desaparezcan las burbujas de aire y verter muestra en los tubos de muestra.
3. Colocar los tubos en el nefelómetro y leer la turbidez directamente en la pantalla del instrumento.

Técnicas generales de medición:

- → Se debe medir la turbidez inmediatamente para evitar que los cambios de temperatura, la floculación y la sedimentación de las partículas modifiquen las características de la muestra. Si la floculación es aparente, se deben romper los agregados mediante agitación. Se debe evitar la dilución siempre que sea posible ya que pueden cambiar las características de la muestra.
- → Es necesario eliminar el aire u otros gases presentes en la muestra antes de la medición. Es recomendable desgasificar la muestra, aunque esta no tenga burbujas. Si no se pueden eliminar los gases de la muestra, la formación de burbujas se reducirá si las muestras se mantienen a la temperatura y la presión del agua antes del muestreo. No se deben eliminar las burbujas de aire dejando reposar la muestra durante un período de tiempo debido a que, durante el reposo, las partículas que causan turbidez pueden sedimentarse y la temperatura de la muestra puede cambiar, alterando la turbiedad de la muestra y dando lugar a una medición no representativa.
- → Se debe eliminar la humedad del exterior del tubo de muestra antes de colocarlo en el nefelómetro. Si existe humedad, la muestra debe reposar a temperatura ambiente o se

la puede sumergir parcialmente en un baño de agua caliente durante un breve periodo de tiempo.

5210-B: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El ensayo consiste en medir la cantidad de oxígeno consumido por organismos vivos en la degradación de la materia orgánica presente en un residuo durante un periodo de cinco días a 20 °C. Para el método es necesario que exista una población de microorganismos (semilla), para la degradación de la materia orgánica.

Para realizar el ensayo se debe llenar un frasco hermético de tamaño especificado con la muestra sembrada (agua contaminada) e incubarlo a 20 ± 3 °C durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación y la DBO se calcula a partir de la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y final.

Muestreo y almacenamiento:

La muestra debe ser recolectada en frascos de polipropileno de 2000 ml de capacidad y debe ser refrigerada a 4 °C hasta el momento de realizar el ensayo. El análisis debe ser realizado dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra.

Aparatos:

- → Frascos de incubación: Se deben utilizar frascos de vidrio de 60 ml o más (se recomienda utilizar frascos de 300 ml con tapón de vidrio). Limpiar y secar bien los frascos antes de utilizarlos.
- → Incubadora de aire con control termostático a 20 ± 1°C. Realizar el ensayo en la oscuridad para evitar la producción fotosintética de oxígeno disuelto.

Reactivos:

- → Agua destilada
- → Solución tampón de fosfato: Disolver 8.5 g de KH_2PO_4, 21.75 g de K_2HPO_4, 33.4 g de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, y 1.7 g de NH_4Cl en aproximadamente 500 ml de agua destilada y diluir a 1 L. El pH de la solución debe ser 7.2 sin posteriores ajustes.
- → Solución de sulfato de magnesio: Disolver 22.5 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua destilada y diluir a 1L.
- → Solución de cloruro de calcio: Disolver 27.5 g de $CaCl_2$ en agua destilada y diluir a 1L.
- → Soluciones ácidas y alcalinas

Ácido Sulfúrico. Lentamente y mientras se agita, añadir 28 ml de ácido sulfúrico al agua destilada y diluir a 1L.

Hidróxido de Sodio. Lentamente y mientras se agita, disolver 40 g de hidróxido de sodio en agua destilada y diluir a 1 L.

- → Solución de glucosa-ácido glutámico: Secar la glucosa de grado reactivo y ácido glutámico de grado reactivo a 103 °C durante 1 h. Añadir 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico al agua destilada y diluir a 1 L. Es importante almacenar todas las mezclas de glucosa y ácido glutámico en un frasco de tapa de rosca y estéril a 4°C o menos.
- → Agua de origen (agua contaminada) para preparar el agua de dilución de la DBO. Utilizar agua desmineralizada, destilada, del grifo o natural para hacer las diluciones de la muestra.

Procedimiento:

Preparación del agua de dilución

1. Llenar una botella (de preferencia de vidrio) con agua destilada, la necesaria para el análisis. Comprobar que la concentración de oxígeno disuelto sea como mínimo de 7.5 mg/l antes de utilizar el agua para las pruebas de DBO. Si no es así, añadir Oxígeno Disuelto (OD) agitando la botella o aireando con aire filtrado libre de materia orgánica.
2. Agregar 1 ml de cada una de las siguientes soluciones, por cada litro de agua de dilución a preparar: solución tampón de fosfato, solución de sulfato de magnesio, solución de cloruro de calcio, solución de cloruro de hierro (III).
3. Verificar que la temperatura del agua de dilución sea de 20 ± 3 °C.

Alistamiento general:

1. Alistar 3 botellas por cada muestra: blanco y blanco con semilla.
2. Registrar el valor de 293 ml que corresponde al valor promedio de las botellas del laboratorio (293 ± 4 ml).
3. Añadir 2 ml de la semilla.

Lectura del blanco:

1. Alistar tres botellas.
2. Rotular las botellas como “Blanco” y la fecha de análisis.
3. Añadir agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella.
4. Tomar lectura del oxígeno inicial de los blancos, llenar totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxigeno entre la botella y el ambiente).
5. Tomar lectura de las otras dos botellas de blancos como muestras y registrar los datos e incubar a 20 ± 3°C por cinco días.

Lectura de blanco con semilla:

1. Alistar tres botellas.
2. Rotular las botellas como “Blanco + Semilla” y la fecha de análisis.
3. Añadir 2 ml de semilla.
4. Añadir agua de dilución hasta la mitad del cuello de la botella.
5. Tomar lectura del oxígeno inicial de los blancos con semilla, llenar totalmente dejando el sello hidráulico.
6. Registrar los datos e incubar a 20 ± 3°C por cinco días.
7. Al quinto día, tomar lectura del oxígeno disuelto residual.
8. Calcular la DBO_5 con la ecuación:

$$DBO_5, mg/l = \frac{(D_1 - D_2) - S \cdot V_s}{P}$$

Donde:

D1: OD de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación (mg/l).

D2: OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C (mg/l).

S: absorción de oxígeno de las semillas (OD/ml de suspensión de semillas añadida por frasco). S = 0 si las muestras no están sembradas.

Vs: volumen de semillas en la botella de ensayo respectiva (ml).

P: fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

5220-D: Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia de oxígeno. Debido a sus propiedades químicas únicas el ion dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$) es el oxidante utilizado en el método 5220-D. Tanto

los componentes orgánicos como los inorgánicos de una muestra están sujetos a la oxidación, pero en la mayoría de los casos predomina el componente orgánico y es el de mayor interés. El grado de oxidación de la muestra puede verse afectado por el tiempo de digestión, la fuerza del reactivo y la concentración de DQO de la muestra. La DQO se utiliza a menudo como medida de los contaminantes en las aguas residuales y aguas naturales.

Limitaciones:

El interferente más común es el ion cloruro. El ion cloruro reacciona con el ion plata para precipitar en forma de cloruro de plata. El bromuro, el yoduro y cualquier otro reactivo que inactivan el ion plata pueden interferir de forma similar. Estas precipitaciones restringen la acción oxidante de ion dicromato. Sin embargo, las dificultades causadas por la presencia del cloruro, para muestras que contengan hasta 2000 mg Cl/l, pueden superarse utilizando sulfato de mercurio ($HgSO_4$) antes del procedimiento.

Muestreo y almacenamiento:

Recoger las muestras preferentemente en frascos de vidrio. Se deben homogeneizar las muestras que contengan sólidos en suspensión antes del análisis.

Aparatos:

- → Recipientes de digestión: Utilizar preferentemente tubos de cultivo de borosilicato, 16X100 mm, 20X150 mm, o 25X150 mm, con tapones de rosca.
- → Espectrofotómetro, para uso a 600 nm y/o 420 nm con adaptador de abertura de acceso para tubos de 16, 20 o 25 mm.

Reactivos:

- → Solución de digestión, rango alto: Añadir a 500 ml de agua destilada, 10.216 g de $K_2Cr_2O_7$, previamente secado a 150°C durante 2 h, 167 ml de H_2SO_4 concentrado, y 33.3 g de $HgSO_4$. Disolver, enfriar a temperatura ambiente, y diluir hasta 1000 ml.

→ Solución de digestión, rango bajo: Se prepara como la solución de digestión de rango alto, pero se utiliza 1.022 g de dicromato de potasio.

→ Reactivo de ácido sulfúrico: Añadir Ag_2SO_4, en cristales o en polvo, al H_2SO_4 a razón de 5.5 g Ag_2SO_4 / kg H_2SO_4. Dejar reposar de 1 a 2 días para que se disuelva, y mezclar.

Procedimiento:

1. Medir un volumen adecuado de muestra y reactivos en el tubo según se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Cantidades de muestras y reactivos para varios vasos de digestión

Vaso de Digestión	**Muestra**	**Solución de Digestión**	**Reactivo de Ácido Sulfúrico**	**Volumen Total Final**
	mL	**mL**	**mL**	**mL**
Tubos de Cultivo:				
16 X 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 X 150 mm	5	3	7	15
25 X 150 mm	10	6	14	30
Estándar de 10 mL	2.5	1.5	3.5	7.5

Nota. Adaptado de "5220-D Chemical Oxygen Demand (COD)", por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2018.

2. Enfriar la muestra a temperatura ambiente lentamente para evitar la formación de precipitados. Una vez que las muestras se hayan enfriado, ventilar, si es necesario, para aliviar la presión generada durante la digestión.

3. La DQO se calcula con la siguiente expresión:

$$DQO = \frac{mg\ O_2\ en\ el\ volumen\ final\ \times 1000}{ml\ muestra}\ (\frac{mg}{l})$$

Es preferible analizar 2 muestras debido al pequeño tamaño de la muestra. Las muestras que no son homogéneas pueden requerir múltiples determinaciones para un análisis preciso. Estas muestras no deben diferir de su media en más de un 5% para la prueba de DQO.

2540-D: Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos son la materia suspendida o disuelta en las aguas potables, superficiales y salinas, así como en las aguas residuales domésticas e industriales.

El ensayo consiste en que una muestra bien mezclada es evaporada en un plato y secada en un horno a una temperatura de 103 a 105 °C hasta alcanzar un peso constante. El aumento de peso con respecto al plato vacío representa los sólidos totales.

Aparatos:

- → Platos de evaporación: Platos de 100 ml de capacidad de porcelana, platino o vidrio con un alto contenido de sílice.
- → Baño de vapor
- → Desecador
- → Horno de secado, para funcionar a 103 a 105 °C
- → Balanza, con una precisión de 0.1 mg
- → Pipetas
- → Cilindro graduado
- → Vaso de precipitados

Procedimiento:

Preparación de la cubeta de evaporación:

1. Calentar el plato limpio a 103-105 °C durante 1 hora.
2. Guardar y enfriar el plato en un desecador hasta que se necesite.
3. Pesar inmediatamente antes de usarlo.

Análisis de la muestra:

1. Elegir un volumen de muestra que produzca un residuo entre 2.5 y 200 mg.

2. Pipetear un volumen medido de muestra bien mezclada a un plato previamente pesado.
3. Evaporar la muestra hasta la sequedad en un baño de vapor o en un horno de secado.
4. Secar la muestra evaporada durante al menos 1 hora en un horno a una temperatura de 103 a 105°C.
5. Enfriar el plato en el desecador para equilibrar la temperatura y pesar.
6. Repetir el ciclo de secado, enfriamiento y desecación hasta obtener un peso constante, o hasta que cambio de peso sea inferior al 4% del peso anterior o a 0.5 mg, lo que sea menor.
7. Calcular los sólidos totales con la siguiente expresión:

$$mg\ sólidos\ totales/l = \frac{(A - B) \cdot 1000}{volmen\ de\ muestra, ml}$$

Donde:

A: peso del residuo seco + plato (mg)

B: peso del plato (mg)

9222-D: Coliformes Fecales

Las densidades de coliformes fecales pueden determinarse mediante el procedimiento de tubos múltiples o por la técnica de filtración por membrana (MF). El procedimiento de MF para coliformes fecales utiliza un medio enriquecido con lactosa y una temperatura de incubación de 44.5 ± 0.2°C para la selectividad. Es importante para el ensayo, mantener la temperatura correcta, por lo que se deben sumergir los cultivos impermeabilizados (en bolsas de plástico) en Baño María para la incubación o se puede utilizar una incubadora que pueda mantener la temperatura de 44.5 ± 0.2 °C en toda la cámara durante un período de 24 horas.

Limitaciones:

Existen limitaciones para la interpretación de un resultado de coliformes fecales en aguas termales, biopelículas de agua potable, y muestras de efluentes de fábricas.

Aparatos y medios de cultivo:

→ Medio mFC: Es necesario utilizar medios deshidratados.

Lactosa …… 12.5 g
Triptosa ……... 10.0 g
Peptona ……. 5.0 g
Extracto de levadura ……...…… 3.0 g
Cloruro de sodio, NaCl ……..…..…..……....…..… 3.0 g
Lactosa ……..…..…….……...…..……..… 12.5 g
Sales biliares Nº 3 ……..……...……....……..…… 1.5 g
Azul de anilina ……..……...…..…….…..… 0.1 g
Agar ……..…..…….…….……..… 15.0 g
Agua de grado reactivo ……..…….....…….…...… 1 L

Rehidratar el producto en 1 litro de agua que contenga 10 ml de ácido rosólico al 1% en 0.2 N NaOH. Calentar hasta que esté a punto de hervir, retirar rápidamente del fuego, y enfriar a menos de 50 °C. El pH final debe ser de 7.4 ± 0.2. Refrigerar el medio terminado (de preferencia en bolsas de plástico selladas u otros contenedores para reducir la pérdida de humedad) y desechar el medio no utilizado.

→ Platos de cultivo: De preferencia, se deben utilizar platos de plástico ya que los platos de cultivo con filtro de membrana se sumergen en un Baño María durante la incubación.

→ Incubadora

Procedimiento:

Selección del tamaño de la muestra:

1. Seleccionar el volumen de la muestra de agua a examinar de acuerdo con la información de Tabla 5.

Tabla 5. Volúmenes de Muestra Sugeridos para el Filtro de Membrana. Prueba de Coliformes o E. Coli

	Volumen (X) a Filtrar mL							
Fuente de agua	**100**	**50**	**10**	**1**	**0.1**	**0.01**	**0.001**	**0.0001**
Agua potable	X							
Lagos, embalses	X	X						
Pozos, manantiales	X	X						
Aguas termales		X	X	X				
Planta de tratamiento de aguas residuales			X	X	X			
Estanques agrícolas, ríos			X	X	X	X		
Escorrentía de aguas pluviales				X	X	X		
Aguas residuales sin tratar				X	X	X	X	
Fangos de depuración					X	X	X	X

Nota. Adaptado de "9222-D: Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group", por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2018.

Cuando se desconozca la densidad bacteriana de la muestra, filtrar varios volúmenes o diluciones para lograr una densidad contable. Calcular el volumen y/o la dilución que se espera que produzca una membrana contable, y seleccionar dos cantidades adicionales que representen una décima parte y diez veces este volumen, respectivamente.

Filtración de la muestra:

1. Utilizando unas pinzas estériles, colocar un filtro de membrana estéril sobre la placa porosa de la base.

2. Colocar con cuidado el embudo sobre la base y fijarlo en su lugar.
3. Filtrar la muestra.
4. Con el filtro todavía colocado, enjuagar la superficie interior del embudo filtrando tres porciones de 20 a 30 ml de agua de dilución estéril tamponada.

Preparación del plato de cultivo:

1. Utilizando una técnica aséptica, colocar una almohadilla absorbente estéril en cada plato de cultivo y pipetear al menos 2.0 ml de medio mFC (preparado) para saturar almohadilla.
2. Eliminar cuidadosamente el exceso de líquido del plato de cultivo decantando el plato.
3. Después de la filtración, colocar asépticamente el filtro de muestra en la almohadilla saturada de medio mFC.

Incubación:

1. Colocar los platos preparadas en bolsas de plástico y sellarlos, invertir y sumergir los platos en Baño María.
2. Incubar durante 24 ± 2 horas a 44.5 ± 0.2 °C.
3. Mantener los platos por debajo de la superficie del agua para mantener los requisitos de temperatura.
4. Colocar todos los cultivos preparados en el Baño María dentro de los 30 minutos siguientes a la filtración.

Recuento:

1. Contar las colonias con un binocular de bajo poder (10 a 15 aumentos), un microscopio binocular de disección de campo amplio u otro dispositivo óptico. Las colonias producidas por las bacterias coliformes fecales son de varios tonos de azul. Las colonias de coliformes no fecales son de color gris a crema.

2. Calcular los coliformes fecales por gramo de peso seco de la siguiente manera:

$$Coliformes\ Fecales, UFC/100\ ml = \frac{colonias\ contadas}{dilución\ elegida\ \cdot \%\ de\ sólidos\ secos}$$

Donde la dilución y el % de sólidos secos se expresan en forma decimal.

2.4. Origen de las aguas residuales

Las zonas residenciales, comerciales, instituciones públicas, establecimientos industriales y posibles infiltraciones y aportaciones incontroladas constituyen las fuentes de generación de aguas residuales.

Aguas residuales domésticas

Son aguas de desecho que provienen de viviendas, centros comerciales, instituciones públicas y centros educativos. (TULSMA, 2015)

Aguas residuales industriales

Son aguas residuales no domésticas, provenientes de procesos productivos industriales incluyendo actividades agrícolas y pecuarias. (TULSMA, 2015)

Infiltraciones y aportaciones incontroladas

Infiltración: es el agua que entra en la red de alcantarillado a través de tuberías en mal estado, o por las paredes de los pozos.

Aportaciones permanente: es el agua que proviene del drenaje de sótanos y cimentaciones, así como también drenajes de zonas pantanosas y manantiales. (Metcalf & Eddy, 1995)

Aportaciones directas: es el agua que corresponde a la escorrentía superficial y se conecta a la red sanitaria. (Metcalf & Eddy, 1995)

2.4.1. Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales se refiere a la cantidad de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. Los constituyentes del agua residuales y sus concentraciones varían en función de la hora del día, del día de la semana y del mes del año. La Tabla 6 muestra una composición típica de un agua residual doméstica bruta, teniendo en cuenta que los valores pueden variar dependiendo de los parámetros que fueron mencionados anteriormente.

Tabla 6. Composición típica de un agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Sólidos suspendidos (SS)	mg/l	100	220	350
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), 5 días	mg/l	110	220	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (P)	mg/l	4	8	15
Alcalinidad (como CaCO3)	mg/l	50	100	200
Coliformes totales	NMP/100 ml	10^6 - 10^7	10^7 - 10^8	10^7 - 10^9
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10^5 - 10^6		

Nota. Adaptado de "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización", por Metcalf & Eddy, 1995, p. 125.

2.4.2. Estimación de los caudales de aguas residuales

La cantidad de aguas residuales que se genera en una aglomeración urbana está en proporción directa con el consumo de agua de abastecimiento, el que se encuentra relacionado con el estado económico y social, debido a que un mayor desarrollo lleva consigo mayor uso de agua en distintas actividades humanas. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Los factores que influyen en la cantidad de aguas residuales son:

- El consumo de agua de abastecimiento
- La pluviometría
- Las pérdidas que pueden deberse a fugas en las tuberías
- La parte del agua de consumo que no llega a la red de alcantarillado como por ejemplo el agua utilizada en riego de zonas verdes, en el lavado de autos, en el lavado pisos, entre otros.

→ Dotación Neta y Bruta

$$d_{neta} = \frac{Consumo\ Neto}{P} \tag{3}$$

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - Pérdidas\ Físicas} \tag{2}$$

Donde:

d_{neta}: dotación neta (l/hab·día)

d_{bruta}: dotación bruta (l/hab·día)

P: población servida futura (hab)

Nota: El porcentaje de pérdidas físicas debe ser como máximo el 25%. (Ministerio de Desarrollo Económico - Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2000)

→ Caudal medio diario de agua potable

Este caudal corresponde al promedio de los consumos diarios en un periodo de un año.

$$QmdAP = \frac{P \cdot d_{bruta}}{86400} \tag{4}$$

Donde:

QmdAP: caudal medio diario de agua potable (l/s)

→ Caudal medio diario de aguas servidas (Qmd)

$$QmdAS = Fr \cdot P \cdot d_{neta} \quad (5)$$

Donde:

QmdAS: caudal medio diario de aguas servidas (l/s)

Fr: factor de retorno.

