

**UNIVERSIDAD NACIONAL DOMINICANA PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**“DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN
EL SECTOR ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO DOMINGO ESTE,
PROVINCIA SANTO DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA, 2021 ”**

Sustentantes:

Ashley Andreina Guevara Soto 17-1466

Sheyla Miguelina Rojas García 17-1645

Para la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Asesora:

Ing. Amelia María Pérez Sánchez

Santo Domingo, D.N.

Agosto 2021

Dedicatoria

*Dedicamos esta tesis a **Dios**, por ser nuestro gran compañero en este largo camino. Gracias a él hemos podido realizar esta investigación con éxito, por la fortaleza y habilidad que nos brindó para afrontar todos los obstáculos que se nos presentaron y ayudarnos a superar los momentos difíciles. Gracias por no abandonarnos y escuchar nuestras peticiones, y por fin culminar nuestra tan anhelada carrera.*

Ashley Andreina Guevara Soto

Sheyla Miguelina Rojas García

Agradecimientos

*En primer lugar, a **Dios**, por ser mi principal compañero de vida, por cuidarme siempre, por hacerme una persona perseverante, constante y decidida para lograr todo lo que me propongo, por dotarme de salud, inteligencia y la sabiduría que me han permitido llegar hasta acá y cumplir uno de mis sueños más anhelados, por regalarme una maravillosa familia y todas las amistades y compañeros que han estado conmigo a lo largo de este trayecto.*

*A mis padres, **Ana Dilcia Soto Acosta** y **Juan Carlos Guevara Díaz**, por ser los pilares de mi vida, por todos sus esfuerzos y sacrificios para lograr sacarnos adelante a mi y a mi hermano, por criarme y educarme con los mejores valores y la mejor educación, por siempre enseñarme la importancia de los estudios y motivarme cada día a convertirme en una profesional de calidad, por apoyarme en cada una de mis decisiones y guiarme por el camino del bien, por todo el cariño y el amor que me brindan y por toda su inversión puesta en mi con el fin de que pudiera culminar mis estudios sin que me hiciera falta nada y con las mejores facilidades.*

*A mi hermano, **Andry Ernesto Guevara Soto**, por ser el primer ingeniero de la casa y por lo tanto por haberme ayudado con sus recomendaciones durante mi carrera, porque de él he aprendido muchísimas cosas de lo que se conoce como “la universidad de la vida”, por todos sus consejos, su apoyo y el inmenso amor que sé que me tiene.*

*A mi tía, **Orfelina Soto Acosta**, por ser una segunda madre para mi desde el primer instante de mi vida, por preocuparse tanto por mi salud y bienestar, por cuidarme siempre desde pequeña, por apoyarme y motivarme a estudiar y tener éxito en la vida y por todo el amor y la confianza que siempre me ha brindado.*

*A mi abuela, **Fredesvinda Acosta Matos**, por todo el amor y la confianza que ha puesto en mi, por siempre impulsarme y velar por mis estudios, y también por haber puesto su*

granito de arena para que este sueño sea posible.

*A mi compañera de tesis, **Sheyla Rojas García**, por ser un ser una buena amiga, por haberme recomendado para mi primer trabajo, por ser una excelente compañera, tanto de estudios como de trabajo, y por ofrecerme su ayuda siempre que la necesito.*

*A mis amigos, **Charlyn Fortuna, Amos Rodríguez, Jesús Polanco, Raymond Andújar, Rafael Cordero, Hansel Domínguez, Ezequiel Vásquez, Elio Serra, Anthony Meléndez** y **Seliné Terrero**, por haber hecho de este camino una experiencia maravillosa, por el apoyo brindado, por todas las ayudas y explicaciones, y por hacer de cada momento compartido con ustedes muy especial y digno de recordar.*

*Al **Ingeniero Carlos Paul Abreu**, por la gran ayuda que nos brindó durante el desarrollo de esta investigación, por facilitarnos muchos de sus conocimientos, por permitirnos conocer la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de La Zurza y velar desinteresadamente por que entreguemos un trabajo completo y de calidad.*

*A la empresa **Construcciones F&F**, por brindarme la oportunidad de mi primer trabajo, obtener experiencia laboral en mi futura profesión y por todos los conocimientos compartidos de parte del **Ingeniero José Antonio Frías** y el **Ingeniero Gabriel Frías Lara**,*

*A la **Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU)** y a todos los docentes que me impartieron materias, por brindarme los conocimientos para mi formación superior y que me permitieron lograr mi objetivo de convertirme en ingeniera civil.*

De todo corazón, gracias,

Ashley Andreina Guevara Soto

Agradecimientos

*En primer lugar, agradezco a **Dios**, por sobre todas las cosas, puesto que Él ha guiado mis pasos en cada momento y me ha regalado la sabiduría para seguir adelante, gracias a Él he tenido una buena trayectoria como persona, estudiante y sé que como profesional desenvolveré un buen papel.*