El factor de retorno establece que solamente un porcentaje de agua consumida por la población se dirige a la red de alcantarillado, ya que cierto porcentaje es utilizado en el riego de zonas verdes, lavado de autos, lavado de pisos, entre otros. El valor de este factor varía entre el 70 % al 80 %, dependiendo de la zona de estudio. (Castro, 2019)

→ Caudal Máximo Horario

$$QMH = Qmd \cdot FM + Qind \quad (6)$$

$$FM = \frac{3.114}{Qmd^{0.062}} \ (Ecuación\ de\ Gaines) \quad (7)$$

Donde:

QMH: caudal máximo horario de aguas residuales (l/s)

Qmd: caudal medio diario de aguas residuales (l/s)

Qind: caudal de aportes industriales (l/s)

FM: factor de mayoración que depende de las variaciones horarias de consumo.

→ Caudales de aguas servidas industriales (Qind)

Este caudal varía según el tipo de industria; para industrias pequeñas y medianas el valor del caudal suele estar entre 0.4 a 1 l/s·ha. (Castro, 2019)

→ Caudales de infiltración (Qinf)

Este caudal corresponde a aguas freáticas que ingresan al sistema de alcantarillado. Se puede considerar 0.1 l/s·ha cuando el aporte es bajo y 0.3 l/s·ha cuando el aporte es alto. (Castro, 2019)

→ Caudales de aguas lluvias (Qall)

Este caudal corresponde al aporte de aguas lluvias que fluyen a través de bajantes de techos y patios y tienen como destino el alcantarillado.

Las variaciones de los caudales de las aguas residuales afectan al diseño hidráulico de alcantarillas, así como también a las instalaciones de tratamiento, por lo que es necesario tener en cuenta los caudales máximos y mínimos para un correcto funcionamiento de las operaciones que conforman una planta de tratamiento.

→ Caudal de diseño

$$Qdis = (Qmd \cdot FM + Qind) + Qinf + Qall \quad (8)$$

→ Caudal máximo de diseño

Es el caudal máximo horario en el horizonte de diseño (25 – 40 años). (INEN, 1992)

→ Caudal mínimo de diseño

Es el caudal máximo horario que corresponde al primer año del periodo de diseño. (INEN, 1992)

→ Caudal de diseño de aguas lluvia

Para calcular el caudal pluvial se utiliza el Método Racional para áreas con una superficie inferior a 500 ha. (INEN, 1992)

$$Q = 2.78 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (9)$$

Donde:

Q: caudal de escurrimiento (l/s)

C: coeficiente de escorrentía, este factor depende de las características de la superficie.

A: área de la cuenca (ha)

i: intensidad de lluvia (mm/h). La intensidad es la cantidad de agua lluvia que cae sobre una superficie por unidad de tiempo.

Limitaciones del Método Racional:

- → Supone que la lluvia es uniforme en todo el área de la cuenca en estudio.
- → Supone que la intensidad de lluvia es constante en el tiempo.
- → Asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación.

2.5. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y bilógicos que tienen la finalidad de eliminar los contaminantes del agua servida. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018).

Los métodos utilizados en el tratamiento del agua tienen como objetivo reducir la cantidad de sustancias extrañas, para conferir al agua ciertas características deseables y de esta forma cumplir con la normativa vigente de descarga y de reutilización del agua tratada, preservando el medio ambiente y evitando problemas sanitarios.

La selección de un proceso de tratamiento depende las características del agua residual, la disponibilidad del terreno, los costos de construcción, operación y mantenimiento y de la confiabilidad del sistema de tratamiento. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004)

La selección de la mejor alternativa de tratamiento se realiza en base a un estudio individual de cada caso y definiendo el uso que tendrá el agua tratada.

2.5.1. Tipos de tratamiento aplicados a aguas residuales

2.5.1.1. Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas que tienen el fin de regular el caudal que ingresa a la planta de tratamiento y eliminar los sólidos de gran tamaño que se encuentran en las aguas residuales brutas. Al eliminar los sólidos gruesos o de gran tamaño se garantiza un mejor funcionamiento y mantenimiento de las unidades de tratamiento posteriores. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Las operaciones utilizadas en el tratamiento preliminar son el desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado y homogenización de caudales. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Desbaste

El desbaste consiste en separar los sólidos de mediano y de gran tamaño (rocas, ramas, pedazos de madera, plásticos) del agua residual, por medio de rejas, para evitar obstrucciones en canales, vertederos y tuberías. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Gracias al desbaste se logra interceptar sólidos que pueden impedir el correcto funcionamiento de las unidades de tratamiento posteriores y con esto aumentar la eficiencia de la planta de tratamiento. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Canal de llegada y Rejas

El canal de acceso a la reja o rejilla es una obra hidráulica que tiene como objetivo prevenir la acumulación de arena o sólidos antes y después de la reja. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004)

Las rejas son barrotes o barras de hierro instaladas en canales, que se encargan de retener sólidos de gran volumen. En función de su geometría, las rejas pueden ser rectas o curvas y dependiendo del método de extracción de los residuos retenidos en los barrotes pueden ser rejas de limpieza manual y rejas de limpieza mecánica. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Parámetros de diseño:

→ Diseño del canal

El diseño del canal se realiza aplicando la fórmula empírica de Manning para conductos de flujo de canal abierto:

$$V = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

$$Rh = \frac{Área}{Perímetro\ mojado} = \frac{B \cdot H}{B + 2H} \tag{11}$$

Donde:

V: velocidad de la sección transversal (m/s)

n: coeficiente de rugosidad de Manning

Rh: radio hidráulico (m)

S: pendiente del lecho del canal (m/m)

B: base del canal (m)

H: altura del canal (m)

Se sabe que:

$$Q = V \cdot A \tag{12}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s)

A: área (m^2)

Por lo que:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A \tag{13}$$

Tabla 7. Coeficientes de rugosidad para la fórmula de Manning

Características de la Superficie	**Valor de n de Manning**		
	Mínimo	**Medio**	**Máximo**
Hormigón ordinario	0.015	0.016	0.018
Hormigón pulido	0.013	0.014	0.015
Tuberías de PVC, asbesto-cemento o tuberías recubiertas con motero de cemento		0.011	
Tuberías de acero		0.011	

Nota. Adaptado de "CPE INEN 5 Parte 9-1: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 103.

Los canales generalmente se diseñan con secciones rectangulares, trapezoidales, triangulares, entre otros. Los factores involucrados en el diseño son el tipo de material, coeficiente de rugosidad, pendiente, velocidad máxima y mínima. Es importante señalar que, al momento de diseñar un canal, conjuntamente se debe destinar un canal para derivar reboses.

→ Pendiente del canal

Para calcular la pendiente del canal de aproximación o de llegada se aplica la fórmula empírica de Manning para conductos de flujo en canales abiertos.

$$S = \left(\frac{V \cdot n}{Rh^{\frac{2}{3}}} \right)^2 \tag{14}$$

Tabla 8. Recomendaciones de diseño del canal de llegada o de aproximación

Canal		
Velocidad	0.30 a 0.60	m/s
Ancho mínimo (B)	0.60	m

Nota. Adaptado de "CPE INEN 5 Parte 9-1: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 228.

→ Diseño de la Reja

Tabla 9. Recomendaciones de diseño de la reja

Reja		
Inclinación con la horizontal	44 a 60	°
Espesor de las barras (t)	5 a 15	mm
Espaciamiento entre barras (a)	25 a 50	mm
Velocidad de paso a través de los barrotes (V)	0.40 a 0.75	m/s

Nota. Adaptado de "CPE INEN 5 Parte 9-1: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 228.

→ Pérdida de carga en la reja

Romero (2004) plantea la siguiente ecuación para calcular la pérdida de carga en rejas o rejillas:

$$hf = \frac{1}{0.7} \cdot \left(\frac{Vr^2 - V^2}{2 \cdot g} \right) \tag{15}$$

Donde:

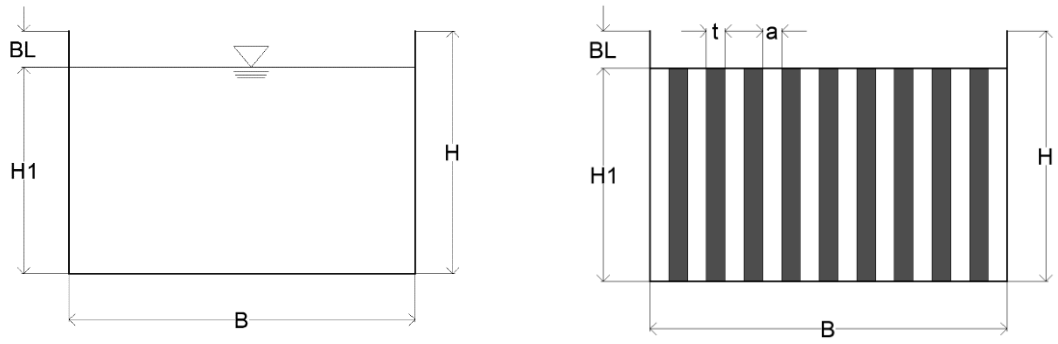
hf: pérdida de carga en la rejilla (m)

V: velocidad de aproximación del flujo (m/s)

Vr: velocidad de flujo a través de la reja (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s^2)

Figura 2. Esquema del canal de llegada y rejilla



Tamizado

Esta operación es utilizada para separar las partes finas de las gruesas, grasas y sólidos en suspensión. El tamizado es usado en algunos casos en lugar del desbaste. Existen varios tipos de tamices: tamices estáticos, tamices rotativos y tamices deslizantes. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Los tamices estáticos constan de un enrejado, conformado por barras horizontales de acero inoxidable y de sección triangular. La malla de acero inoxidable tiene una inclinación de 45° a 60° que permite la separación y evacuación de los sólidos de mayor tamaño que la abertura del tamiz. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Los tamices rotativos están formados por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, formado por barras de acero inoxidable de sección trapezoidal. Los sólidos quedan retenidos

en la parte exterior del cilindro y son retirados por medio de una cuchilla de limpieza. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Los tamices deslizantes son utilizados en el desbaste de finos y pueden ser de tipo vertical y continuo. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Parámetros de diseño:

- → Los tamices pueden ser de tela o de metal y deben contar con un sistema de limpieza automática. Se deben realizar ensayos que definan las aberturas de la tela o de la criba. (INEN, 1992)

Desarenado

El desarenado consiste en remover arena y partículas pesadas superiores a 0.2 mm con el fin de evitar que sedimenten en canales, tuberías y conductos. Es importante señalar que esta operación además de eliminar arena, también elimina grava y partículas minerales. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Parámetros de diseño:

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (1992) en el Código de Práctica Ecuatoriano INEN 5 Parte 9-1 recomienda los siguientes criterios para el diseño de desarenadores:

- → Es necesario contar con dos unidades como mínimo.
- → Se recomienda el uso de desarenadores de limpieza manual.
- → Los desarenadores de flujo horizontal deben ser diseñados para remover partículas de diámetro mayor o igual a 0.2 mm.
- → La velocidad del flujo debe estar alrededor de 0.3 m/s.

Desengrasado

El desengrasado es la separación de grasas y aceites de las aguas residuales. El agua sin antes pasar por este proceso puede causar obstrucciones y dificultar la aireación. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Los desengrasadores son tanques de permanencia corta, cuyo objetivo es la remoción de partículas con gravedad específica menor que la del agua. (INEN, 1992)

Parámetros de diseño:

La norma INEN recomienda una carga superficial igual a 4 l / ($s \cdot m^2$). Además, menciona que los desengrasadores son generalmente rectangulares cuya relación largo / ancho es de 1 a 1.8.

Medidor de caudal

El medidor de caudal se incluye con el fin de conseguir datos sobre el caudal y sus variaciones a lo largo del tiempo, información útil para realizar futuras ampliaciones y evaluaciones del funcionamiento del proceso de tratamiento. (INEN, 1992)

2.5.1.2. Tratamiento Primario

El tratamiento primario comprende una serie de operaciones físicas y fisicoquímicas que tienen como objetivo la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos, además de una cierta reducción de la contaminación biodegradable, debido a que los sólidos están constituidos por materia orgánica. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Las operaciones utilizadas en el tratamiento primario son tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación. (INEN, 1992)

Tanques Imhoff

Son tanques de sedimentación primaria que incluye una zona de sedimentación en la parte superior, donde se produce la decantación de sólidos y un digestor de lodos en la parte inferior. (INEN, 1992)

Parámetros de diseño:

Los parámetros de diseño que se especifican a continuación se basan en la norma CPE INEN 5 Parte 9-1.

- → La zona de sedimentación debe tener un volumen mínimo de 1500 litros.
- → El periodo de retención debe estar entre 1 h a 1.5 h.
- → El fondo del tanque debe tener una sección transversal en forma de V y con una pendiente desde los lados hacia la zona central de 67% al 80%.
- → Se debe considerar una distancia de 0.3 m a 0.6 m de borde libre.
- → La zona de digestión debe tener un volumen mínimo de 3000 litros y debe ser dimensionada para almacenar lodos durante 60 días (en este periodo se completa la digestión).
- → Las paredes de la zona de digestión deben tener una inclinación de 30° a 45 ° respecto a la horizontal. (INEN, 1992)

Tanques de sedimentación

Sedimentadores de flujo horizontal

La sedimentación, clarificación o decantación consiste en separar las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el agua y se lo hace por acción de la gravedad. La sedimentación logra reducir la carga contaminante mejorando el rendimiento y funcionamiento de operaciones posteriores, además de obtener como resultado un líquido clarificado. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

La sedimentación es un fenómeno netamente físico y se lleva a cabo en tanques circulares o rectangulares. Las partículas en suspensión son idealizadas como partículas discretas, que son aquellas que no cambian sus características como densidad, tamaño y forma en el proceso de sedimentación.

Parámetros de diseño:

Los parámetros de diseño que se especifican a continuación se basan en la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 y en la Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

- → Como mínimo se requieren 2 unidades de sedimentación.
- → Los requisitos de área deben determinarse usando cargas superficiales entre 30 m/d y 60 m/d, lo que corresponde a una velocidad de sedimentación de 1.25 m/h a 2.5 m/h.
- → La profundidad o altura del sedimentador debe estar entre 3 m y 3.5 m.
- → La relación largo/ancho debe estar entre 3 y 5 y la relación largo/profundidad debe ser igual o menor que 30.
- → Velocidad de flujo horizontal

$$Vh = \frac{Q}{B \cdot H} \tag{16}$$

Donde:

Vh: velocidad horizontal (m/s)

Q: caudal (m^3/s)

B: ancho del sedimentador (m)

H: altura del sedimentador (m)

Zona de Entrada

El propósito de la zona de entrada es distribuir el caudal de manera uniforme dentro del sedimentador, además de disipar la energía

Orificios:

- → El diámetro de los orificios debe estar entre 10 y 20 cm.
- → La velocidad en los orificios debe estar entre los 15 y 30 cm/s.
- → El gradiente de velocidad debe estar comprendido entre 15 y 20 s^{-1}.
- → La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0.70 a 1.00 m de distancia de la pared de entrada.
- → Los orificios más altos de la pantalla difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de a altura (H) y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.
- → Velocidad del paso del agua por los orificios

$$V = \left(\frac{8 \cdot \upsilon \cdot Rh \cdot G^2}{f}\right)^{1/3} \quad (17)$$

Donde:

V: velocidad en los orificios (cm/s)

G: gradiente de velocidad (s^{-1})

Rh: radio hidráulico

f: coeficiente de viscosidad que varía entre 0.02 y 0.04. (Romero, Potabilización del Agua, 1999)

υ: viscosidad cinemática (cm^2/s)

Tabla 10. Densidad y Viscosidad Cinemática del Agua

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m3)	Viscosidad cinemática (m2/s)
5	1000	1.520
10	1000	1.308
15	999	1.142
20	998	1.007
25	997	0.897

Nota. Adaptado de "Mecánica de los Fluidos e Hidráulica", por R. V. Giles, J. B. Evett, C. Liu, 1994, p. 393.

Para clasificar el flujo como laminar o turbulento es necesario calcular el número de Reynolds; para el caso de canales se utiliza la siguiente expresión:

$$Re = \frac{Vh \cdot Rh}{\upsilon} \tag{18}$$

Si el número de Reynolds (Re) es menor a 20000 no existe turbulencia en el flujo. (Rincón, Herrera, & Ortiz, 2014)

Zona de Sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección de flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos.

→ Área superficial de la unidad (As)

$$As = \frac{Q}{Cs} \tag{19}$$

Donde:

As: área superficial de la unidad (m^2)

Q: caudal (m^3/s)

Cs: carga superficial ($m^3/m^2 \cdot$ día)

→ Se recomienda un tiempo de retención entre 2 y 4 horas.

$$Tr = \frac{H}{Cs} \tag{20}$$

Donde:

Tr: tiempo de retención teórico en la zona de sedimentación

Zona de Lodos

→ El volumen de lodos debe ser del 10 % al 25% del volumen de la zona de sedimentación.

→ La pendiente mínima del fondo es igual a 5% (contrapendiente). El fondo del tanque debe tener una sección transversal en forma de V con una pendiente lateral de 10% hacia la zona central.

→ La tubería que sirve para el drenaje de los lodos debe tener mínimo 6" de diámetro. (Romero, Potabilización del Agua, 1999, pág. 167)

Zona de Salida

Para la zona de salida pueden colocarse vertederos, canales o tubos con perforaciones. Según Romero (2004) se tienen las siguientes ecuaciones de cálculo para vertederos rectangulares:

→ Vertederos rectangulares sin contracciones

$$Q = 1.84 \cdot L \cdot H^{3/2} \tag{21}$$

→ Vertederos rectangulares con contracciones

$$Q = 1.84 \cdot (L - 0.2\,H) \cdot H^{3/2} \quad (22)$$

Donde:

Q: caudal (m^3/s)

L: longitud de la cresta del vertedero (m)

H: altura de agua sobre el vertedero (m)

Romero (2004) en su libro de Tratamiento de Aguas Residuales recomienda que la altura mínima de la cresta se debe encontrar entre 2H a 3H, siendo H la altura de agua sobre el vertedero.

Tabla 11. Criterios de selección de vertederos rectangulares

Caudal, L/s	Ancho del vertedero	Observaciones
20 a 200	0.30 m	Altura de la cresta ≥ 0.40 m
50 a 500	1 m	Profundidad del canal ≥ 0.80 m

Nota. Adaptado de "Tratamiento de Aguas Residuales – Teoría y principios de diseño", por J. A. Romero, 2004, p. 88.

Tanques de flotación

El proceso de flotación es utilizado en aguas residuales para remover sólidos o líquidos de baja densidad, como grasas, espumas, madera, partículas en suspensión, entre otros. Los sólidos o líquidos flotarán para ser recogidos en la superficie en una operación de desnatado. Este proceso se recomienda principalmente para desechos industriales debido a que necesita un mayor grado de mecanización. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

2.5.1.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como objetivo eliminar sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables presentes en el agua residual. Esta etapa generalmente se basa en procesos biológicos unitarios, sin embargo, algunas veces se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Los procesos utilizados en esta operación son: transferencia de gases, sedimentador secundario y procesos biológicos aerobios y anaerobios. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Desinfección

Las aguas servidas, como se mencionó en la sección anterior, contienen microorganismos patógenos, virus y huevos de parásitos que sobreviven a las etapas anteriores de tratamiento, por lo que es necesario realizar la desinfección del agua. La desinfección es un proceso en el cual los organismos patógenos son destruidos o inactivados. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Los métodos de desinfección más usados son:

- → Agentes químicos: cloro y sus compuestos, bromo, yodo, ozono y metales pesados.
- → Agentes físicos: luz y calor
- → Radiación ultravioleta
- → Coagulación, floculación y sedimentación

El mecanismo de destrucción de los organismos en la desinfección depende principalmente de la naturaleza del desinfectante y del tipo de organismo. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

Agentes Químicos. Los desinfectantes más comunes son los productos químicos oxidantes y de estos el cloro es el más utilizado. La cloración es el método de desinfección más

utilizado debido a su bajo costo y a su efectividad para destruir los patógenos, sin embargo, hay que señalar que, si el agua tratada se dispone en un cuerpo de agua, hay que someterla a un proceso de decloración debido a que es tóxica para la vida acuática.