*Agradezco a mi madre **Xiomara García**, porque después de Dios ella es la persona más valiosa en mi vida, durante todo mi camino ha sido el soporte que ayuda a cumplir mis metas, con su amor incondicional he aprendido a crecer y a darme cuenta que para ser una buena profesional primero debo ser una buena persona.*

*A mi padre **Félix Rojas**, por inculcarme buenos valores, a mi querido hermano **César Rojas**, por su apoyo y por prestarme su carro de vez en cuando en el transcurso, a mi madrina **Mercedes Luisa Díaz**, por quererme como su hija y tenerme siempre presente.*

*Gracias a mi tía **Magda Jackeline García**, a mi primo **Ludwing Cruz**, a mi primo **Leonardo Cruz**, mi prima **Alondra Feliz**, por estar presentes y brindarme su familiaridad, a mi sobrina **Luwenny Cruz**, por hacerme sonreír con sus inocentes ocurrencias, a mi tía **Carolina Pérez** y al resto de mi familia, por apoyarme y declararme desde un principio la ingeniera.*

*Gracias a la que se ha convertido en mi mejor amiga y compañera de tesis, **Ashley Guevara**, por brindarme su apoyo incondicional, por acompañarme en la universidad, en el trabajo, en los buenos y malos momentos, me siento orgullosa del ser humano que es, la considero inteligente y trabajadora, le deseo muchos éxitos.*

*Gracias a los mejores amigos de toda mi vida **Nadia Cruz** y **Hjarol Meléndez**, por ser mis amigos desde que era una niña y darme apoyo en los momentos que los he necesitado.*

*A **Ivette Batista** y **Gabriel Cabrera**, por recibirme en su casa con amor desde que era una niña, en los inicios de mis estudios universitarios iba a comer a su casa con frecuencia porque amo lo que cocinan.*

*A **Martín Luna**, por dedicarme tiempo para salir de la rutina, por sus consejos y su apoyo incondicional.*

*A **Kandy Jiménez**, por querer a mi mamá como una madre, por ser mi amiga y por sus ocurrencias que me hacían reír todas las mañanas de camino a la pasantía.*

*Agradezco a **María del Carmen Mendoza**, por idear la carta que dió inicio a mis estudios en la universidad y darme seguimiento.*

*Agradezco a **Seaboard Corporation**, por brindarme su aporte en los gastos universitarios, gracias al gerente general, **Sr. Armando Rodríguez**, al departamento de recursos humanos y su gerente, **Sra. Clara Henríquez** y a la **Lcda. Dahían Rodríguez** por el buen trabajo.*

*A la **Ing. Shiara Ruiz** por confiar en mí, por asesorarme de manera profesional, gracias a ella realicé mi pasantía en uno de los proyectos de gran envergadura que tuvo Seaboard Corporation. Me enseñó que uno de los factores más importantes que se debe manejar en una obra de ingeniería civil es la seguridad personal que deben tener los empleados a la hora de trabajar. ¡Gracias Shiara!*

*A Construcciones FyF, al **Ing. José Antonio Frías** por brindarme la oportunidad de realizar la pasantía en su constructora y dejarme las mejores enseñanzas como ingeniero civil, al **Ing. Henry Vargas** por sus enseñanzas y dedicación, al **Ing. Gabriel Frías** porque a pesar de ser un ingeniero junior, también me dejó buenas enseñanzas.*

*Gracias al **Ing. Carlos Paul Abreu**, por ser nuestro guía en el tema de plantas de tratamientos de aguas residuales, porque desde el principio sin conocernos fue una persona servicial con nosotras, te has ganado una amiga.*

*Agradezco a **Yomira Basilio**, por todo el asesoramiento que me brindó de manera incondicional a lo largo de mi carrera. ¡éxitos colega!*

*A mis amigos de la universidad **Seliné Terrero, Elio Serra, Aylín Méndez, Anthony Meléndez, Oliver Matos, Jesús Polanco, Charlyn Fortuna, Ezequiel Vázquez, Raymond Andújar, Hansel Domínguez,** gracias por los grupos de estudios, por empujarme cuando perdía fuerzas, éxitos para todos ustedes.*

*Gracias a la **Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU),** por brindarme la oportunidad de estudiar con los mejores docentes, gracias profesores.*

Gracias,

Sheyla Miguelina Rojas García

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación e importancia	5
1.3. Preguntas de investigación	7
1.4. Objetivo de la investigación	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	7
1.5. Alcances y limitaciones	7
1.5.1. Alcances.....	7
1.5.2. Limitaciones	8
1.6. Antecedentes	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Aguas residuales	12
2.1.1. Clasificación de las aguas residuales	12
2.1.2. Características de las aguas residuales.....	13
2.2. Organismos patógenos	28
Enfermedades que se pueden transmitir por agua contaminada.....	29
2.3. Tratamiento de aguas residuales	30
2.3.1. Tipos de tratamiento de aguas residuales	30
2.3.2. Etapas del tratamiento de aguas residuales	31
2.4. Calidad de las aguas residuales requerida	35
2.5. Marco contextual	36
2.5.1. Localización del área de estudio	36
2.5.2. Ubicación geográfica	36
2.5.3. Geografía.....	36
2.5.4. Extensión territorial.....	38
2.5.5. Densidad poblacional	38
2.5.6. Población.....	38
2.5.7. Índice de crecimiento	38
2.5.8. Clima.....	38
2.5.9. Economía.....	38
2.5.10. Antecedentes históricos.....	39
2.5.11. Cultura.....	41
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	43
3.1. Enfoque de la investigación	43
3.2. Tipo de investigación	43
3.3. Procedimientos de la investigación	44
3.4. Técnicas de investigación	44
3.4.1. Entrevista no estructurada.....	44
3.4.2. Observación directa	45
3.4.3. Investigación bibliográfica.....	45
3.5. Análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua	45

3.6. Selección del tratamiento.....	46
3.7. Procedimiento de diseño.....	47
3.7.1. Estimación de la población actual	47
3.7.2. Estimación de la población futura.....	47
3.7.3. Caudal medio diario de agua potable (Qmed (Ap)).....	48
3.7.4. Coeficiente de retorno (Fr).....	49
3.7.5. Caudal medio diario de aguas residuales (Qmed (Ar)).....	49
3.7.6. Factor de mayoración (F)	50
3.7.7. Caudal máximo horario (Qmáx/h).....	51
3.7.8. Caudal mínimo horario (Qmin/h).....	51
3.7.9. Caudal por conexiones erradas (Qe)	51
3.7.10. Caudal de infiltración (Qinf)	52
3.7.11. Caudal de diseño (Qdis).....	53
3.7.12. Diseño de pretratamiento con Canaleta Parshall.....	54
3.7.13. Diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)	61
3.7.14. Dimensionamiento del lecho de secado	72
3.7.15. Diseño de la cámara de cloración.....	73
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	76
4.1. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua	76
4.2. Selección del tipo de tratamiento necesario	76
4.3. Entrada del afluente al sistema de tratamiento	77
4.4. Unidades que componen la planta de tratamiento de aguas residuales.....	77
4.5. Descripción de las unidades.....	78
4.5.1. Rejillas	78
4.5.2. Desarenadores	79
4.5.3. Canaleta Parshall.....	80
4.5.4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.....	80
4.5.5. Lecho de secado	82
4.5.6. Cámara de Cloración	83
4.6. Dimensiones de las unidades.....	83
4.6.1. Pretratamiento.....	83
4.6.2. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.....	84
4.6.3. Lecho de secado de lodos	85
4.6.4. Laberinto de cloración.....	85
4.7. Ubicación de la P.T.A.R.....	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXO A: RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL.....	97
ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULOS	99
B.1. Estimación de la población futura.....	100
B.2. Caudal medio diario de agua potable (Qmed (Ap))	100
B.3. Caudal medio diario de aguas residuales (Qmed (Ar)).....	100
B.4. Factor de mayoración (F)	100
B.5. Caudal máximo horario (Qmáx/h).....	100
B.6. Caudal mínimo horario (Qmin/h).....	100
B.7. Caudal por conexiones erradas (Qe).....	101

B.8. Caudal de infiltración (Qinf)	101
B.9. Caudal de diseño (Qdis)	101
B.10. Diseño de pretratamiento con Canaleta Parshall	102
B.12. Diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente	104
B.13. Dimensionamiento del Lecho de Secado	112
B.14. Diseño de la cámara de cloración	112
ANEXO C: PLANO DEL ALCANTARILLADO SANITARIO DEL ENSANCHE OZAMA	116
ANEXO D: PLANOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	118
ANEXO E: ILUSTRACIONES DE VISITA DE CAMPO.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición típica de las aguas residuales domésticas.....	28
Tabla 2: Valores máximos permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales.....	35
Tabla 3: Eficiencias típicas de remoción	47
Tabla 4: Dotación por tipo de proyecto	49
Tabla 5: Normas de diseño recomendadas para desarenadores horizontales.....	54
Tabla 6: Rango de caudales para canaletas Parshall con flujo libre.....	55
Tabla 7: Cantidades de sólidos arenosos encontradas en aguas residuales en América Latina, India y los EE.UU.	57
Tabla 8: Normas de diseño para rejillas manuales	59
Tabla 9: Criterios de diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) que tratan el agua residual doméstica.....	62
Tabla 10: Resumen de los principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores RAFA que tratan el agua residual doméstica	62
Tabla 11: Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA de una altura de 4 metros para el tratamiento de aguas residuales domésticas	62
Tabla 12: Directrices para determinar el área de influencia de los distribuidores de flujo en un Rafa.....	67
Tabla 13: Resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua residual doméstica del Ensanche Ozama, según analítica realizada por GESA LAB (ver ANEXO I).....	76
Tabla 14: Parámetros de diseño	101
Tabla 15: Parámetros para el diseño del RAFA.....	104