Los objetivos de la cloración son:

- → Desinfección de los efluentes
- → Oxidación de la materia orgánica que contribuye a la DBO
- → Control de condiciones sépticas
- → Control de algas

Un desinfectante ideal debe ser capaz de destruir o inactivar los microorganismos causantes de enfermedades en un tiempo adecuado, debe ser sencillo, económico y confiable, además, debe dejar un efecto residual para que proteja al agua de posteriores contaminaciones. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018, págs. 33-34)

La estructura utilizada para realizar la cloración se denomina tanque o cámara de contacto y consiste en una serie de canales interconectados por los cuales fluye el agua residual tratada de tal manera que ésta tenga como mínimo 20 minutos de contacto con el cloro para eliminar los microorganismos patógenos. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018, págs. 22-23)

Por otro lado, el ozono también es un desinfectante muy eficaz debido a su alta destrucción de bacterias y virus en bajos tiempos de contacto. Sin embargo, el ozono no produce un efecto residual y la tecnología que utiliza es compleja y costosa. (Metcalf & Eddy, 1995)

Agentes Físicos. Los agentes físicos empleados para la desinfección son la luz y el calor. El agua a la temperatura de ebullición destruye las principales bacterias causantes de

enfermedades, sin embargo, no es factible aplicar este método en aguas residuales ya que tendría un alto costo. (Metcalf & Eddy, 1995, págs. 371-372)

Radiación Ultravioleta. La luz ultravioleta elimina bacterias, virus y protozoos sin la necesidad de manejar reactivos químicos, y por su corto tiempo de contacto reduce el tamaño de los tanques de almacenamiento y con esto el costo de la unidad de tratamiento. Sin embargo, la radiación ultravioleta no preserva la acción desinfectante, es decir, no tiene efecto residual. (Shammas & Wang, 2016, pág. 546)

Coagulación y floculación. Este proceso fisicoquímico tiene como objetivo facilitar la sedimentación de partículas es estado coloidal, mediante la aplicación de agentes químicos. La coagulación es el efecto producido por la adición de un producto químico a una dispersión coloidal, lo que provoca la desestabilización de partículas. La floculación se encarga de unir las partículas desestabilizadas por la coagulación para formar partículas de mayor tamaño llamadas flóculos. Los flóculos formados pueden ser removidos en un proceso de sedimentación. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018)

El proceso de coagulación y floculación es considerado desinfectante debido a que los virus, bacterias y protozoos son colides removidos en el flóculo formado.

Filtración

La filtración es un proceso fisicoquímico utilizado para separar impurezas suspendidas y coloidales del agua mediante su circulación a través de un medio granular (generalmente arena). Los materiales retenidos pueden ser flóculos, microorganismos, precipitados, entre otros. (INEN, 1992)

Existen dos tipos de filtros: los filtros lentos (baja carga superficial) y los filtros rápidos (alta carga superficial).

Filtros lentos de arena. Estos filtros consisten en un tanque que contiene una capa de agua cruda sobrenadante, un lecho de arena filtrante, un sistema de drenaje para recolección del agua tratada y un dispositivo para la regulación y control del filtro. (INEN, 1992)

El proceso de eliminación de microorganismos (bacterias, protozoos, virus y algas) se produce en una capa biológica que se forma en la superficie de la arena.

Parámetros de diseño:

Los parámetros de diseño que se especifican a continuación se basan en la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 y en la Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

- → Se deben usar como mínimo dos unidades filtrantes.
- → Se recomienda un área de filtración de 100 m^2 para facilitar la operación y mantenimiento del filtro.
- → El lecho filtrante debe ser una capa de 1 m a 1.4 m de arena apoyada sobre grava, con las siguientes características:

Tabla 12. Características de la arena para filtros lentos

Tamaño efectivo	0.15 a 0.35 mm
Coeficiente de uniformidad	1.5 a 2, máximo 3
Dureza	7 (escala de Mohr)
Solubilidad	< 5 %

Nota. Adaptado de "CPE INEN 5 Parte 9-1: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 148.

Tabla 13. Características de la grava para filtros lentos

Capa #	Diámetro, mm	Espesor, m
1	1 - 14	0.1
2	4 - 5.6	0.1
3	16 - 23	0.15

Nota. Adaptado de "CPE INEN 5 Parte 9-1: Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes", por Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, p. 149.

→ La capa de agua residual debe tener una altura de 1 m a 1.5 m.

→ Se debe dejar un borde libre de 0.2 m a 0.3 m en el filtro.

→ La velocidad de filtración debe ser de 0.1 m/h a 0.2 m/h.

Sistema de drenaje:

→ Se pueden utilizar tuberías perforadas con un diámetro mínimo de 4" y donde la velocidad no supere los 0.3 m/s. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004)

→ Los orificios de la tubería perforada deben tener entre 2 mm y 4 mm de diámetro, y deben estar espaciados entre 0.1 m y 0.3 m.

→ Las tuberías deben estar embebidas en una capa de grava de 0.15 m de espesor, cuyas partículas tienen entre 25 mm a 50 mm de diámetro.

Dimensionamiento:

→ Área superficial (As)

$$As = \frac{Q}{N \cdot Vf} \tag{23}$$

Donde:

As: área superficial (m^2)

Vf: velocidad de filtración (m/h)

Q: caudal de diseño (m^3/h)

N: número de unidades

→ Coeficiente de mínimo costo (K)

$$K = \frac{2 \cdot N}{N + 1} \tag{24}$$

→ Longitud de la unidad (L)

$$L = (As \cdot K)^{1/2} \tag{25}$$

→ Ancho de la unidad (b)

$$b = \left(\frac{As}{K}\right)^{1/2} \tag{26}$$

→ Velocidad de filtración real (Vfr)

$$Vfr = \frac{Q}{2 \cdot As \cdot b} \tag{27}$$

→ Vertedero de entrada (rectangular sin contracciones)

$$H = \left(\frac{Q}{1.848 \cdot L}\right)^{2/3} \tag{28}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s)

L: longitud de la cresta del vertedero (m)

H: altura de agua sobre el vertedero (m)

Procesos Biológicos Unitarios

El tratamiento biológico tiene como objetivo eliminar los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica. En aguas residuales domésticas el objetivo de esta operación es la remoción de materia orgánica y nutrientes, en el caso de aguas residuales industriales el objetivo es la reducción de la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018, págs. 35-37)

Los principales procesos aplicados al tratamiento biológico son los procesos aerobios y los procesos anaerobios.

Lagunas de estabilización (aerobias). Las lagunas de estabilización son estanques de poca profundidad que, por medio de procesos naturales, la interacción de la biomasa (algas, bacterias y protozoarios) y la materia orgánica depuran las aguas residuales. En los estanques aerobios, el oxígeno se suministra por aireación natural a través de la superficie y por la fotosíntesis que realizan las algas. El oxígeno suministrado es utilizado por las bacterias para degradar la materia orgánica. (INEN, 1992, págs. 235-236)

Lagunas anaeróbicas. Las lagunas anaerobias son estanques profundos excavados en el terreno y son utilizados para tratar el agua residual que tiene un alto contenido orgánico y una alta concentración de sólidos. La estabilización se consigue por medio de una combinación de precipitación y de conversión anaerobia de los residuos orgánicos y se obtiene un efluente parciamente clarificado.

Zanjas de oxidación. Una zanja de oxidación es una modificación del proceso de lodos activados, que usa aireación prolongada para la remoción de compuestos orgánicos biodegradables. Consiste en un canal cerrado, con dos curvas, para la aireación y mezcla. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004, págs. 505-506)

Lecho de secado de lodos. Los lechos de secado son tanques de poca profundidad sobre los cuales se descarga lodo digerido para secado. El proceso de secado se da por evaporación y su duración depende de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura. (INEN, 1992, pág. 214)

El objetivo del lecho de secado de lodos es reducir su volumen para aumentar su estabilidad biológica y de este modo facilitar su manejo y disposición final. (Navarrete, Tinoco, Borodulina, & Cajiao, 2018, pág. 38)

Parámetros de diseño:

Los parámetros de diseño que se describen a continuación tienen base en la norma CPE INEN 5 y en la Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la Organización Panamericana de la Salud.

- → Los tanques pueden ser construidos de mampostería, de hormigón o de tierra y deben tener una profundidad total de 30 cm a 40 cm.
- → El ancho de los lechos es generalmente entre 3 m y 6 m.

Medio de Drenaje

El medio de drenaje debe tener 30 cm de espesor y debe tener los siguientes componentes:

- → El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm formada por ladrillos colocados sobre un medio filtrante, con una separación de 2 a 3 cm llena de arena.
- → El medio filtrante es la arena y debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm, y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5.
- → Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava de 20 cm de espesor, graduada entre 1.6 y 51 mm.

→ Los drenes deben estar constituidos por tubos de 4" colocados debajo de la grava.

→ Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

$$C = 0.0864 \cdot Q \cdot SS \tag{29}$$

Donde:

C: carga de sólidos que ingresa al sedimentador (kg de SS/día)

SS: sólidos en suspensión en el agua residual (mg/l)

Q: caudal (l/s)

→ Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0.50 \cdot 0.70 \cdot 0.50 \cdot C) + (0.50 \cdot 0.30 \cdot C) \tag{30}$$

Donde:4

Msd: masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/día)

→ Volumen diario de lodos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho lodo \cdot \frac{\%\ sólidos}{100}} \tag{31}$$

Donde:

Vld: volumen diario de lodos (l/día)

ρlodo: densidad de los lodos (igual a 1.04 kg/l)

% sólidos: porcentaje de sólidos contenidos en el lodo. Para lodo primario digerido este porcentaje varía entre 8 % a 12 %. (INEN, 1992)

→ Volumen de lodos a extraerse

$$Vel = \frac{Vld \cdot Td}{1000} \tag{32}$$

Donde:

Vel: volumen de lodos a extraerse (m^3)

Td: tiempo de digestión (días)

Tabla 14. Tiempo de digestión para lechos de secado de lodos

Temperatura °C	**Tiempo de digestión días**
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Nota. El tiempo requerido para la digestión de lodos varia con la temperatura. Tomado de "Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización", por Organización Panamericana de la Salud, 2005, p. 17.

→ Área del lecho de secado

$$Als = \frac{Vel}{Ha} \tag{33}$$

Donde:

Als: área del lecho de secado (m^2)

Ha: profundidad de aplicación (20 a 30 cm)

2.5.2. Importancia del tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales tienen componentes y elementos que hacen necesaria su depuración, ya que resulta perjudicial para la salud de los seres humanos y para el medio ambiente. Las aguas residuales al ser vertidas a los ríos y mares sin ser depuradas provocan altos niveles de contaminación y en consecuencia la muerte de seres vivos y la degradación del ambiente. (Lahera Ramón, 2010)

Es importante tratar las aguas servidas debido a que estas son fuentes transmisoras de enfermedades ya que contienen patógenos que atacan al aparato intestinal humano. Las enfermedades que pueden propagarse a través de aguas contaminadas por los vertidos de aguas residuales urbanas son el cólera, la hepatitis A, y enfermedades que atacan al aparato intestinal. (Metcalf & Eddy, 1995)

El vertido de aguas residuales sin depurar ejerce sobre los cuerpos de agua varios efectos negativos como:

- Aparición de fangos: Los depósitos de fangos provocan un desagradable impacto visual, además de que puede llegar a provocar el agotamiento del oxígeno disuelto presente en las aguas y originar el desprendimiento de los malos olores.
- Daños a la Salud Pública
- Fomentar la propagación de organismos patógenos como virus, bacterias, protozoos y helmintos.

Una gran parte de las aguas servidas regresan a los cauces naturales sin ningún tratamiento, contaminando los cuerpos de agua, cambiando su química y alterando gravemente a los ecosistemas que dependen de ellos. (Lahera Ramón, 2010, pág. 60)

Es vital tratar el agua residual ya que además de ayudar a la conservación de ríos y mares, reduce los niveles de contaminación y trae beneficios a la salud pública.

2.5.3. Recuperación y reutilización de aguas residuales

La reutilización es un aprovechamiento directo de efluentes depurados con un tratamiento previo. La depuración de aguas residuales permite la reutilización de aguas en cierto usos como riego de zonas verdes, limpieza, lavado de autos, entre otras actividades. (Pérez, s.f., págs. 5-6)

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numeroso y variadas dependiendo del nivel de tratamiento al que se sometan, destacando como destino más frecuente el riego agrícola. (Pérez, s.f., págs. 5-6)

El principal inconveniente para el uso de aguas residuales depuradas es la presencia de sustancias tóxicas y de microorganismos patógenos que resultan peligrosos para la salud pública, por lo que se debe asegurar un eficiente y adecuado tratamiento para el fin que tenga el agua residual depurada. (Metcalf & Eddy, 1995)

2.5.4. Eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales

Para establecer la eficiencia de total de la planta de tratamiento es necesario calcular la concentración del efluente con la ayuda de los grados de remoción teóricos de cada unidad de tratamiento.

- Eficiencia de una unidad de tratamiento

$$\% \, Eficiencia = \frac{C_o - C_f}{C_o} \cdot 100 \tag{34}$$

$$C_f = C_o - \frac{C_o \cdot \% \, Eficiencia}{100} \tag{35}$$

Donde:

C_o: concentración en el afluente

C_f: concentración en el efluente

→ Rendimiento del tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar remueve teóricamente del 3 al 5 % de sólidos suspendidos, mientras que, para los parámetros de turbiedad, DQO, DBO y coliformes fecales la remoción es despreciable. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004)

→ Rendimiento del tratamiento primario

El tratamiento primario remueve teóricamente alrededor del 50 al 70 % de turbiedad, 25 al 40 % de DBO y del 40 al 70 % de sólidos suspendidos. (INEN, 1992)

→ Rendimiento del tratamiento secundario

El tratamiento secundario remueve teóricamente alrededor del 65 al 80 % de DBO, 60 al 70% de sólidos suspendidos y el 70% de turbiedad. (Romero, Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño, 2004)

Respecto a las bacterias la Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que la tasa de eliminación del referencia es del 50%, sin embargo, si se tienen condiciones óptimas de operación y mantenimiento de las unidades se pueden tener remociones hasta del 99.5%.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

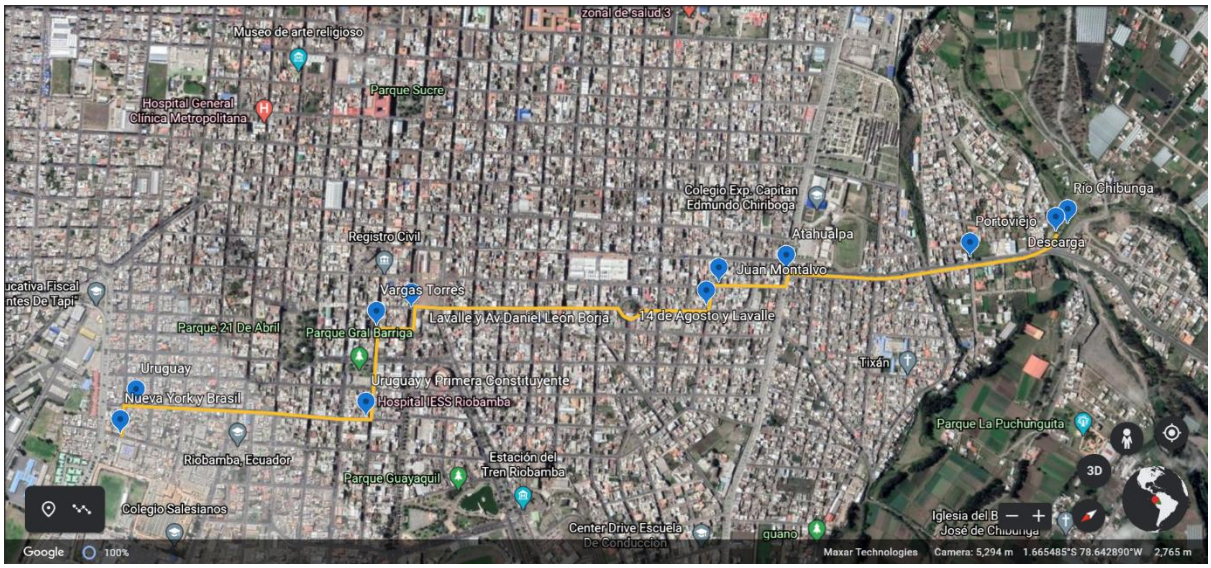
3.1. Caracterización Regional

El cantón Riobamba está ubicado en el centro del Ecuador a 2754 msnm y pertenece a la provincia de Chimborazo, tiene una superficie de 990 km^2 y cuenta con 264.048 habitantes según una proyección del INEC para el año 2020.

Colector Brigada

El Colector Brigada se encarga de aliviar la capacidad de transporte de los colectores de sistema centro - sur ya que, según la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (EMAPAR) estos se encuentran sobrecargados. Este colector inicia en la calle Brasil a la altura de la Brigada Galápagos, continúa por la calle Brasil hasta la Nueva York, luego sigue por la Uruguay hasta interceptar a la Primera Constituyente por la que sigue hasta la calle Vargas Torres, enlaza un tramo con la Av. Daniel León Borja y continúa por la calle Juan de Lavalle hasta la 14 de Agosto por la que continúa un tramo y luego se dirige hacia la Juan Montalvo para luego bajar por la Av. Atahualpa. Aproximadamente a unos 20 metros antes de la calle Portoviejo se tiene instalado un aliviador de caudal, lo que permite que una gran parte del caudal sea descargado al colector Parque Ecológico, mientras que el caudal restante (diluido) continúa por la Av. Atahualpa hasta descargar en el río Chibunga

Figura 3. Recorrido del Colector Brigada



Nota. Tomado de Google Earth, 2021.

Según datos de la EMAPAR este colector tiene una cobertura de 888.82 ha, en las que al final del período de diseño (año 2040) se tendrán 64 402 habitantes servidos. Este colector aporta con 166.19 l/s a la planta de tratamiento.

3.1.1. Hidrografía

El Chimborazo es la montaña y el volcán más alto del Ecuador con una altitud de 6263.47 msnm, de las faldas de este nevado nace el río Chimborazo. El río Chibunga forma parte de la red pluvial del río Chambo y nace de la unión del río Chimborazo con el río Cajabamba. El río Chibunga es un recurso ambiental y paisajístico que constituye el mayor patrimonio natural del cantón Riobamba. (EMAPAR, 2008)

El río Chibunga constituye uno de los ríos más contaminados del Ecuador y el agua de este cuerpo de agua es utilizado en zonas agrícolas, ganaderas, industriales, urbanas, centros de educación y recreación.

Los estudios de factibilidad (octubre de 2008), definen dos cuencas de recolección-drenaje claramente delimitadas y diferenciadas:

Sub-cuenca Centro-Sur

El sistema de alcantarillado fue diseñado como combinado y funciona como tal. Tiene dos descargas emplazadas en la margen izquierda del río Chambo, la disposición final es directa (sin tratamiento). Los colectores principales son:

- → Colector Cerro Negro-Camal y Tarqui-Camal
- → Colector Brigada
- → Colector Juan Bernardo de León
- → Colector Santiago
- → Colector Circunvalación Sur

Sub-cuenca Norte

El sistema fue diseñado como separado (sanitario y pluvial), pero en la práctica funciona como combinado. Los colectores principales son:

- → Colector Lizarzaburu
- → Colector Maldonado
- → Colector Canónigo Ramos

3.1.2. Geología

La EMAPAR indica que tras realizar un estudio geológico en la región de la Sierra Central del Ecuador se encontraron formaciones rocosas de origen volcánico como lavas, piroclastos y cenizas volcánicas, así como también depósitos de origen glacial, lacustre y aluvial. Además, dentro de la geología estructural se identificaron fallas geológicas y cuerpos

intrusivos, que no afectan las fuentes de abastecimiento de agua subterránea, ni repercuten en la construcción de obras civiles.