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Situación del tratamiento de las aguas residuales Marzo 2021	4
Ilustración 2: Mapa general de República Dominicana	37
Ilustración 3: Área de estudio	37
Ilustración 4: Una canaleta Parshall al extremo de un desarenador rectangular.....	54
Ilustración 5: Dosificación de cloro vs. Cloro residual	75
Ilustración 6: Configuración de un RAFA seguido de una cámara de cloración	77
Ilustración 7: Instalación recomendada de rejilla, desarenador horizontal con dos cámaras, y canaleta Parshall para el control de velocidad y medición de caudal	78
Ilustración 8: Dibujo esquemático de un reactor anaerobio de flujo ascendente	82
Ilustración 9: Terreno propuesto para la planta de tratamiento	86
Ilustración 10: Dosificación de cloro vs. cloro residual obtenido.....	114
Ilustración 11: Vista del lugar de disposición actual del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario del Ensanche Ozama	126
Ilustración 12: Río Ozama, lugar de disposición final para vertido de aguas tratadas ..	126
Ilustración 13: Penúltimo registro de la red de alcantarillado sanitario del Ensanche Ozama, lugar de toma de muestras del agua	127
Ilustración 14: Vista del interior del registro del alcantarillado sanitario	127
Ilustración 15: Junto a Deivi Padilla, recolector de las muestras de agua residual	128
Ilustración 16: Deivi Padilla mientras tomaba las muestras del agua residual	129
Ilustración 17: Deivi Padilla mientras realizaba algunos análisis in situ	130
Ilustración 18: En nuestra visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza	130
Ilustración 19: Imagen de un desarenador horizontal en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza.....	131
Ilustración 20: Canaleta Parshall seguida de una cámara de repartición en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza	132
Ilustración 21: Canal de cloración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza	133
Ilustración 22: Junto al Ing. Carlos Paul Abreu, en nuestra visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza.....	134

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio, que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio ambiente puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química o energía.

“Las aguas residuales son un foco de infección por contener heces, residuos médicos, pesticidas agrícolas y sustancias químicas potencialmente tóxicas”, asegura Pablo Alcalde, responsable de Agua, Saneamiento e Higiene de Acción contra el Hambre. La descarga de aguas residuales domésticas, industriales, agrícolas y pecuarias sin tratamiento provoca la contaminación de los cuerpos de agua receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas. Esta descarga de aguas residuales de origen urbano proviene de viviendas, edificios públicos y de la escorrentía urbana que se colecta en el drenaje.

Las fuentes de agua (ríos, acuíferos, lagos, mar), han sido incapaces por sí mismas para absorber y neutralizar esta carga contaminante, y por ello estas masas de agua han perdido sus condiciones naturales de apariencia física y su capacidad para sustentar una vida acuática adecuada, que responda al equilibrio ecológico que de ellas se espera para preservar los cuerpos de agua. Como resultado, pierden aquellas condiciones mínimas que les son exigidas para su racional y adecuado aprovechamiento como fuentes de abastecimiento de agua, como vías de transporte o fuentes de energía.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir las aguas negras proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso. Esto obliga a

satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado.

La presente investigación mostrará el “Diseño de planta de tratamiento de agua residuales en el sector Ensanche Ozama, municipio Santo Domingo Este, República Dominicana, 2021” un tema importante de tratar, debido a los altos niveles de contaminación que producen las aguas residuales depositadas en el Río Ozama. La misma consta de 4 capítulos:

En el primer capítulo colocamos el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, los antecedentes, entre otras informaciones.

En el segundo capítulo colocamos el marco teórico, en ese espacio se desarrollan los conceptos e informaciones que hacen referencia a la investigación. En el tercer capítulo llamado marco metodológico, se desglosa el diseño de la investigación, las técnicas y los métodos utilizados para la elaboración del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. En el cuarto y último capítulo se presentan los resultados obtenidos y al mismo tiempo sus análisis.

Luego, se redactan las conclusiones y recomendaciones, respondiendo a los planteamientos establecidos y dando alternativas de operación del proyecto, finalmente, se presentan informaciones adicionales para respaldar la investigación, tales como los anexos, en ellos se encuentran los resultados de los análisis realizados al agua residual del sector, fotos de la toma de muestra de dichos análisis, fotos de nuestra visita al proyecto de planta de tratamiento más grande que tiene la República Dominicana, entre otros.

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El agua es el recurso natural y vital elemento más importante del planeta Tierra para la existencia del hombre, los animales y el medio ambiente. Este recurso es un derecho útil para la humanidad, pero también es un deber y una responsabilidad de cada ser cuidarla, mantenerla y conservarla tanto para su beneficio, como el de las futuras generaciones. (Pineda, J. 2020)

La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente. Ya logrado este objetivo, surge otro no menos importante que consiste en la adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastorno del medioambiente. (Rodríguez, H. 2017)

En 1968 el Gobierno de Santo Domingo y el Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA) encomendaron a la Corporación Hydrotechnic Consulting Engineers a realizar un Plan Maestro para los alcantarillados pluvial y sanitario del Distrito Nacional y áreas vecinas.

Este plan fue uno de los primeros estudios realizados sobre el sistema de alcantarillado de la ciudad de Santo Domingo. El estudio encontró un sistema de alcantarillado deficiente, con problemas de mantenimiento; que no cubría todas las áreas pobladas de la ciudad; por lo que la primera acción recomendada en este plan fue la expansión del sistema actual. El estudio analizó tres opciones para evacuar las aguas negras de la ciudad proyectadas hasta el año 2000. Todas las opciones estudiadas eliminaban la descarga de aguas negras en los ríos de que rodean la ciudad, optando por conducir los flujos hacia el Mar Caribe. La opción seleccionada dividía la ciudad en dos zonas, este y oeste, usando como referencia el Río Ozama; donde cada zona tendría un emisario marino para sus

caudales. Este plan sólo comprendía el transporte de caudales a través de la ciudad, y no realizó ningún diseño de plantas de tratamiento secundarias, optando por sólo mencionar la posibilidad de que serían necesarias en un futuro. A pesar de que el estudio hubiera sido una buena base para la organización del sistema de alcantarillado, ninguna parte del plan fue ejecutada. (Hazen & Sawyer, 2016)

La situación actual de los servicios de alcantarillado sanitario es que, apenas están en capacidad del 26.83% de la población que reside en el Distrito Nacional y la zona urbana de la provincia de Santo Domingo. De lo cual, la CAASD cuenta con la capacidad para brindar tratamiento solo al 24.22% de las aguas que se recolectan a través del sistema de alcantarillado. Estas redes representan el 22.19% de las redes principales del sistema de agua potable, para un porcentaje real de agua tratada de 6.5 %.

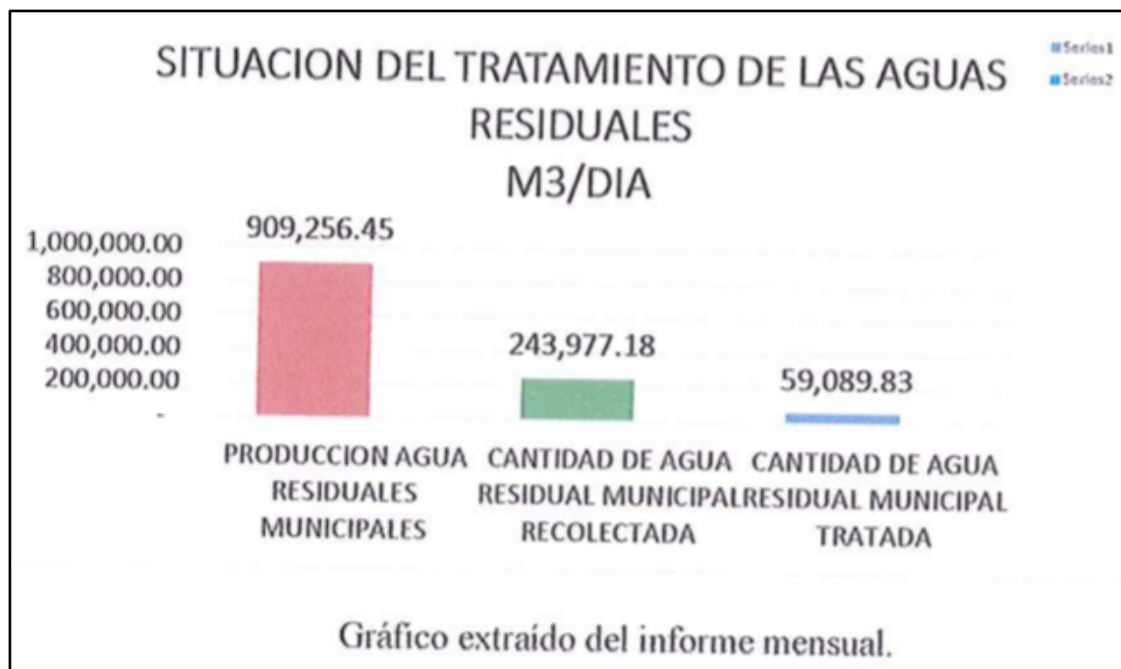


Ilustración 1: Situación del tratamiento de las aguas residuales Marzo 2021

Fuente: (Pascual, J. CAASD, 2021)

En la provincia de Santo Domingo, en la mayoría de los casos, el medio de disposición final de las aguas residuales es simplemente su descarga, sin ningún tipo de tratamiento,

en los cuerpos de agua que circundan la ciudad, es decir, los Ríos Haina, Isabela y Ozama, el acuífero y el Mar Caribe.

Uno de los principales factores que influyen negativamente en la calidad de las aguas del Río Ozama, es la descarga de aguas negras provenientes de los sectores a su alrededor.