3.1.3. Meteorología

El cantón Riobamba presenta un clima frío con dos estaciones, húmeda y seca; la temperatura máxima es de 22.6 °C y la temperatura mínima es de 6.5 °C.

En el anuario meteorológico del año 2013 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se puede encontrar la estación meteorológica M1036 ubicada en la ciudad de Riobamba, que presenta la temperatura del aire y las precipitaciones a lo largo de todo el año, teniendo así las máximas precipitaciones en los meses de enero a abril y las mínimas precipitaciones en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

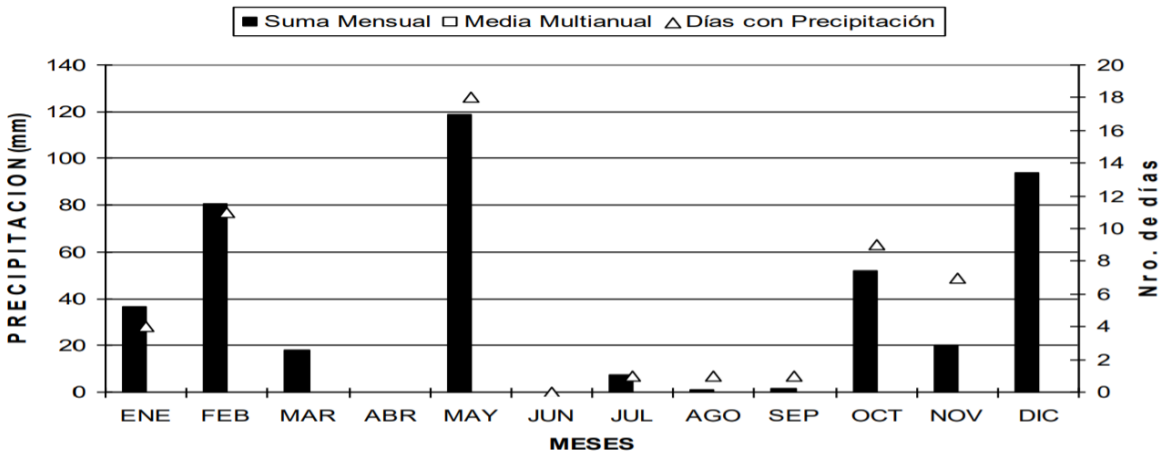
La humedad relativa máxima es del 98%, la humedad relativa mínima es de 32% y la humedad relativa media es de 70%.

Tabla 15. Estación Meteorológica Riobamba Politécnica M1036

M1036	RIOBAMBA POLITECNICA																		
MES	HELIOFANIA	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)							HUMEDAD RELATIVA (%)					PUNTO DE ROCIO	TENSION DE VAPOR	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación
		ABSOLUTAS				MEDIAS													
	(Horas)	Máxima	dia	Mínima	dia	Máxima	Mínima	Mensual	Máxima	dia	Mínima	dia	Media	(°C)	(hPa)	Suma Mensual	Máxima en 24hrs	dia	
ENERO						22.4	9.5	15.1					74	9.9	12.3				
FEBRERO																			
MARZO						21.3	9.3	14.9					74	10.0	12.3	28.5			
ABRIL		24.6	11	4.0	26	21.8	9.1	14.8	98	22	35	26	73	9.5	11.9	43.7	14.6	22	12
MAYO						20.6	9.4	14.4					77	10.1	12.3	68.3			
JUNIO						20.5	7.4	13.7	97	18	37	28	73	8.5	11.2	16.7	9.7	2	7
JULIO						19.8	6.7	12.9	98	18	39	26	72	7.5	10.4	6.0	1.5	8	10
AGOSTO						20.6	7.0	13.4	97	26	41	30	71	7.7	10.5	8.2	4.4	11	9
SEPTIEMBRE						21.4	6.5	13.6	94	8	25	21	68	7.2	10.3	6.3	2.5	22	6
OCTUBRE				3.6	1	21.8	8.6	14.5	97	16	35	1	71	8.8	11.4	49.3	19.2	13	15
NOVIEMBRE				4.7	5	22.6	8.7	15.1	94	9	32	29	67	8.4	11.1	37.2	14.6	13	11
DICIEMBRE						22.4	9.5	14.7					70	8.8	11.4	17.6			
VALOR ANUAL																			

Nota. Tomado de "Anuario Meteorológico N°53-2013", por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014, p. 95.

Figura 4. Distribución Temporal de Precipitación 2013



Nota. Se puede observar en el hietograma que las máximas precipitaciones se presentan en los meses de enero a mayo y las mínimas precipitaciones en los meses de junio, julio, agosto y septiembre. Tomado de "Anuario Meteorológico N°53-2013", por Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2014, p. 95.

3.1.4. Descargas al río Chibunga

La EMAPAR señala que en octubre de 2008 se encontraron 48 descargas al río Chibunga y 2 descargas al río Chambo que, al ser vertidas directamente a los cuerpos receptores o sus áreas adyacentes afectan ambientalmente las zonas de protección y representan un peligro para la salud pública.

3.2. Muestreo de aguas residuales

Para el presente trabajo de investigación es indispensable la toma de muestras de las aguas residuales del Colector Brigada, muestras que se utilizan para realizar un análisis de calidad para de esta manera identificar las características físicas, químicas y biológicas que tiene el agua que es descargada al río Chibunga.

Para obtener los datos necesarios en el análisis de calidad del agua, es necesario aplicar técnicas de muestreo, por lo que se utilizarán como guía los parámetros descritos en la Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.

Las muestras se recolectaron en botellas de vidrio para los análisis físicos y químicos del agua y en frascos estériles de 50 ml para los análisis microbiológicos. Se tomaron dos muestras, una del Colector Brigada y una de agua lluvia; cada muestra consistió en 3 litros de aguas servidas para los análisis físicos y químicos y 50 mililitros para los análisis microbiológicos. Los envases fueron transportados en una hielera para conservar la muestra durante su traslado al Laboratorio AQMIC en la ciudad de Riobamba.

3.3. Pruebas de tratabilidad en el laboratorio

La caracterización física, química y microbiológica de las muestras obtenidas se realizó en el Laboratorio AQMIC (Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos) en la ciudad de Riobamba. Las técnicas de análisis para la calidad de aguas residuales que aplica el laboratorio se basan en los métodos Normalizados: APHA (American Public Health Assocition), AWWA (American Water Works Association) y WPCF.

Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica

Localidad: Colector Brigada Cantón Riobamba

Tabla 16. Análisis de calidad del agua del Colector Brigada

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados
pH		4500-H-B	8.15
Turbiedad	UNT	2130-B	105.60
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	407
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	382
Sólidos Susendidos Totales	mg/L	2540-D	163
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222-D	36000

Nota. Se muestran los resultados del análisis de calidad de la muestra del colector Brigada tomada en el mes de febrero del año 2021. Tomado de Laboratorio AQMIC (Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos), 2021, Riobamba.

Tipo de muestra: Agua Lluvia

Localidad: Cantón Riobamba

Tabla 17. Análisis de calidad del agua lluvia

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Resultados
pH		4500-H-B	6.91
Conductividad	µSiems/cm	2510-B	62.30
Turbiedad	UNT	2130-B	167.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	16
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	9222-D	< 10

Nota. Se muestran los resultados del análisis de calidad de una muestra de agua lluvia tomada en la ciudad de Riobamba en el mes de febrero del año 2021. Tomado de Laboratorio AQMIC (Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos), 2021, Riobamba.

3.4. Caudal de descarga

La EMAPAR establece que el sistema del Colector Brigada tiene una cobertura de 888.82 ha y aporta con 166.19 l/s a la planta de tratamiento existente.

En estudios realizados por la EMAPAR se identificaron descargas que conceptualmente son pluviales, sin embargo, se encuentran descargando aguas residuales diluidas. El caudal de descarga proviene de un aliviadero en donde al rebose del caudal sanitario se incorpora un caudal pluvial que disminuye la concentración de contaminantes, dando lugar a un caudal diluido.

En base a las recomendaciones dictadas por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba (2021) se dedujo que el caudal que corresponde a la descarga es igual a 80 l/s. Este caudal corresponde al caudal máximo de diseño y se lo emplea para dimensionar las unidades de la planta de tratamiento.

Es necesario determinar la calidad de la descarga y para esto se puede utilizar la expresión que presenta el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente:

$$C_T \cdot Q_T = C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2 \tag{36}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \tag{37}$$

Donde:

$C_{T:}$ concentración total

$Q_{T:}$ caudal total (l/s)

$C_{1:}$ concentración 1

$Q_{1:}$ caudal 1 (l/s)

$C_{2:}$ concentración 2

Q_2: caudal 2 (l/s)

El caudal 1 es igual a 166.19 l/s y corresponde al caudal que se dirige a la planta de tratamiento existente y el caudal 2 corresponde al caudal de exceso (caudal de descarga).

La concentración 1 corresponde a la del Colector Brigada, la misma que se obtuvo de un análisis de agua realizado en los Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos en la ciudad de Riobamba. La concentración 2 corresponde a la de las aguas lluvias.

A continuación, se calculan las concentraciones de los parámetros de calidad de la descarga aplicando la ecuación 36.

→ ph

$$C_T = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_T}$$

$$C_T = \frac{8.15 \cdot 166.19 + 6.91 \cdot 80}{246.19}$$

$$C_T = 7.75$$

→ Turbiedad

$$C_T = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_T}$$

$$C_T = \frac{105.60 \cdot 166.19 + 8.5 \cdot 80}{246.19}$$

$$C_T = 74.05\ UNT$$

→ DBO

$$C_T = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_T}$$

$$C_T = \frac{382 \cdot 166.19 + 20 \cdot 80}{246.19}$$

$$C_T = 264.37\ mg/l$$

→ Sólidos Suspendidos Totales

$$C_T = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_T}$$

$$C_T = \frac{163 \cdot 166.19 + 16 \cdot 80}{246.19}$$

$$C_T = 115.23\ mg/l$$

→ Coliformes Fecales

$$C_T = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_T}$$

$$C_T = \frac{36000 \cdot 166.19 + 5 \cdot 80}{246.19}$$

$$C_T = 24303.34\ UFC/100\ ml$$

Tabla 18. Cálculo de parámetros de calidad en la descarga

pH		**Turbiedad**		**DBO**		**Sólidos Suspendidos Totales**		**Coliformes Fecales**	
Concentración 1	8.15	Concentración 1 [UNT]	105.60	Concentración 1 [mg/l]	382.00	Concentración 1 [mg/l]	163.00	Concentración 1 [UFC/100 ml]	36000.00
Concentración 2	6.91	Concentración 2 [UNT]	8.50	Concentración 2 [mg/l]	20.00	Concentración 2 [mg/l]	16.00	Concentración 2 [UFC/100 ml]	5.00
Concentración Total	7.75	Concentración Total [UNT]	74.05	Concentración Total [mg/l]	264.37	Concentración Total [mg/l]	115.23	Concentración Total [UFC/100 ml]	24303.34

3.5. Diseño de la Planta de Tratamiento

Los resultados de la caracterización del agua que es descargada al río Chibunga demuestran el incumplimiento de los límites permisibles para la descarga en cuerpos de agua dulce descritos en el Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente en los siguientes parámetros: turbiedad, DBO y coliformes fecales.

Tabla 19. Comparación de los parámetros de calidad de la descarga con los límites máximos permisibles del TULSMA

Parámetros	Unidad	Concentación	Límite máximo permisible	Observación
pH	-	7.75	6-9	Cumple
Turbiedad	UNT	74.05	<10	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	264.37	100	No Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	115.23	130	Cumple
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	24303.34	2000	No Cumple

Nota. Los parámetros que no cumplen con la normativa ambiental son el punto de partida para seleccionar los procesos unitarios de tratamiento.

El objetivo del tratamiento es la remoción de características indeseables de las aguas residuales, para reducir la carga contaminante y de esta forma, cumplir con los valores permisibles descritos en la norma en lo referente a descargas en cuerpos de agua dulce.

La selección de las unidades de tratamiento implica consideraciones como: requisitos del agua tratada, requisitos de funcionamiento, disponibilidad del terreno y necesidades futuras de la zona.

En base a lo descrito anteriormente y a la caracterización de la calidad del agua de descarga se propone una planta de tratamiento que consta de las siguientes unidades de tratamiento:

Tratamiento Preliminar

- Canal de llegada
- Reja

Tratamiento Primario

- Sedimentador

Tratamiento Secundario

- Filtro Lento Biológico de Arena
- Lechos de Secado

3.5.1. Tratamiento Preliminar

Canal de llegada y Reja

Para realizar el predimensionamiento de las barras se asumen los valores recomendados por la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 en la sección de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

→ Selecciono t = 10 mm, a = 25 mm y V = 0.40 m/s.

Como punto de partida selecciono un espesor igual a 10 mm para las barras de la reja debido a que es un espesor comercial dentro del mercado ecuatoriano.

El espaciamiento entre barras será de 25 mm con la finalidad de que la mayor cantidad de sólidos de mediano y gran tamaño queden retenidos en la reja.

En cuanto a la velocidad de paso a través de la rejilla se debe tener en cuenta que, una velocidad baja puede facilitar la sedimentación de sólidos y una velocidad alta puede provocar el arrastre de los residuos que han sido retenidos por la reja, por lo que se toma una velocidad de 0.40 m/s.

$$Área\ total\ proyectada = \frac{Q}{V} = \frac{0.08\ \frac{m^3}{s}}{0.40\ \frac{m}{s}} = 0.20\ m^2$$

$$Área\ neta\ proyectada = \frac{a}{a+t} \cdot Área\ total\ proyectada$$

$$Área\ neta\ proyectada = \frac{25mm}{25\ mm + 10\ mm} \cdot 0.20\ m^2 = 0.143\ m^2$$

→ Velocidad de paso en la reja (limpia):

$$V = \frac{Q}{Área\ neta\ proyectada} = \frac{0.08\ \frac{m^3}{s}}{0.143\ m^2} = 0.56\ m/s$$

$$V = 0.56\ m/s \rightarrow Cumple\ (0.4\ a\ 0.75\ m/s)$$

→ Selecciono un ancho de canal B = 0.60 m

La norma CPE INEN 5 Parte 9-1 indica que al ancho mínimo de los canales con rejas debe ser de 60 cm, por lo que para un prediseño se lo toma como punto de partida.

$$B = n \cdot t + (n+1) \cdot a$$

$$0.60\ m = n \cdot 0.01\ m + (n+1) \cdot 0.025\ m$$

$$n = 16.42 \sim 17\ barrotes$$

→ Recalculo B:

$$B = 17 \cdot 0.01\ m + (17+1) \cdot 0.025\ m = 0.62\ m$$

→ Pérdida de carga en la reja

Para calcular la pérdida de carga se utiliza la ecuación presentada por Romero (2004) en su libro de Tratamiento de Aguas Residuales:

$$hf = \frac{1}{0.7} \cdot \left(\frac{Vr^2 - V^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$hf = \frac{1}{0.7} \cdot \left(\frac{0.56^2 - 0.45^2}{2 \cdot 9.81} \right) = 0.0081\ m$$

→ Pendiente del canal

Para calcular la pendiente del canal se utiliza la fórmula empírica de Manning para flujos de canales abiertos y se toma una velocidad igual a 0.45 m/s, valor recomendado por la norma CPE INEN 5 Parte 9-1.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

El canal de llegada será de hormigón, por lo que el coeficiente n de Manning es igual a 0.014 según lo que se describe en la Tabla 7.

$$Rh = \frac{Área}{Perímetro\ mojado} = \frac{0.62\ m \cdot 0.35\ m}{0.62\ m + 2\ \cdot 0.35\ m} = 0.164\ m$$

$$S = \left(\frac{V \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = \left(\frac{0.45 \cdot 0.014}{0.164^{\frac{2}{3}}} \right)^2 = 0.00044 = 0.044\%$$

→ Velocidad en el canal

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.014} \cdot 0.164^{\frac{2}{3}} \cdot 0.00044^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.45\ m/s$$

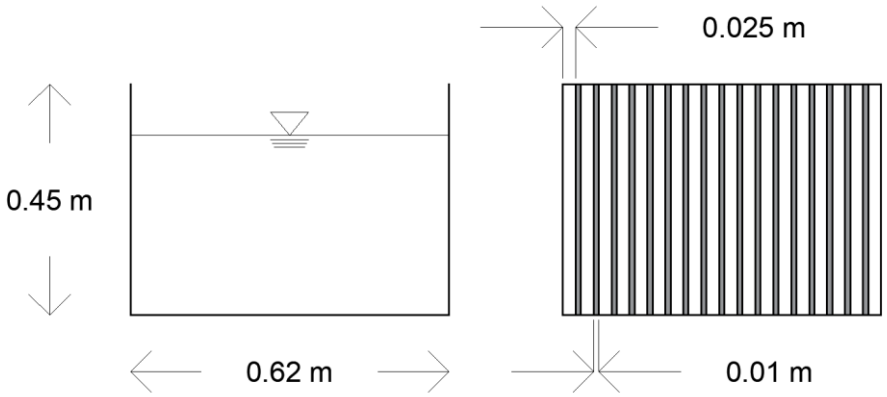
$$V = 0.45\ m/s \rightarrow Cumple\ (0.30\ a\ 0.60\ m/s)$$

Se considera una reja inclinada a 60° para facilitar las labores de operación y mantenimiento ya que la reja es de limpieza manual.

Tabla 20. Dimensiones del canal de llegada y reja

Canal			**Reja**		
Ancho (B)	0.62	m	Inclinación con la horizontal	60	°
Altura (H1)	0.35	m	Espesor de las barras (t)	10	mm
Borde Libre	0.10	m	Espaciamiento entre barras (a)	25	mm
Altura Total (H)	0.45	m	Número de barrotes	17	U
Velocidad (V)	0.45	m/s	cidad de paso a través de barrotes	0.56	m/s
Pendiente (S)	0.04	%	Pérdida de Carga (hf)	0.81	cm

Figura 5. Dimensiones del canal de llegada y reja



3.5.2. Tratamiento Primario

Sedimentador

→ Caudal del diseño

Para facilitar las funciones de operación y mantenimiento se deben colocar como mínimo 2 unidades de sedimentación en paralelo, de este modo cuando una de las unidades se encuentre inoperante la otra permanecerá funcionando.

$$Q = 80\frac{l}{s} \cdot \frac{86400\ s}{día} \cdot \frac{1\ m^3}{1000\ l} = 6912\ m^3/día$$

$$Número\ de\ sedimentadores\ (n)\ =\ 2$$

$$Qsed = \frac{Q}{n} = \frac{6912\ m^3/día}{2} = 3456\ m^3/día$$

Para realizar el predimensionamiento del sedimentador, al no contar con datos experimentales, se utilizarán los criterios de diseños presentados en la norma CPE INEN 5 Parte 9-1. En primer lugar, se debe determinar el área superficial de la unidad de sedimentación, por lo que se considera una carga superficial de 30 $m^3/m^2 \cdot$ día, que corresponde a una velocidad de sedimentación de 1.25 m/h. Todas las partículas discretas con una velocidad de sedimentación igual o mayor que 1.25 m/h serán removidas.

$$As = \frac{Qsed}{Cs}$$

$$As = \frac{3456\ m^3/día}{30\ m^3/m^2 \cdot día} = 115.2\ m^2$$

Zona de Sedimentación:

Las dimensiones de largo, ancho y profundidad serán calculadas respetando los criterios de diseño mencionados en la CPE INEN 5 Parte 9-1. La relación largo/ancho debe estar entre 3 y 5 y la relación largo/profundidad debe ser igual o menor que 30.

$$As = L \cdot b$$

$$L = 3b$$

$$115.2\ m^2 = 3b \cdot b$$

$$b = 6.197\ m\ \sim 6.20\ m$$

$$L = 3 \cdot 6.197 = 18.59\ m\ \sim 18.60\ m$$

$$\frac{L}{b} = \frac{18.60\ m}{6.20\ m} = 3$$

$$L/b = 3 \rightarrow Cumple\ (3\ a\ 5\ m)$$

→ Profundidad del sedimentador

El volumen del sedimentador es igual al producto del área superficial (As) por la profundidad (H). Por otro lado, el tiempo de retención teórico es igual al volumen del tanque dividido por el caudal. (INEN, 1992)

$$V = As \cdot H$$

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

Para mantener una relación adecuada entre las dimensiones escogidas, se calculará el tiempo de retención dividiendo la profundidad libre del tanque para la carga superficial. La norma CPE INEN 5 Parte 9-1 recomienda utilizar una profundidad de 3.5 m.

$$Tr = \frac{H}{Cs}$$

$$Tr = \frac{3.5\ m}{30\ m^3/m^2 \cdot día} = 0.117\ día = 2.8\ h$$

$$Tr = 2.8\ \ h \rightarrow Cumple\ (2\ a\ 4\ h\ )$$

$$\frac{L}{H} = \frac{18.60\ m}{3.50\ m} = 5.31$$

$$\frac{L}{H} = 5.31 \rightarrow Cumple\ (5\ a\ 30)$$

Un tiempo de retención de 2.8 h permite el asentamiento de las partículas con una velocidad de sedimentación mayor o igual que 1.25 m/h en un tanque se sedimentación de 18.60 m de largo, 6.20 m de ancho y 3.5 m de profundidad.