En el caso del sector Ensanche Ozama, el cual ha experimentado en los últimos años un aumento poblacional de gran envergadura, creando una mayor demanda de agua potable y de producción de aguas residuales, cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario antiguo pero no dispone de una planta de tratamiento y como consecuencia estas aguas residuales recolectadas son vertidas directamente al Río Ozama y al subsuelo.

Las aguas de desecho dispuestas en una corriente superficial (lagos, ríos, mar) sin ningún tratamiento, ocasionan graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y la fauna. Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas, para evitar que su disposición cause los problemas antes mencionados.

(Rodríguez, H. 2017)

Es por esta problemática que se ha propuesto este diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en el sector Ensanche Ozama ,con el objetivo de tratar y disponer las aguas con el menor impacto, tanto para el cuerpo receptor como para la población de la zona.

1.2. Justificación e importancia

En medida que el crecimiento urbano de una comunidad se acelera, provoca un aumento en la demanda de agua potable, por lo tanto, se incrementa la producción de aguas residuales y estas en su mayoría no disponen de un lugar de disposición final adecuado, por lo que, son descargadas en ríos y subsuelos sin ser tratadas previamente. Es necesario intervenir en esta problemática, porque las aguas que se descargan en los ríos dañan la

calidad de estos, destruyendo ecosistemas y causando graves enfermedades. En cuanto a las aguas residuales que son descargadas en pozos sépticos y en lagunas interfieren en la calidad las aguas subterráneas, contaminan el subsuelo y ocasionan malos olores.

La eliminación no regulada de las aguas residuales y los desechos sólidos están creando problemas que pudieran llegar a ser irreversibles. Por tal razón se necesita encontrar y aplicar alternativas de depuración eficiente, autónoma y económicamente viables, y así poder disponerlas de forma adecuada en su lugar de descarga.

El sector Ensanche Ozama, es uno de los tantos que ha crecido demográficamente en los últimos años, esto ha provocado el aumento de aguas residuales producidas por sus habitantes, en consecuencia, por ser uno de los tantos que se encuentra en las cercanías del Río Ozama, estas aguas son vertidas allí sin un previo tratamiento, contribuyendo así a la contaminación del río.

Proponer el diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales en el Ensanche Ozama es de vital importancia, ya que las aguas servidas producto de sus habitantes, son descargadas en el río más contaminado de la Republica Dominicana. Esta propuesta de P.T.A.R. se hace con el fin de mitigar los impactos negativos que causan las aguas residuales al río y al medio ambiente que lo rodea.

Mediante esta investigación buscamos que el sistema de alcantarillado lleve sus aguas al lugar correcto para ser tratadas, reducir enfermedades causadas por la contaminación debida a las aguas residuales, preservar la vida del río y su fauna, y con todo esto mejorar las condiciones de vida del entorno.

1.3. Preguntas de investigación

- Cúal es el grado de contaminación del agua residual que proviene del sector Ensanche Ozama?
- Qué tipo de PTAR sería más conveniente para tratar las aguas residuales del sector Ensanche Ozama?
- Cuál sería la ubicación ideal para construir la P.T.A.R.?

1.4. Objetivo de la investigación

1.4.1. Objetivo General

- Presentar el diseño de una planta de tratamiento que recolecte las aguas residuales del sector Ensanche Ozama en el municipio Santo Domingo Este, Provincia Santo Domingo, República Dominicana.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el grado de contaminación del afluente.
- Hacer un estudio investigativo acerca del nivel de tratamiento que requiere el agua de la zona, antes de ser vertida en el Río Ozama.
- Establecer ubicación más conveniente para construir la P.T.A.R.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

- Se realizarán análisis de calidad del agua para conocer el grado de contaminación y la necesidad de tratamiento del agua residual del Ensanche Ozama.
- Se presentarán especificaciones técnicas y memoria de cálculo del diseño de la planta de tratamiento.
- Se propondrá un lugar ideal para la ubicación de la planta de tratamiento.

1.5.2. Limitaciones

- En esta investigación no se realizarán evaluaciones de impacto ambiental.
- No se realizarán estudios de suelo.
- No se realizará un diseño estructural de la obra.
- No se realizarán cálculos de presupuesto de la obra.
- Debido a la pandemia de COVID-19 por la que estamos atravesando actualmente, la mayoría de nuestras actividades fueron realizadas de manera virtual, por lo que nos vimos restringidas a efectuar una investigación más exhaustiva del tema.

1.6. Antecedentes

Después de haber consultado diversos trabajos de investigaciones en instituciones universitarias y gubernamentales, detectamos que no existe una propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales para el sector. Sin embargo, pudimos observar que sí existen investigaciones que se relacionan con el tema de investigación presentado.