→ Velocidad de flujo horizontal

A pesar de que se diseñen correctamente las zonas de entrada y de salida, la velocidad horizontal no será uniforme en toda la sección transversal del tanque debido a la existencia de corrientes y cortocircuitos. Un cortocircuito se presenta cuando existen altas velocidades en la zona de entrada, provocando que una porción de fluido atraviese el tanque en un tiempo menor que el tiempo de retención. Por lo expuesto, una velocidad horizontal baja es necesaria para que no se produzca el arrastre de partículas sedimentables a la zona de salida.

$$Vh = \frac{Qsed}{B \cdot H}$$

$$Vh = \frac{0.04\ m^3/s}{6.20\ m \cdot 3.50\ m} \cdot \frac{100\ cm}{1\ m} = 0.184\ cm/s$$

$$Vh = 0.184\ cm/s\ \rightarrow Cumple\ (\ 0.11\ a\ 1\ cm/s)$$

Es necesario verificar el tipo de flujo que se tiene en la zona de sedimentación, por lo que se calcula el número de Reynolds haciendo uso de la ecuación 18.

$$Re = \frac{Vh \cdot Rh}{\upsilon}$$

$$Re = \frac{0.00184\ m/s \cdot \frac{6.20\ m \cdot 3.50\ m}{6.20\ m + 2 \cdot 3.50\ m}}{11.42\ \cdot 10^{-7}\ m^2/s} = 2648.73$$

$$Re = 2648.73\ \rightarrow Cumple\ (< 20\ 000, no\ hay\ turbulencia\ )$$

Zona de Entrada:

→ Velocidad en los orificios

Para los orificios de la pantalla perforada se escoge un diámetro de 10 cm con el fin de suministrar una transición suave entre el flujo de entrada y el flujo de la zona de sedimentación. Además, la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 recomienda que el gradiente de velocidad en los

orificios de distribución debe estar entre 20 s^{-1} y 15 s^{-1}, por lo que se considera un gradiente de velocidad igual a 20 s^{-1} para evitar turbulencias dentro de la zona de sedimentación.

En cuanto a la temperatura, Metcalf & Eddy (1995) indican que la temperatura del agua residual varía entre 10 y 21°C, recomendando como valor representativo una temperatura igual a 15°C. La viscosidad cinemática del agua a una temperatura de 15°C según la Tabla 10 es igual a 0.01142 cm^2/s.

$$V = \left(\frac{8 \cdot v \cdot R \cdot G^2}{f}\right)^{1/3}$$

$$R = \frac{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}}{\pi \cdot 10} = 2.50\ cm$$

$$V = \left(\frac{8 \cdot 0.01142\ \frac{cm^2}{s} \cdot 2.50\ m \cdot (20\ s^{-1})^2}{0.02}\right)^{1/3} = 16.592\ cm/s$$

$$V = 16.592\ cm/s \rightarrow Cumple\ (15\ a\ 30\ cm/s\ )$$

$$q = V \cdot A = 0.16592\ m/s \cdot \frac{\pi \cdot (0.10\ m)^2}{4} = 0.001303\ m^3/s$$

$$q = 0.001303\ \frac{m^3}{s} \cdot \frac{86400\ s}{1\ día} = 112.59\ m^3/día$$

→ Número de orificios

$$\#orificios = \frac{Q}{q} = \frac{3456\ \frac{m^3}{día}}{112.59\ \frac{m^3}{día}} = 30.70\ orificios \sim 31\ orificios$$

→ Espaciamientos entre orificios

La Organización Panamericana de la Salud en su Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores recomienda que los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5

o a 1/6 de la altura a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 a partir de la superficie del fondo, por lo que los orificios se distribuirán en los 3/5 medios de la pantalla perforada.

$$\frac{H}{5} = \frac{3.50\ m}{5} = 0.70\ m$$

- Espaciamiento entre filas:

Para determinar el espaciamiento entre filas de orificios (S1) se debe tener en cuenta que estos estarán distribuidos en los 3/5 medios de la pantalla perforada, por lo que de la altura total se debe restar la distancia libre de la parte superior e inferior, así como también medio diámetro de cada orificio ya que el espaciamiento será entre ejes.

El número de filas y de columnas se dispondrán de modo que la pantalla perforada quede con una distribución adecuada de orificios. Un total de 5 filas y 7 columnas dan como resultado una distribución adecuada de 33 orificios que cumplen con los requerimientos de la zona de entrada.

$$S1 = \frac{3.50\ m - 0.70\ m - 0.70\ m - 0.05\ m - 0.05\ m}{5 - 1} = 0.50\ m\ (entre\ ejes)$$

- Espaciamiento entre columnas:

En cuanto al espaciamiento entre columnas de orificios (S2) se consideró una distancia lateral de 50 cm para que, con el desgaste de la pantalla, los orificios no sufran desperfectos. Para determinar la distancia entre columnas se debe restar del ancho total la distancia lateral considerada por seguridad y medio diámetro de cada orificio ya que el espaciamiento será entre ejes.

$$S2 = \frac{6.20\ m - 0.50\ m - 0.50\ m - 0.05\ m - 0.05\ m}{7 - 1} = 0.85\ m\ (entre\ ejes)$$

Figura 6. Dimensiones de la pantalla perforada de la zona de entrada del sedimentador

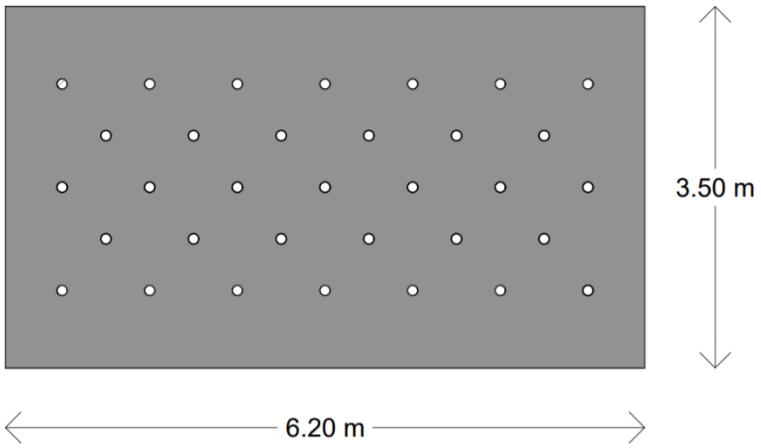
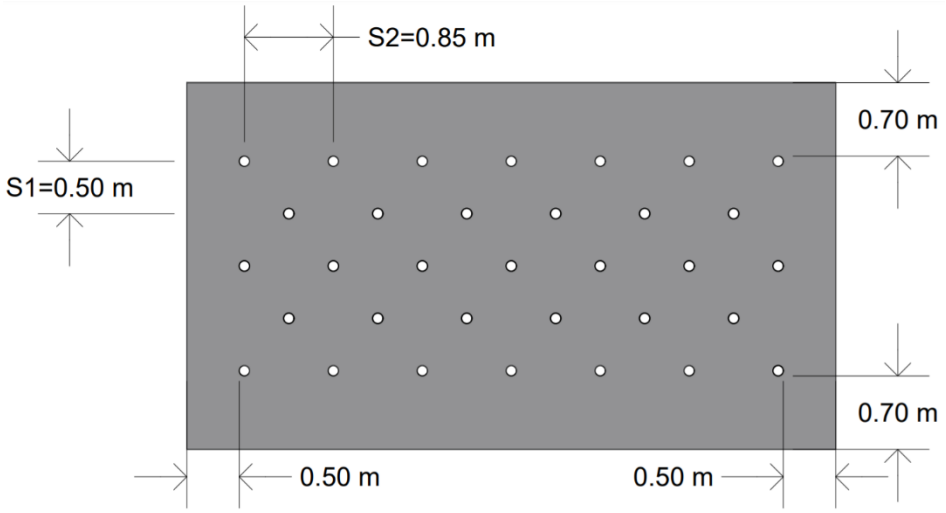


Figura 7. Dimensiones de la pantalla perforada de la zona de entrada del sedimentador



Zona de Salida:

Para la salida del efluente, se propone un vertedero de longitud de cresta igual al ancho de la unidad de sedimentación, es decir, el vertedero no contará con contracciones.

→ Altura de agua sobre el vertedero

Para calcular la altura de agua sobre el vertedero se utiliza la ecuación 21:

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

$$H = \left(\frac{Qsed}{1.84 \cdot L}\right)^{2/3}$$

$$H = \left(\frac{0.04\ m^3/s}{1.84 \cdot 6.20\ m}\right)^{2/3}$$

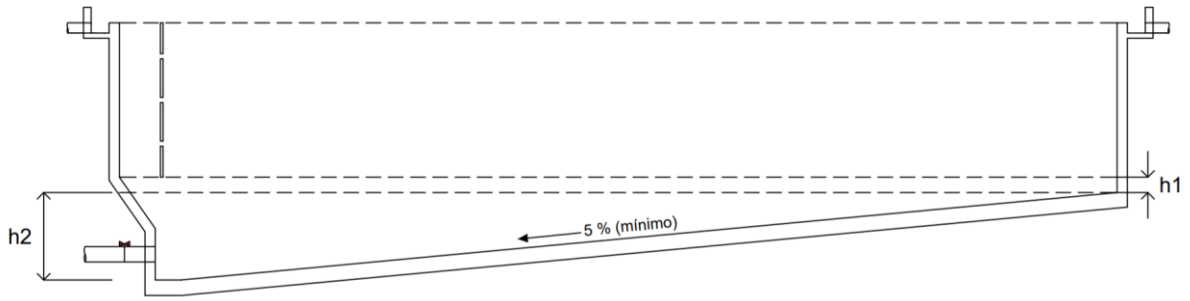
$$H = 0.023\ m$$

Zona de Lodos:

Los lodos son almacenados en una tolva que se encuentra ubicada al fondo del tanque de sedimentación, por lo que se debe destinar un volumen adicional en el sedimentador para este propósito. La norma CPE INEN 5 Parte 9-1 menciona que este volumen debe estar entre el 10 % y el 25 % del volumen del sedimentador, dependiendo de la calidad del agua y de la recurrencia de la limpieza. Al tener una calidad de agua regular y no requerir de una limpieza periódica (PTAR pequeña), se asume un volumen de lodos igual al 20 % del volumen de la zona de sedimentación.

El fondo de la unidad de sedimentación debe contar con una pendiente mínima longitudinal del 5% para facilitar el deslizamiento de los sedimentos y su posterior extracción. (INEN, 1992)

Figura 8. Esquema de la zona de lodos del sedimentador



$$Vl = 0.20 \cdot (18.60\,m \cdot 6.20\,m \cdot 3.50\,m) = 80.724\,m^3$$

$$Área = \frac{80.724\,m^3}{6.20\,m} = 13.02\,m^2$$

$$h2 = 0.05 \cdot L = 0.05 \cdot 18.60\,m = 0.93\,m \sim 1.0\,m$$

$$\frac{h1 + (h1 + h2)}{2} \cdot L = 13.02\,m^2$$

$$\frac{2 \cdot h1 + 1.0\,m}{2} \cdot 18.60\,m = 13.02\,m^2$$

$$h1 = 0.20\,m$$

$$h1 + h2 = 0.20\,m + 1.00\,m = 1.20\,m$$

→ Recalculo la pendiente

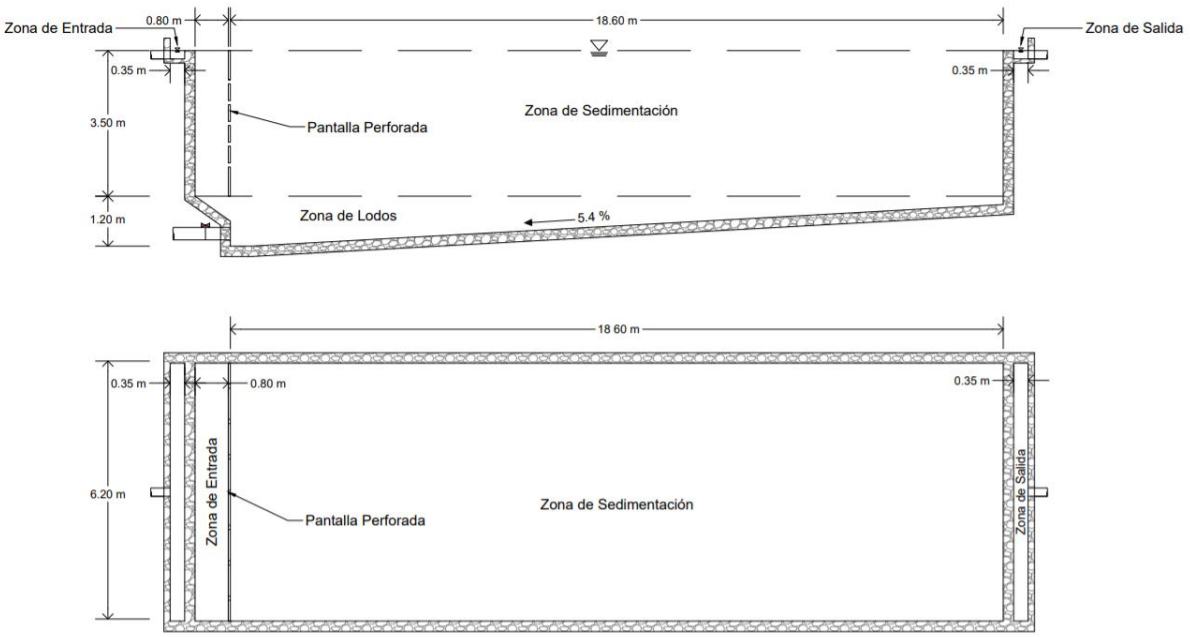
$$P = \frac{1.00\,m}{18.60\,m} = 5.38\,\%$$

$$P = 5.38\,\% \sim 5.4\,\% \rightarrow Cumple\ (\geq 5\,\%)$$

Tabla 21. Dimensiones del sedimentador

Sedimentador					
Zona de Entrada (Pantalla Perforada)			**Zona de Sedimentación**		
Ancho (b)	6.20	m	Largo (L)	18.60	m
Profundidad (H)	3.50	m	Ancho (b)	6.20	m
Diámetro de los orificios	10.00	cm	Altura (H)	3.50	m
Número de orificios	33.00	U	Espesor	25.00	cm
Número de filas	5.00	U	Volumen	403.62	m3
Número de columnas	7.00	U	Tiempo de retención (Tr)	2.80	horas
Espaciamiento entre filas (S1)	0.50	m	Velocidad de flujo horizontal (Vh)	0.18	cm/s
Espaciamiento entre columnas (S2)	0.85	m			
Distancia de la pared de entrada a la pantalla perforada	0.80	m			
Zona de Lodos			**Zona de Salida (Vertedero rectangular sin contracciones)**		
Largo (L)	18.60	m	Longitud de cresta	6.20	m
Ancho (b)	6.20	m	Altura de agua sobre el vertedero	2.30	cm
Altura inicial	1.20	m			
Altura final	0.20	m			
Volumen de lodos (Vl)	80.72	m3			

Figura 9. Planta y corte longitudinal del sedimentador



3.5.3. Tratamiento Secundario

Lechos de secado de lodos

El dimensionamiento del lecho de secado de lodos se realizará en base a la Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización de la Organización Panamericana de la Salud.

→ Carga de sólidos que ingresa al sedimentador

El valor de los sólidos en suspensión (SS) corresponde a los parámetros de calidad del agua de descarga que se presentan en la Tabla 18.

$$C = 0.0864 \cdot Q \cdot SS$$

$$C = 0.0864 \cdot 80\ l/s \cdot 115.23\ mg/l \cdot \frac{1\ g}{1000\ mg} \cdot \frac{1\ kg}{1000\ g} \cdot \frac{86400\ s}{1\ día}$$

$$C = 68.81\ kg/día$$

→ Masa de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0.50 \cdot 0.70 \cdot 0.50 \cdot C) + (0.50 \cdot 0.30 \cdot C)$$

$$Msd = (0.50 \cdot 0.70 \cdot 0.50 \cdot 68.81\ kg/día) + (0.50 \cdot 0.30 \cdot 68.81\ kg/día)$$

$$Msd = 22.36\ kg/día$$

→ Volumen diario de lodos

La OPS recomienda una densidad de los lodos igual a 1.04 kg/l y adicionalmente menciona que el porcentaje de los sólidos contenidos en el lodo varía entre 8 a 12 %, por lo que se considera el promedio, que corresponde al 10 % de sólidos.

$$Vld = \frac{Msd}{\rho lodo \cdot \frac{\%\ sólidos}{100}}$$

$$Vld = \frac{22.36\ kg/día}{1.04\ kg/l \cdot \frac{10}{100}}$$

$$Vld = 215\ l/día$$

→ Volumen de lodos a extraerse

Se conoce que el proceso de secado de lodos se da por evaporación por ende depende de las condiciones ambientales de la zona. Riobamba cuenta, según el INAMHI (2013), con una temperatura promedio de 15°C, por lo que el tiempo de digestión de lodos según la Tabla 14 es igual a 55 días.

$$Vel = \frac{Vld \cdot Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{215\ \frac{l}{día} \cdot 55\ días}{1000}$$

$$Vel = 11.825\ m^3$$

→ Área del lecho de secado

La OPS recomienda una profundidad de aplicación entre 20 a 40 cm, al contar con un volumen de lodos de 11.825 se asume una altura de 40 cm para que las dimensiones (largo y ancho) de los lechos no sean muy extensas.

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

$$Als = \frac{11.825\ m^3}{0.40\ m}$$

$$Als = 29.56\ m^2$$

→ Área individual de los lechos de secado

Se consideran 3 lechos de secado para que sus dimensiones no sean extensas y al mismo tiempo facilitar las labores de mantenimiento.

$$Alsi = \frac{Als}{N\ lechos}$$

$$Alsi = \frac{29.56\ m^2}{3} = 9.85\ m^2$$

→ Longitud del lecho de secado

$$L = \frac{Alsi}{b}$$

La OPS indica que el ancho de los lechos de secado es generalmente de 3 a 6 m para instalaciones medianas. Para este caso asumo un ancho de 3 metros para cada lecho de secado.

$$L = \frac{9.85\ m^2}{3\ m} = 3.28\ m \sim 3.30\ m$$

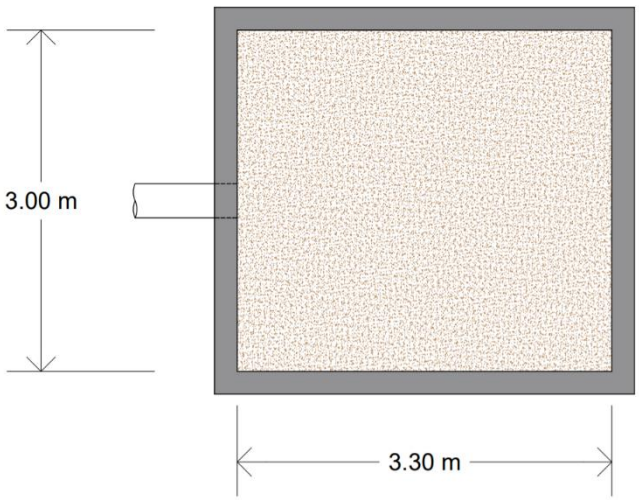
→ Área recalculada

$$Alsi = 3.30\ m \cdot 3.0\ m = 9.90\ m^2$$

Tabla 22. Dimensiones del lecho se secado de lodos

Lecho de secado		
Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (C)	68.81	kg/día
Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd)	22.36	kg/día
Volumen diario de lodos (Vld)	215.00	l/día
Volumen de lodos a extraerse (Vel)	11.83	m3
Número de lechos	3.00	U
Área individual del lecho(Alsi)	9.85	m2
Largo (L)	3.30	m
Ancho (b)	3.00	m
Altura	1.10	m
Espesor	20.00	cm
Altura de la capa de lodo (Ha)	40.00	cm

Figura 10. Planta del lecho de secado de lodos



Filtro lento biológico de arena

Para el diseño del filtro lento de arena se utilizarán los parámetros y criterios de diseño de la norma CPE INEN 5 Parte 9-1 y la Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas de la Organización Panamericana de la Salud.