Nacionales:

- En el 2015, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), plantearon un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el Sector de Villa Verde, Santiago de los Caballeros, los estudiantes Alain Pinedo y Julio Almonte, el cual consistió en el diseño de una planta de tratamiento sobre el Río Gurabo con el fin de minimizar la contaminación causada por las aguas residuales que son vertidas y mejorar la calidad del agua del acuífero. Para el estudio se establecieron los objetivos de: realizar un diagnóstico de la problemática existente en el sector de Villa Verde, determinar el grado de contaminación del afluente, hacer un estudio investigativo acerca del nivel de tratamiento que requiere el agua del Río Gurabo e identificar

el tipo de P.T.A.R. que sería más efectiva para la zona. De acuerdo a las condiciones del lugar se determinó que era necesario un tratamiento terciario para el saneamiento de las aguas, el cual se obtiene mediante un sistema combinado de tratamientos R.A.F.A, F.A.F.A, Cloración y Bio-filtro. Sin embargo, conforme a los resultados obtenidos se concluyó en que el tipo de tratamiento para verter el agua nuevamente al río con los niveles de calidad adecuados. Se recomendó, en función de respetar el periodo de vida útil del proyecto, realizar una evaluación del sistema de tratamiento después de 20 años, necesario para estas aguas es uno de tipo biológico y que, mediante este proceso de saneamiento, serán removidos en un 85% los agentes contaminantes del agua, lo que será suficiente implementar un plan de educación para concientizar a la población acerca de la importancia y del cuidado de los recursos naturales y diseñar una zona de recreación para los moradores, como parte del plan de mitigación.

- Los ingenieros Alexis Reyna, Carlos Paredes, Gustavo Domínguez y Engels Santos, en el 2015 realizaron un estudio de la Calidad del Agua Subterránea del Sector Ensanche Ozama para la escuela de ingeniería civil del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), determinaron que calidad del agua subterránea en el sector ensanche Ozama se ve amenazada por agentes de contaminación dispersos y focales a raíz del crecimiento poblacional que experimenta el sector, derivando en mayor necesidad de agua potable y mayor producción de aguas residuales. Se evidencia un aumento de construcciones de pozos para abastecimiento de agua potable del acuífero subyacente al sector y la construcción de cámaras sépticas con su correspondiente pozo filtrante para el tratamiento de las aguas residuales producidas. Esto ocasiona mayor daño ambiental a las aguas subterráneas de la parte oriental de la provincia Santo

Domingo acentuando el deterioro de las aguas subterráneas debido a las aguas residuales.

Internacionales:

- En la escuela de ingeniería civil de la Universidad Católica de Colombia, (2016) se presentó una Propuesta de Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residual por Zanjón de Oxidación para el Casco Urbano del Municipio de Vélez –Santander. Sustentado por los estudiantes Lady Galeano y Vivian Rojas, sometiendo el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia RAS 2000, utilizaron dos tipos de tratamientos, tratamiento primario (asentamiento de sólidos) y tratamiento secundario (tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentables) y finalmente aplicación de lecho de lodos, donde la selección para cada etapa de tratamiento dependió de las necesidades, características de la zona y costos óptimos para su realización, operación y mantenimiento. Se puede concluir que la planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación, brindará grandes beneficios como su eficiencia de operación en cuanto al uso de energía dando como resultado la reducción de consumo de electricidad; así mismo, mejoraría el saneamiento básico de la región y la calidad de vida de los habitantes disminuyendo las enfermedades presentadas por las aguas no tratadas.
- España (2019), Alicia Gómez, Francisco Arrieta, Francisco del Molino, Julián Escudero, Carlos Lardín, Pedro Simón, Joao Gouveia, Thiago do Nascimento y Mar Peña, realizaron un estudio del Tratamiento Anaerobio con Reactor UASB de Membrana (ANMBR) de Agua Residual Urbana en la Comunidad de Murcia y de su Potencial Aprovechamiento para Regadío, Plantearon que las ventajas que presentan los tratamientos anaerobios, frente a los convencionales de fangos

activos, pasan por la reducción en la producción de lodo por una muy baja tasa de crecimiento celular, no hay consumo en energía de aeración y, además, prácticamente el 90% de la materia orgánica biodegradable se transforma en biogás rico en metano (CH₄). Consideraban que una posible solución a este problema se presentaba con el empleo de una membrana que permitiría la retención de la biomasa en el reactor, consiguiendo con ello independizar el tiempo hidráulico de residencia del tiempo de retención celular. En este sentido, la tecnología AnMBR (combinación de reactor anaerobio con membrana) se presentaría como una opción de tratamiento que podría ser técnica y económicamente viable en aguas urbanas de baja carga y en el rango psicrófilo de temperatura. Concluyendo que La viabilidad técnica de la tecnología viene marcada por dos factores principalmente: la temperatura y el ensuciamiento de las membranas. Con respecto a la temperatura, cuando alcanza valores inferiores a 15 °C la actividad biológica se reduce afectando negativamente a la degradación de materia orgánica y a la producción de biogás. En relación al funcionamiento de la membrana, viene marcado significativamente por el ensuciamiento que produce la presencia de elevadas cantidades de sólidos en el reactor que llevan a un aumento de las tuberías y hacen más difícil la operación de la instalación. En cuanto a la calidad del permeado y su posible aplicación en suelo agrícola, la planta piloto cumple con los requerimientos de calidad exigidos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad está afectada negativamente por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. (Zarza, L., 2021)