→ Velocidad de filtración

Como punto de partida se considera un área de filtración igual a 100 m^2, valor recomendado por la Organización Panamericana de la Salud para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento del filtro. Además, se colocarán 2 unidades de filtración para efectos de mantenimiento.

$$Número\ de\ filtros\ (N)\ =\ 2$$

$$Q = 80\frac{l}{s} \cdot \frac{3600\ s}{h} \cdot \frac{1\ m^3}{1000\ l} = 288\ m^3/h$$

$$Vf = \frac{Q}{As}$$

$$Vf = \frac{288\ m^3/h}{100\ m^2} = 2.88 m/h$$

→ Área superficial

$$As = \frac{Q}{N\ \cdot Vf}$$

$$As = \frac{288\ m^3/h}{2 \cdot 2.88\ m/h} = 50\ m^2$$

→ Coeficiente de mínimo costo

$$K = \frac{2 \cdot N}{N + 1}$$

$$K = \frac{2 \cdot 2}{2 + 1}$$

$$K = 1.33$$

→ Longitud del filtro

$$L = (As \cdot K)^{1/2}$$

$$L = (50\ m^2 \cdot 1.33)^{1/2}$$

$$L = 8.16\ m \sim 8.50\ m$$

→ Ancho del filtro

$$b = \left(\frac{As}{K}\right)^{1/2}$$

$$b = \left(\frac{50\ m^2}{1.33}\right)^{1/2}$$

$$b = 6.12\ m\ \sim 6.5\ m$$

→ Velocidad de filtración real

$$Vfr = \frac{Q}{2 \cdot A \cdot b}$$

$$A = 6.50\ \cdot 8.50 = 55.25\ m^2$$

$$Vfr = \frac{144\ m^3/h}{2 \cdot 55.25\ m^2\ \cdot 6.5\ m}$$

$$Vfr = 0.20\ m/h$$

$$Vfr = 0.20\ m/h\ \rightarrow Cumple\ (\ 0.10\ a\ 0.20\ m/h)$$

→ Vertedero de entrada

Para calcular la altura de agua sobre el vertedero de entrada se utiliza la ecuación 21:

$$Q = 1.84 \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

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

$$H = \left(\frac{0.04\ m^3/s}{1.848 \cdot 6.50\ m}\right)^{2/3}$$

$$H = 0.022\ m = 2.22\ cm$$

Tabla 23. Dimensiones del filtro lento biológico de arena

Filtro Lento Biológico de Arena		
Características Generales		
Velocidad de filtración	0.20	m/h
Área superficial (As)	55.25	m2
Número de unidades	2.00	U
Dimensiones por Unidad		
Largo (L)	8.50	m
Ancho (b)	6.50	m
Altura	3.55	m
Borde libre	0.20	m
Espesor	0.20	m
Lecho filtrante		
Capa de arena (0.20 mm de diámetro)	1.20	m
Capa de grava 1 (2 mm de diámetro)	10.00	cm
Capa de grava 2 (5 mm de diámetro)	10.00	cm
Capa de grava 3 (16 mm de diámetro)	15.00	cm
Vertedero de Entrada		
Longitud de cresta	6.50	m
Altura de agua sobre el vertedero	2.22	cm

Figura 11. Corte del filtro lento biológico de arena

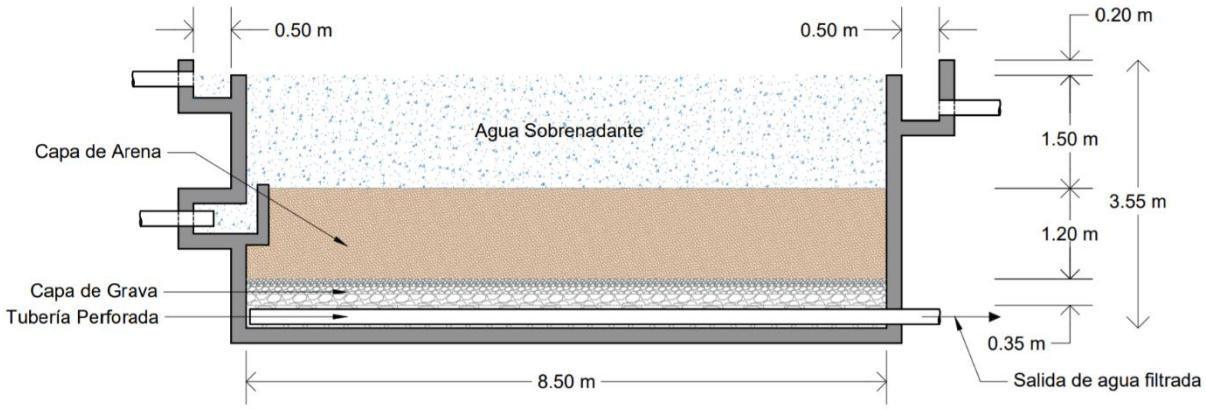
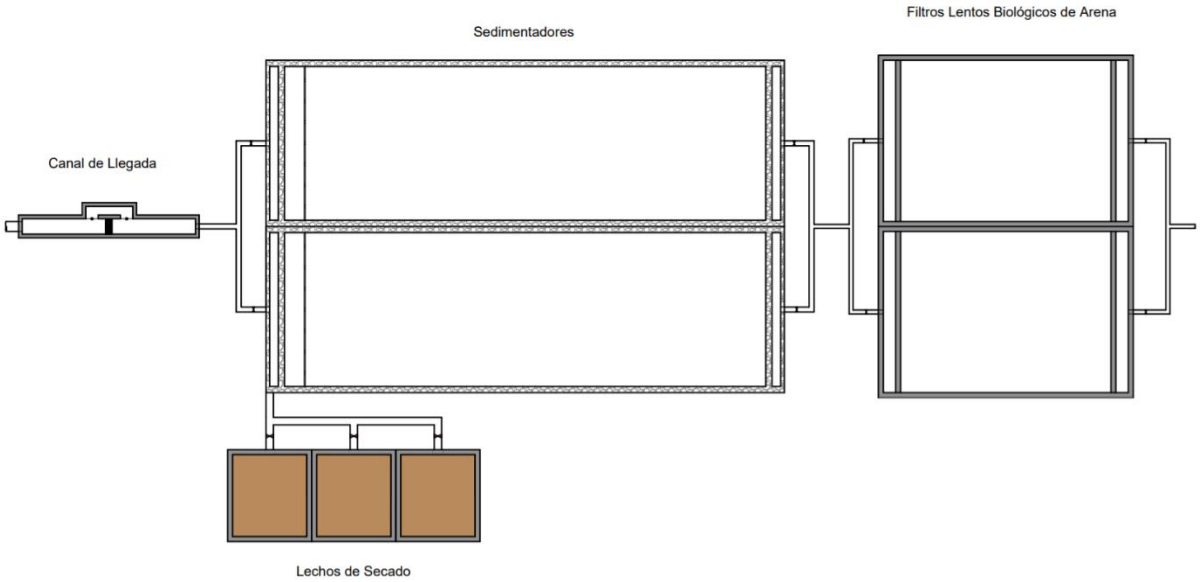


Figura 12. Esquema de la Planta de Tratamiento sugerida



3.5.4. Eficiencia de la Planta de Tratamiento

Para establecer la eficiencia de total de la planta de tratamiento es necesario calcular la concentración del efluente con la ayuda de los grados de remoción teóricos de cada unidad de tratamiento.

→ Rendimiento del tratamiento preliminar

Teóricamente el tratamiento preliminar remueve del 3 al 5 % de sólidos suspendidos, por lo que, para calcular la eficiencia de la planta de tratamiento se considera que el tratamiento preliminar remueve el 3 % de sólidos suspendidos.

$$C_f = C_o - \frac{C_o \cdot \%\, Eficiencia}{100}$$

$$S_e = 115.23\ \frac{mg}{l} - \left(115.23 \frac{mg}{l} * \frac{3}{100}\right)$$

$$S_e = 111.77\ mg/l$$

Tabla 24. Rendimiento Teórico del Tratamiento Preliminar

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Turbiedad (UNT)	74.05	-	74.05
DBO (mg/L)	264.37	-	264.37
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	115.23	3%	111.77
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	24303.34	-	24303.34

→ Rendimiento del tratamiento primario

Se asume que el tratamiento primario remueve teóricamente el 60% turbiedad, 30 % de DBO y el 40 % de sólidos suspendidos.

$$C_f = C_o - \frac{C_o \cdot \%\, Eficiencia}{100}$$

$$Turbiedad = 74.05\ \frac{mg}{l} - \left(74.05 \frac{mg}{l} * \frac{60}{100}\right) = 29.62\ UNT$$

$$DBO = 264.37\ \frac{mg}{l} - \left(264.37 \frac{mg}{l} * \frac{30}{100}\right) = 185.06\ mg/l$$

$$S_e = 111.77\ \frac{mg}{l} - \left(111.77 \frac{mg}{l} * \frac{40}{100}\right) = 67.06\ mg/l$$

Tabla 25. Rendimiento Teórico del Tratamiento Primario

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Turbiedad (UNT)	74.05	60%	29.62
DBO (mg/L)	264.37	30%	185.06
Sólidos Suspendidos	111.77	40%	67.06
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	24303.34	-	24303.34

→ Rendimiento del tratamiento secundario

Se asume que el tratamiento secundario remueve teóricamente el 70 % de DBO, 70 % de sólidos suspendidos y el 70 % de turbiedad. La OMS menciona respecto a las bacterias, que la tasa de eliminación del referencia es del 50%, sin embargo, si se tienen condiciones óptimas de operación y mantenimiento de las unidades se pueden tener remociones hasta del 99.5%, por lo que se asume una remoción tórica del 75% en lo que concierne a coliformes fecales

$$Turbiedad = 29.62\ \frac{mg}{l} - \left(29.62\frac{mg}{l} * \frac{70}{100}\right) = 8.89\ UNT$$

$$DBO = 185.06\ \frac{mg}{l} - \left(185.06\frac{mg}{l} * \frac{70}{100}\right) = 55.52\ mg/l$$

$$S_e = 67.06\ \frac{mg}{l} - \left(67.06\frac{mg}{l} * \frac{70}{100}\right) = 20.12\ mg/l$$

$$Coliformes\ Fecales = 24303.34\frac{UFC}{100\ ml} - \left(24303.34\frac{UFC}{100\ ml} * \frac{75}{100}\right)$$

$$Coliformes\ Fecales = 6075.84\frac{UFC}{100\ ml}$$

Tabla 26. Rendimiento Teórico del Tratamiento Secundario

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Concentración del efluente
Turbiedad (UNT)	29.62	70%	8.89
DBO (mg/L)	185.06	70%	55.52
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	67.06	70%	20.12
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	24303.34	75%	6075.84

→ Eficiencia de la Planta de Tratamiento

$$\%\, Eficiencia\ = \frac{C_o - C_f}{C_o} \cdot 100$$

$$\%\, Eficiencia_{Turbiedad} = \frac{74.05 - 8.89}{74.05} \cdot 100 = 88\ \%$$

$$\%\, Eficiencia_{DBO} = \frac{264.37 - 55.52}{264.37} \cdot 100 = 79\ \%$$

$$\%\, Eficiencia_{Se} = \frac{115.23 - 20.12}{115.23} \cdot 100 = 82.5\ \%$$

$$\%\, Eficiencia_{CF} = \frac{24303.34 - 6075.84}{24303.34} \cdot 100 = 75\ \%$$

Tabla 27. Eficiencia de la Planta de Tratamiento

Parámetro	Concentración del afluente	Concentración del efluente	Eficiencia de la Planta de Tratamiento
Turbiedad (UNT)	74.05	8.89	88.0%
DBO (mg/L)	264.37	55.52	79.0%
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	115.23	20.12	82.5%
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	24303.34	6075.84	75.0%

3.5.5. Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental

La Tabla 28 muestra la concentración del afluente que fue calculada en la sección anterior, la concentración del efluente que se obtiene haciendo uso de los grados de remoción teóricos de cada unidad de tratamiento y los límites permisibles para las descargas en cuerpos de agua dulce establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Esta tabla nos permite realizar una comparación entre la

concentración del efluente y los límites permisibles establecidos por el TULSMA y de esta manera verificar que los valores se encuentren dentro de los permitidos por la norma.

Tabla 28. Verificación del cumplimiento con la Normativa Ambiental

Parámetros	Unidad	Concentración del afluente	Concentración del efluente	Límite máximo permisible	Observación
Turbiedad	UNT	74.05	8.89	<10	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	264.37	55.52	100	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	115.23	20.12	130	Cumple
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	24303.34	6075.84	2000	No Cumple

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión de resultados

4.1.1. Caudal de descarga

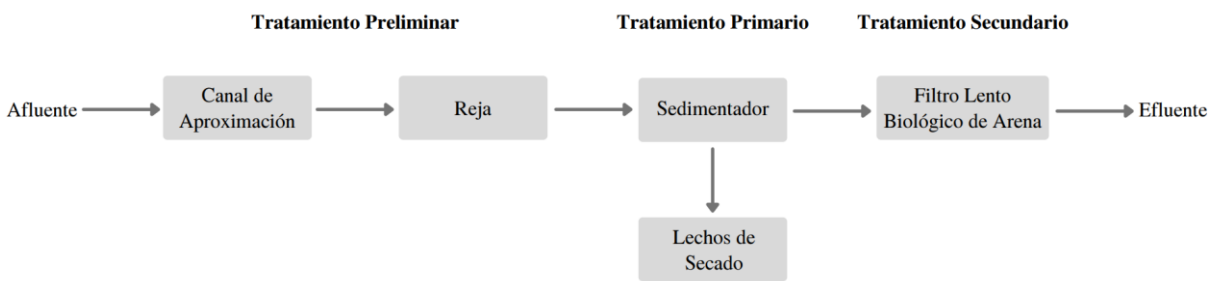
El caudal de descarga corresponde a un caudal diluido, cuyos parámetros de calidad (pH, turbiedad, DBO, sólidos suspendidos y coliformes fecales) se calcularon en base al caudal existente y al caudal de descarga. Como resultado de la caracterización de la descarga se tiene una concentración de 264.37 mg/l de DBO, 74.05 unidades nefelométricas de turbiedad, 115.23 mg/l de sólidos suspendidos, y 24303.34 UFC/100ml de coliformes fecales. Las concentraciones mencionadas superan los límites máximos permisibles para descargas en cuerpos de agua dulce descritos en el TULSMA, por lo que es necesario incorporar un sistema de tratamiento para reducir la carga contaminante y mejorar la calidad del agua del cuerpo receptor, que en este caso es el río Chibunga.

El caudal de descarga de 80 l/s corresponde al caudal de diseño para dimensionar las unidades de la planta de tratamiento, mientras que las concentraciones de los parámetros de calidad de la descarga se utilizan para calcular la eficiencia de la planta de tratamiento.

4.1.2. Diseño de la Planta de Tratamiento

En base a la caracterización de la descarga, disponibilidad del terreno y las necesidades futuras de la zona se proponen los procesos unitarios de tratamiento mostrados en la Figura 13.

Figura 13. Procesos Unitarios de Tratamiento Sugeridos



Tratamiento Preliminar

Canal de llegada

Se diseñó un canal de hormigón de sección rectangular (62 cm de ancho y 45 cm de altura), con un coeficiente de rugosidad igual a 0.014.

El canal de llegada tiene la función de transportar el afluente hacia las unidades de tratamiento. El canal tiene una pendiente del 0.044 % y alcanza una velocidad de 0.45 m/s, cuyo valor se encuentra dentro del rango de 0.30 a 0.60 m/s descrito en los parámetros de diseño del canal de llegada mencionados en el Capítulo II.

Es importante señalar que se contempla un canal de derivación junto al canal principal para evacuar reboses. Las compuertas del canal para reboses permanecerán cerradas a la espera de que sea necesaria su apertura en casos de emergencia.

Reja

La reja está ubicada dentro del canal de llegada y tiene la función de retener sólidos de mediano y gran tamaño con la finalidad de proteger las unidades de tratamiento posteriores. Se diseñó una reja con 17 barras de sección rectangular de 10 mm de espesor, espaciadas 25 mm una de la otra.

La reja es de limpieza manual y tiene el mismo ancho que el canal (62 cm), sin embargo, cuenta con un ángulo de inclinación igual a 60° respecto a la horizontal para facilitar las labores de limpieza.

Tratamiento Primario

Para el tratamiento primario se diseñaron dos sedimentadores convencionales de flujo horizontal de sección rectangular, cuyo caudal de diseño es de 3456 m^3/día. Cada sedimentador cuenta con cuatro zonas independientes: zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de lodos.

La zona de entrada consta de un vertedero rectangular sin contracciones, que permite que exista una transición suave ente el flujo de entrada y el flujo de la zona de sedimentación. Adicionalmente, esta zona cuenta con una pantalla perforada ubicada a 0.80 m de distancia de la pared de entrada. La pantalla perforada tiene 33 orificios de 10 cm de diámetro distribuidos en los 3/5 intermedios de la pantalla. La velocidad en los orificios es de 16.59 cm/s cuyo valor está dentro del rango de 15 a 30 cm/s mencionado en el Capítulo II, por lo que no habrá perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.

La zona de sedimentación tiene 3.5 m de profundidad, 6.20 m de ancho y 18.60 m de largo. En esta zona todas las partículas con velocidades de sedimentación mayor o igual que 1.25 m/h serán completamente removidas en un tiempo de retención de 2.8 horas.

La zona de lodos recibe todas las partículas sedimentadas y cuenta con una tubería de desagüe de 300 mm de diámetro que conducirá a los lodos a su lecho de secado.

Para la zona de salida se propone un vertedero rectangular sin contracciones de longitud de cresta igual al ancho de la unidad de sedimentación para contar con una transición suave entre el flujo de la zona de sedimentación y el efluente.

Un líquido clarificado es el resultado de esta unidad de tratamiento, ya que teóricamente reduce un 60% de turbiedad, un 30% de DBO y un 40% de sólidos suspendidos totales, permitiendo que el tratamiento posterior sea más efectivo.

Tratamiento Secundario

Filtro lento biológico de arena

En lo que respecta al tratamiento secundario, se diseñaron dos unidades filtrantes de modo que, cuando una unidad filtrante requiera mantenimiento, la otra unidad se encuentre en funcionamiento.

Como estructura de entrada se propone un vertedero rectangular sin contracciones. Este vertedero es el encargado de regular el caudal de ingreso y de evitar turbulencias dentro del filtro, ya que esto puede perturbar la capa de arena.

El filtro está compuesto por una capa de agua sobrenadante de 1.50 m de espesor, una capa de arena de 1.20 m de espesor y una capa de grava de 0.35 m de espesor, lo que resulta en una velocidad de filtración de 0.20 m/h. El medio filtrante está compuesto por granos de arena (libres de arcilla y de materia orgánica) que tienen un diámetro de 0.20 mm. Una capa de grava de 35 cm se empleará como soporte del material granular filtrante, que, a su vez, permite la salida del agua filtrada e impide el paso de partículas de arena provenientes del lecho filtrante. Para lograr estos fines, es importante que el soporte de grava se encuentre graduado, por lo que se colocarán 3 capas de grava con material de 2 mm, 5 mm y 16 mm de diámetro, respectivamente. Las dos primeras capas tendrán un espesor de 10 cm cada una, mientras que la tercera tendrá un espesor de 15 cm.

El sistema de drenaje está compuesto por una tubería perforada con orificios de 4 mm de diámetro, espaciados cada 20 cm. La tubería perforada de 160 mm de diámetro está embebida en una capa de grava de 15 cm de espesor y es la encargada de la recolección del agua tratada.

Para el mantenimiento y limpieza del filtro, se diseñó un vertedero al nivel de la capa de arena, con la finalidad de que cuando se realice el vaciado del filtro, no se pierda gran

cantidad de material filtrante (arena). El vertedero se encarga de conducir el agua hacia una tubería de PVC de 160 mm de diámetro que regula la salida del agua por medio de una válvula.

Gracias a la filtración lenta biológica de arena y al proceso de sedimentación se tiene un agua con concentraciones deseables en cuanto a turbiedad, DBO y Sólidos Suspendidos, pues los valores se encuentran dentro de los límites permisibles para las descargas en cuerpos de agua dulce establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Por otro lado, la concentración de Coliformes Fecales, aún después del tratamiento propuesto, rebasa el límite permitido por el TULSMA, sin embargo, se ha reducido considerablemente la carga contaminante que se dispone al río Chibunga, contribuyendo a la autodepuración de este cuerpo de agua.

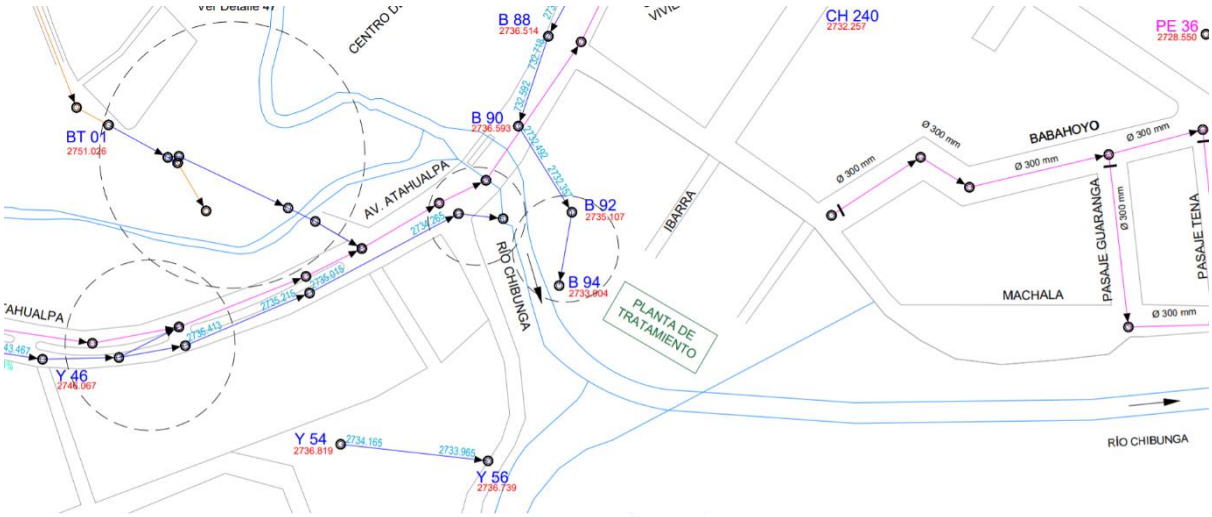
Lechos de secado

Se diseñaron 3 lechos de secado de lodos de sección rectangular de 3.00 m de ancho y 3.30 m de longitud. El medio de drenaje no es esencial debido a que el secado de lodos se da por evaporación. Sin embargo, es necesario un mecanismo de drenaje con el fin de evacuar el agua lluvia cuando los lechos estén fuera de operación. El medio de drenaje está constituido por ladrillos colocados sobre una capa de arena y un estrato de grava de 20 cm de espesor. Además, se coloca una tubería de PVC de 100 mm de diámetro debajo del estrato de grava para que drene el agua lluvia.

Los lechos de secado permiten reducir el volumen de lodos, lo que facilita su manejo y disposición final.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua publicada en el Registro Oficial Suplemento 483 del 20 de abril del 2015 menciona en el artículo 62 que, los terrenos que lindan con cauces están sujetos en toda su extensión longitudinal a una zona de servidumbre para uso público de cinco metros.

Figura 14. Ubicación de la Planta de Tratamiento Sugerida



Nota. La Planta de Tratamiento sugerida se ubica en una zona colindante al río Chibunga, respetando la servidumbre de uso público. Tomado de Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba, 2021.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La caracterización de la descarga demuestra un incumplimiento con la normativa ambiental TULSMA en los parámetros de turbiedad, DBO y coliformes fecales, por lo que es necesario diseñar un sistema de tratamiento para lograr que los contaminantes que se disponen en el río Chibunga bajen su concentración y de esta manera garantizar una mejora en la calidad de la descarga.
- La planta de tratamiento diseñada tiene un área de 931.98 m^2 y consta de cuatro etapas: en la primera etapa se realiza el desbaste de sólidos de mediano y de gran tamaño mediante una reja de limpieza manual, seguido de dos sedimentadores convencionales que se encargan de separar las partículas suspendidas presentes en el agua; en una tercera etapa se tienen dos filtros lentos de arena en donde se eliminan microorganismos como bacterias, protozoos, virus y algas, y por último, se tienen 3 lechos de secado para facilitar el manejo y disposición final de los lodos que provienen del tanque de sedimentación. Las unidades de tratamiento descritas se encuentran plasmadas en el plano presentado en el Anexo 6.
- Con la propuesta de la planta de tratamiento se reduce la turbiedad de 74.05 UNT a 8.89 UNT, la DBO de 264.37 mg/l a 55.52 mg/l, los sólidos suspendidos de 115.23 mg/l a 20.12 mg/l y los coliformes fecales de 24303.34 UFC/100 ml a 6075.84 UFC/100 ml, dando como resultado una eficiencia promedio del sistema de tratamiento del 81 %, que es un valor apropiado para las unidades de tratamiento propuestas.

- La planta de tratamiento sugerida es factible puesto que se ha comprobado con los porcentajes de remoción teóricos, que los niveles de contaminación bajaron en un porcentaje considerable y cumplen con los límites permisibles para las descargas en cuerpos de agua dulce establecidos por la normativa ambiental TULSMA.

5.2. Recomendaciones

- Debido a que el río Chibunga está rodeado de asentamientos poblacionales dedicados a la agricultura y ganadería es conveniente realizar la caracterización física, química y microbiológica respectiva para determinar la idoneidad del agua para este tipo de uso.
- Al implementar la Planta de Tratamiento sugerida, la calidad del agua del rio Chibunga se verá mejorada, sin embargo, para garantizar que el río tenga una baja carga contaminante es necesario incorporar una planta de tratamiento en los sectores donde existan descargas a este cuerpo de agua.
- Es importante hacer un seguimiento a la descarga después del tratamiento para verificar si los parámetros mantienen las características esperadas y cumplen con la normativa ambiental TULSMA.
- En base a las necesidades futuras de la población, se puede mejorar el sistema de tratamiento, potenciándolo o incrementando nuevas unidades de tratamiento como la desinfección.

REFERENCIAS

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2018). *Standard Methods*. Obtenido de https://www.standardmethods.org/

Auge, M. (2007). *Agua Fuente de Vida.* Obtenido de https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/Agua-fuente-de-vida.pdf

Cerezo, J. (15 de Junio de 2011). *Estación Depuradora de Aguas Residuales.* Barcelona. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12885/PFC.pdf

EMAPAR. (2008). *Estudios de los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Riobamba.*

Fernández Cirelli, A. (diciembre de 2012). *El agua: un recurso esencial* (Vol. III). Buenos Aires, Argentina. Obtenido de http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/

Giles, R., Evett, J., & Liu, C. (1994). *Mecánica de los Fluidos e Hidráulica* (3ra ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (1992). Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes.

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN]. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo.

Lahera Ramón, V. (2010). *Infraestructura Sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.* Toluca, México. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/401/40115676004.pdf

Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residules - Tratamineto, vertido y reutilización* (3ra ed., Vol. I). España: McGraw - Hill.

Ministerio de Desarrollo Económico - Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Sección II - Título C - Sistemas de Potabilización.* Bogotá.

Navarrete, D., Tinoco, L., Borodulina, T., & Cajiao, C. (2018). *Diseño, Construcción y Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR's San Agustín* (1ra ed.). Grupo Compás.

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2021). *Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano*. Obtenido de Agua: https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html#:~:text=El%

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2003). *WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE. Executive Summary of the UN World Water Development Report.* (UNESCO, Ed.) París, Francia: MUNDI-PRENSA. Obtenido de https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas. Lima.

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores. Lima.

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima.

Orozco Jaramillo, Á. (2014). *Bioingeniería de Aguas Residuales, Teoría y Diseño* (2da ed.). (ACODAL, Ed.) Bogotá, Colombia.

Pérez, J. (s.f.). *Depuración y Reutilización de Aguas Residuales para Riego*. Obtenido de https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/depuracion-y-reutilizacion-de-aguas.pdf

Rincón, A., Herrera, O., & Ortiz, M. (2014). *Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente*. Pereira.

Romero, J. (1999). *Potabilización del Agua* (3ra ed.). México DF: ALFAOMEGA.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño* (3ra ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo. (Septiembre de 2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.* Perú: Ideasamares.

Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2016). *Water Engineering Hydraulics, Distribution and Treatment* (1ra ed.). Nueva Jersey, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

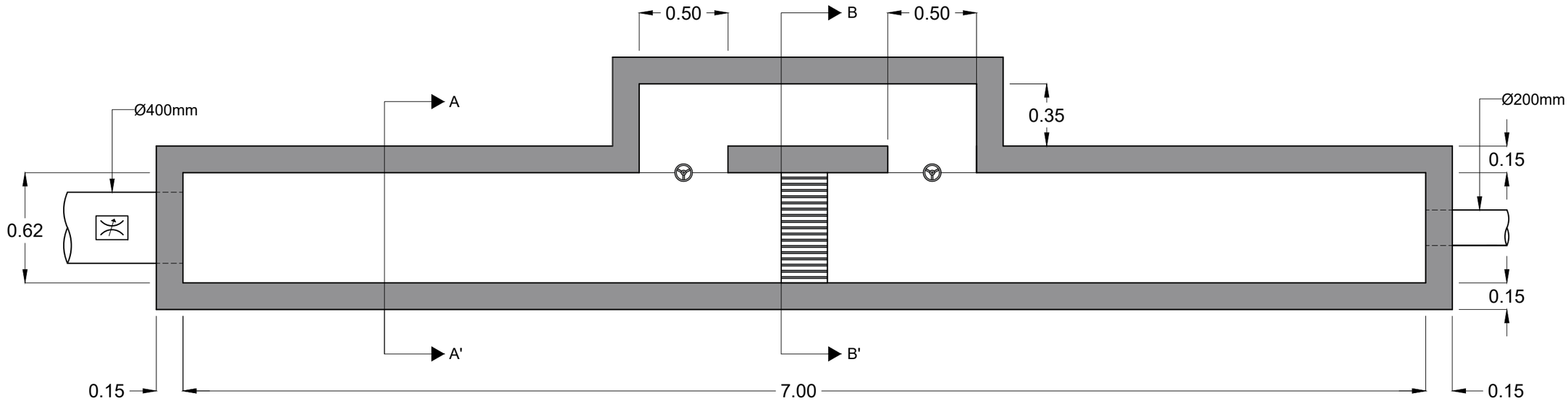
Sierra, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico.* (D. E. E.U, Ed.) Medellín, Colombia: Universidad de Medelín.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2018).

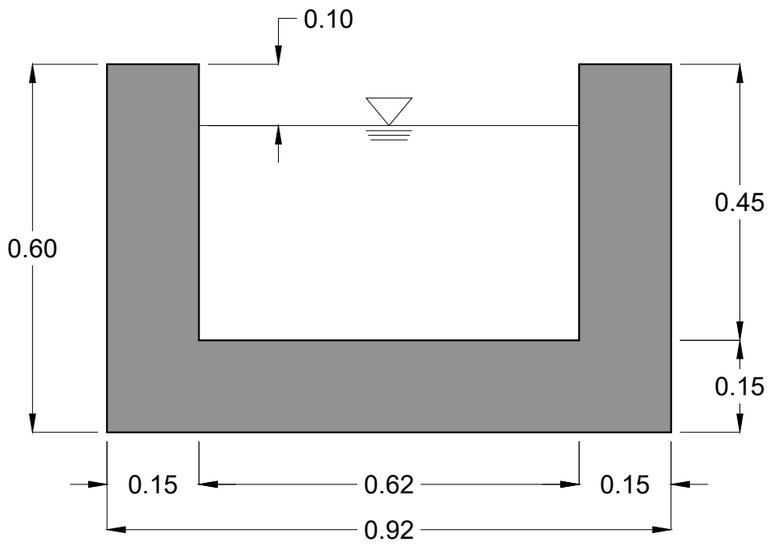
Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente [TULSMA]: Libro VI de la Calidad Ambiental. Anexo 1. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Registro Oficial Edición Especial 387 de 4 de noviembre de 2015.

ANEXOS

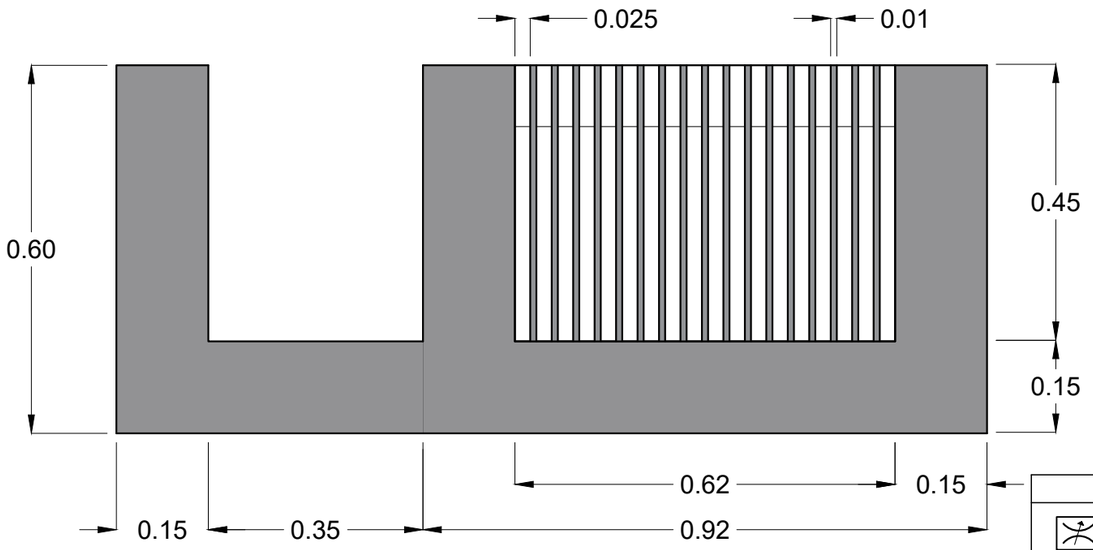
ANEXO 1



CANAL DE LLEGADA Y REJA VISTA EN PLANTA Esc. 1:25



CANAL DE LLEGADA CORTE A–A' Esc. 1:10



REJA CORTE B–B' Esc. 1:10



SIMBOLOGÍA	
	VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL
	COMPUERTA

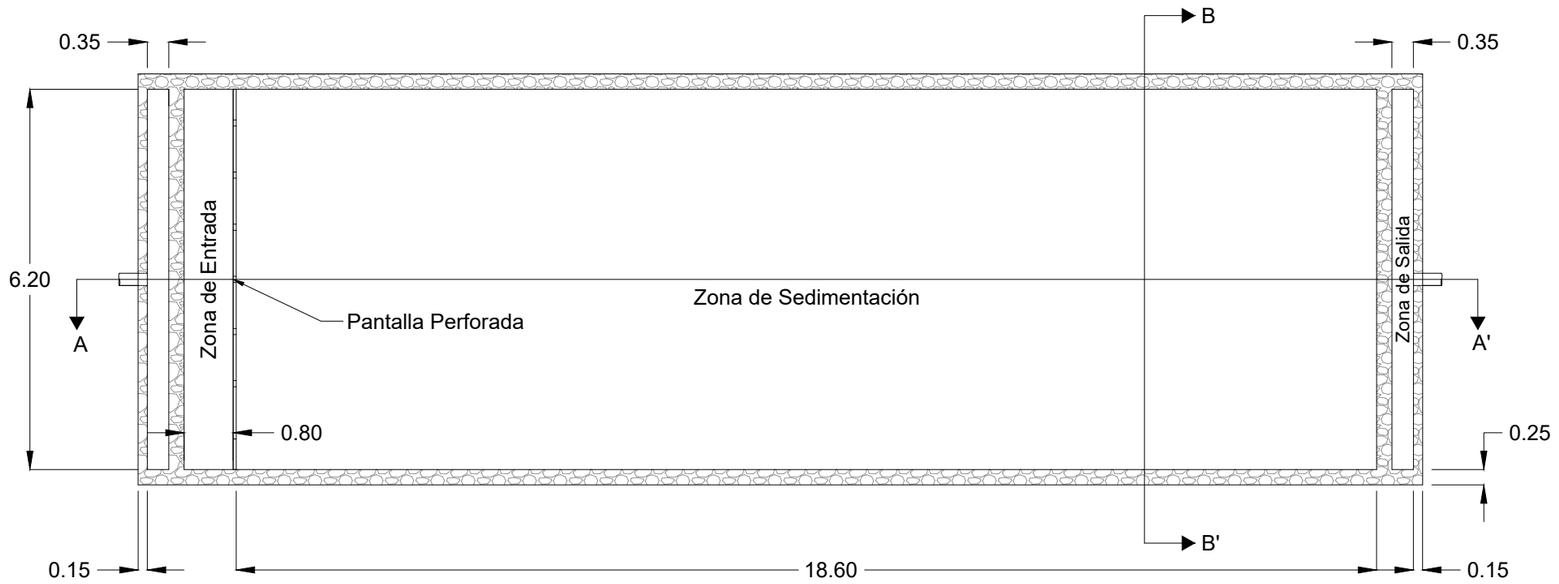
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.

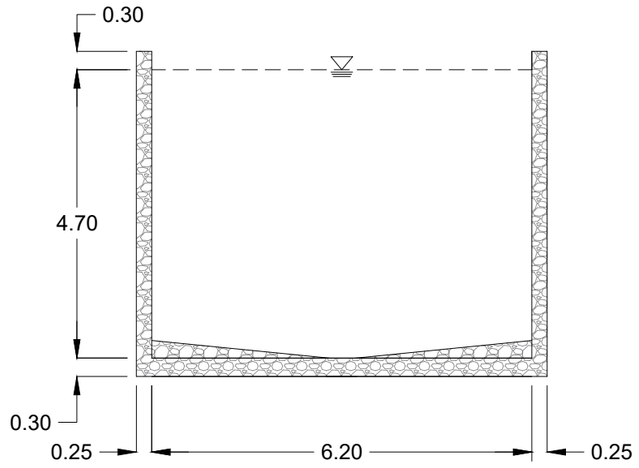
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	CANAL DE LLEGADA Y REJA		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 1 de 6	A3–01

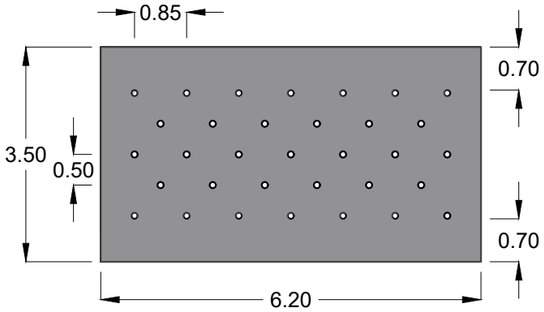
ANEXO 2



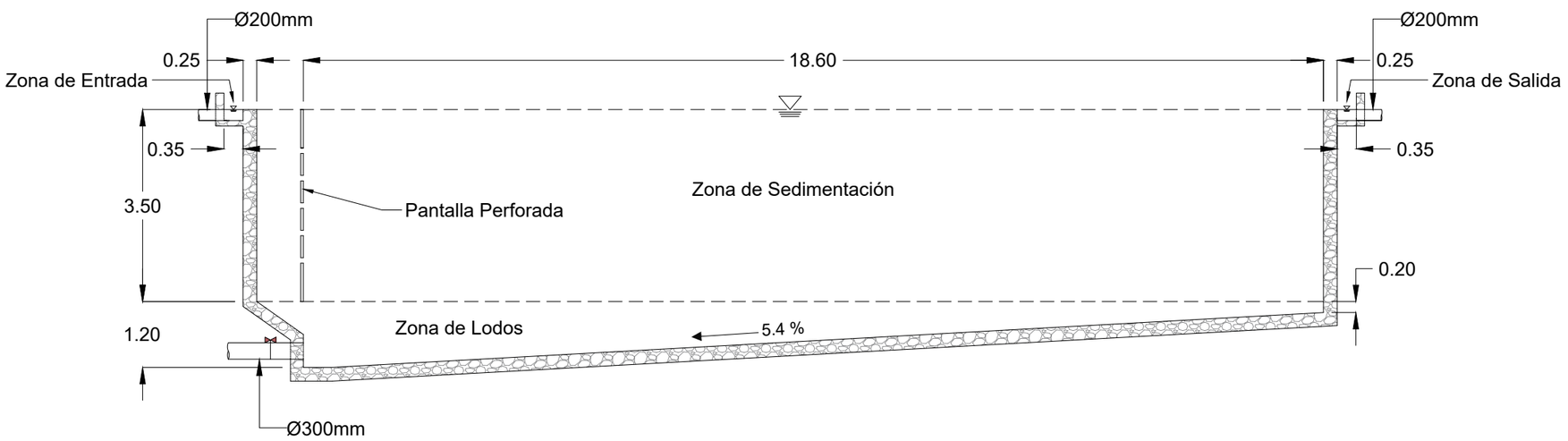
SEDIMENTADOR VISTA EN PLANTA Esc. 1:100



SEDIMENTADOR CORTE B–B' Esc. 1:100



PANTALLA PERFORADA Esc. 1:100



SEDIMENTADOR CORTE A–A' Esc. 1:100



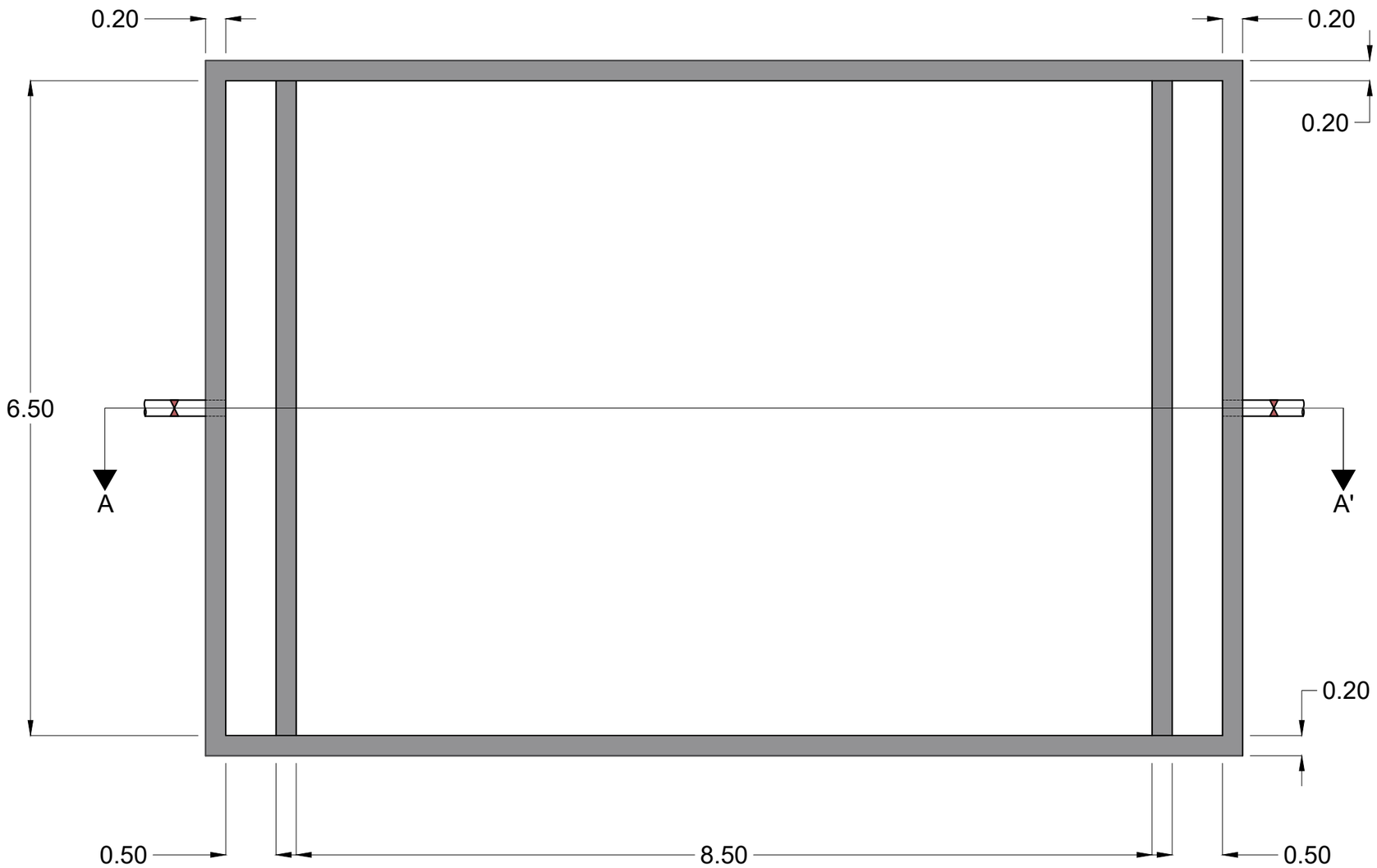
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE. 2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.

SIMBOLOGÍA	
	VÁLVULA

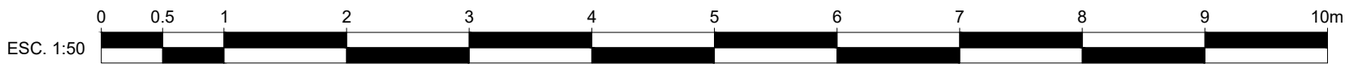
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	SEDIMENTADOR		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 2 de 6	A3–02

ANEXO 3



FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA VISTA EN PLANTA Esc. 1:50



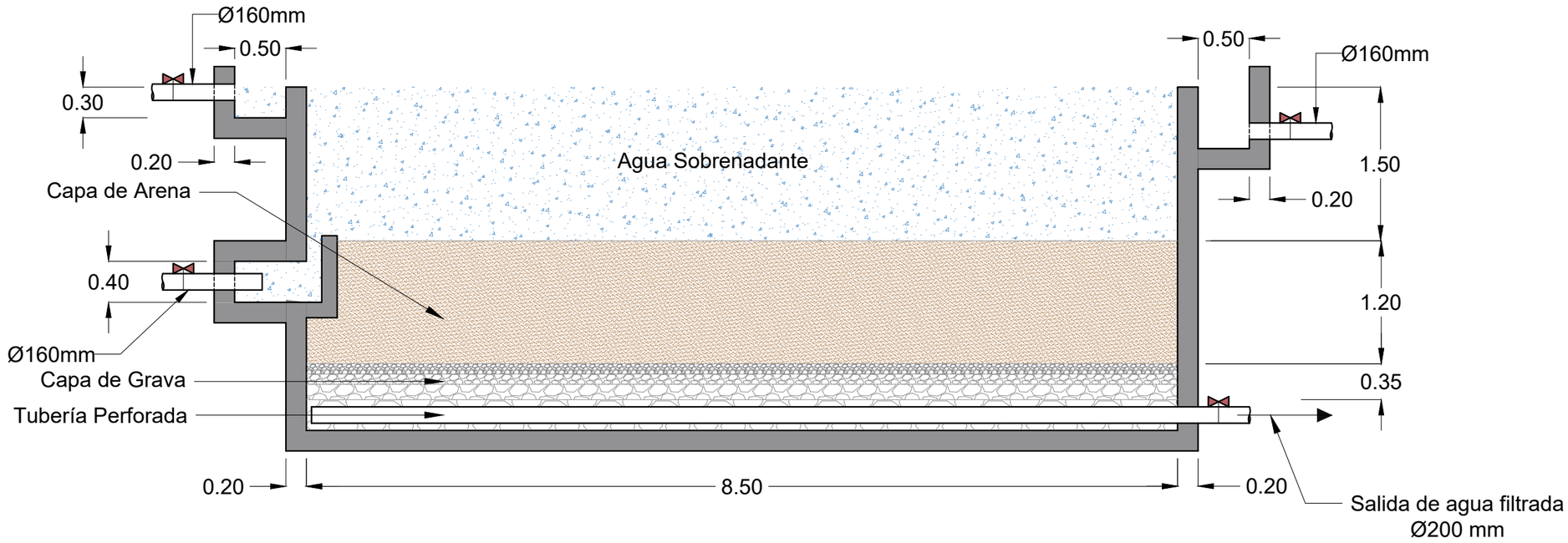
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE. 2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.

SIMBOLOGÍA	
	VÁLVULA

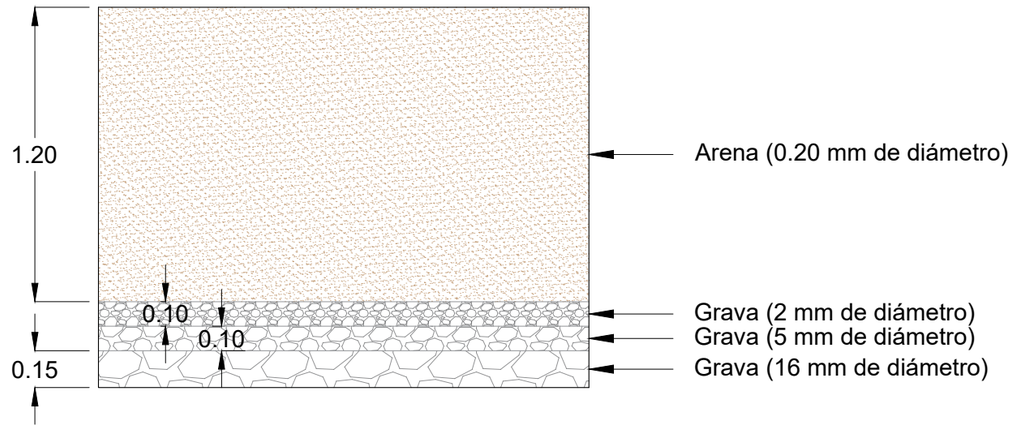
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 3 de 6	A3–03

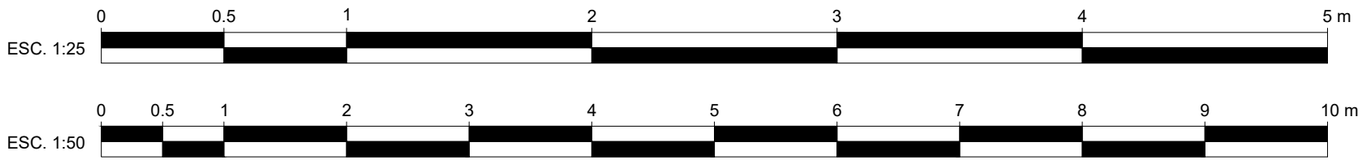
ANEXO 4



FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA CORTE A–A' Esc. 1:50



LECHO DE ARENA Y GRAVA DETALLE Esc. 1:25



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.

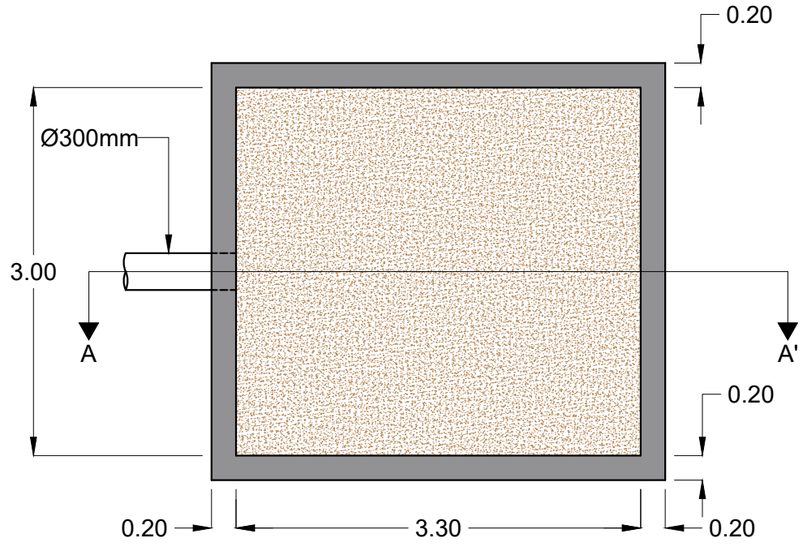
SIMBOLOGÍA

VÁLVULA

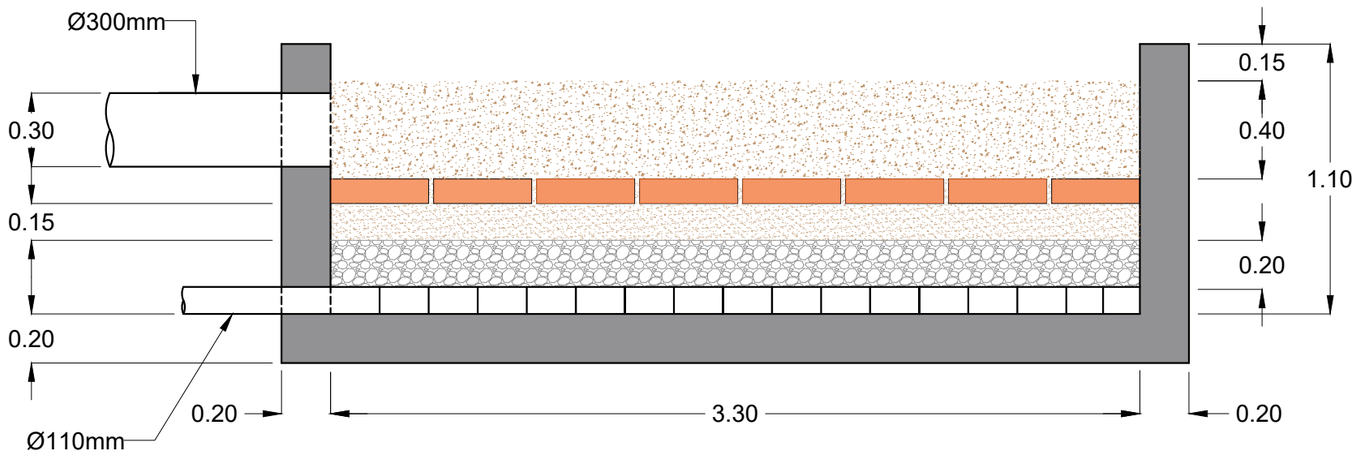
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 4 de 6	A3–04

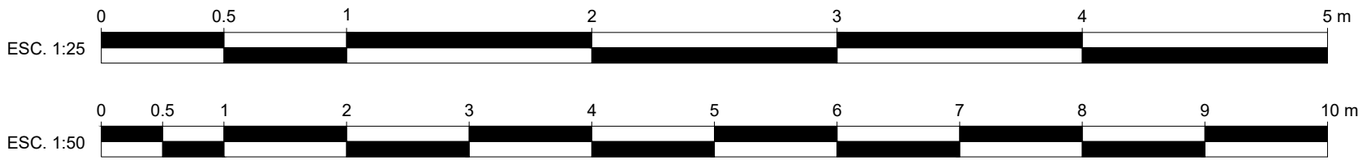
ANEXO 5



LECHO DE SECADO VISTA EN PLANTA Esc. 1:50



LECHO DE SECADO CORTE A–A' Esc. 1:25

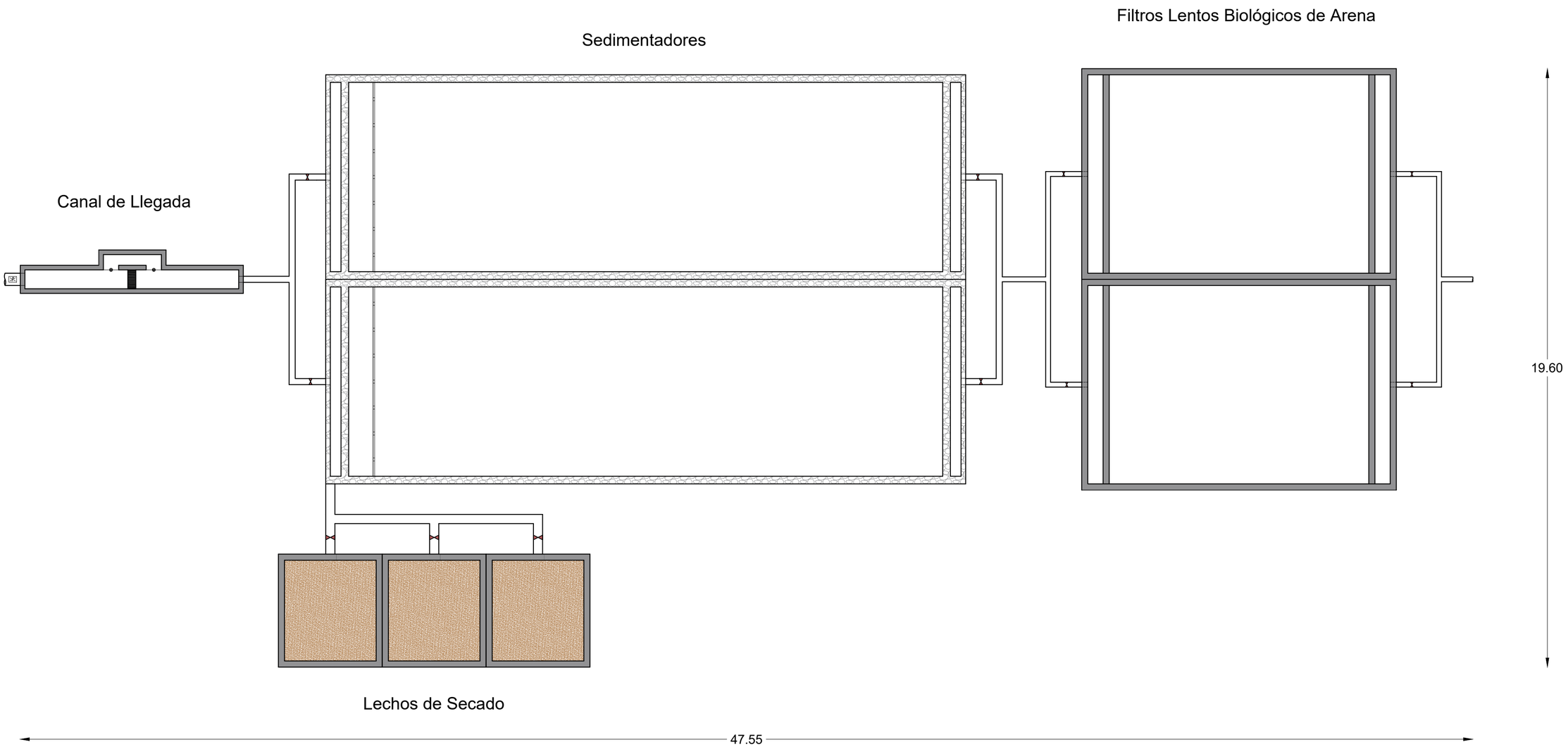


ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE. 2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.
SIMBOLOGÍA
VÁLVULA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	LECHO DE SECADO DE LODOS		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 5 de 6	A3–05

ANEXO 6



PLANTA DE TRATAMIENTO Esc. 1:100

0 0.5 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 m
ESC. 1:100

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
1.TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS (m) A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE. 2.SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN F'C=280 KG/CM2 A LOS 28 DÍAS.

SIMBOLOGÍA	
	VÁLVULA
	VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL
	COMPUERTA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

PROYECTO:	SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA EL COLECTOR BRIGADA		
CONTIENE:	PLANTA DE TRATAMIENTO		
REALIZADO POR:	SAMANTA POMBOZA	LÁMINA: 6 de 6	A2–06

ANEXO 7