En este sentido, las aguas residuales son todas aquellas aguas que han sido usadas en los entornos domésticos y urbanos, en las industrias y ganaderías, así como las aguas naturales que, por accidente o mala praxis, se hayan mezclado con las anteriores. De este modo, nos encontramos con que las aguas residuales son agua pero, además de agua, también contienen una gran cantidad de elementos contaminantes, ya sean sólidos o disueltos en la misma agua. (Arriols, E., 2018)

2.1.1. Clasificación de las aguas residuales

Según su origen, las aguas residuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Aguas residuales domésticas.** Esta clase de aguas residuales son aquellas que tienen su origen en viviendas y están producidas en esencia por el metabolismo humano y por las actividades que se llevan a cabo en el ámbito doméstico. Se trata de un agua residual que es especialmente alta en contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables, así como en bacterias. (HIDROTEC, 2021) (Arriols, E., 2018)
- **Aguas residuales industriales.** Dentro de este tipo de aguas residuales se encuentran todas aquellas que han sido vertidas desde un lugar con finalidad comercial o industrial. Este tipo de agua residual se caracteriza por contener un elevado nivel de componentes contaminantes del tipo de metales pesados, entre

los que se encontrarían el plomo, el níquel, el cobre, el mercurio, o el cadmio entre muchos otros. Así mismo, también se trata de aguas residuales que contienen cantidades ingentes de elementos químicos artificiales de una variedad amplísima. (HIDROTEC, 2021) (Arriols, E., 2018)

- **Aguas residuales de la agricultura y la ganadería.** Están relacionadas con las aguas que proceden de una explotación agrícola y ganadera. Incluyen contaminantes de origen orgánico y microorganismos. (HIDROTEC, 2021)
- **Aguas residuales derivadas de la lluvia ácida.** La lluvia ácida es un tipo de agua residual suele pasar inadvertida para la mayoría de las personas. A pesar de ello, constituye un verdadero ejemplo de agua residual generada por la acción que el ser humano tiene en la atmósfera. Este tipo de agua residual se produce por efecto de la lluvia al arrastrar los contaminantes presentes en la atmósfera, especialmente en los núcleos urbanos, que llegan al suelo y lo contaminan. (Arriols, E., 2018)
- **Aguas residuales urbanas.** Hacen referencia a aquellas aguas que tienen aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales. También aquellas aguas que incluyen las aguas de corriente pluvial. (HIDROTEC, 2021)

2.1.2. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales son aguas con impurezas procedentes de vertidos de diferentes orígenes, domésticos e industriales, principalmente. De esta forma, tenemos que las aguas residuales pueden contener elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales. Las aguas residuales poseen los siguientes tipos de características:

- Físicas
- Químicas
- Biológicas (ECOMAR, 2020)

2.1.2.1. Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

- **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

- **Color**

El color se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales pueden añadir colores diferentes según sean los compuestos químicos que utilicen en su proceso productivo. (Metcalf & Eddy, 1996)

- **Turbidez**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión; mide la claridad del agua. (Gonzales, C., 2011)

- **Olor**

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. (Metcalf & Eddy, 1996)

- **Densidad**

La densidad de un agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en Kg/m³. Es una característica física importante del agua residual, dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad de fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua limpia a la misma temperatura. (Rodríguez, M., 2005)

- **Sólidos Totales**

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

- **Sólidos suspendidos**

Son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos. Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables, son una

medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

- **Sólidos filtrables**

Esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre 10⁻³ y 1 micra.

Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

(Gutiérrez M. B., 2018)

2.1.2.2. Características químicas

Los componentes químicos más comunes en las aguas residuales son orgánicos (carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles, etc.); inorgánicos (alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, PH, fósforo, contaminantes prioritarios y azufre); gases (sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno). (ECOMAR, 2020)

- **La materia orgánica**

Son fracciones relevantes que se dan de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a esto se refleja como la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua.

La Materia Orgánica está compuesta principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de

cocina e industria) y los surfactantes (detergentes). (Pulido, S., Miranda, V., Guzmán, M. & Molano, E., s.f.)

- **Proteínas**

Las proteínas los principales componentes del organismo animal. Constituidas por carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Están presentes en todos los alimentos de origen animal o vegetal cuando están crudos. La urea y las proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en un agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.

- **Carbohidratos**

Los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, compuestos todos ellos presentes en el agua residual. Los hidratos de carbono contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Algunos hidratos de carbono son solubles en agua, principalmente los azúcares, mientras que otros, como los almidones, son insolubles. Los azúcares tienen tendencia a descomponerse; las enzimas de determinadas bacterias y fermentos dan lugar a un proceso de fermentación que incluye la producción de alcohol y dióxido de carbono. Los almidones, por otro lado, son más estables, pero se convierten en azúcares por la actividad bacteriana así como por la acción de ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el carbohidrato cuya presencia en el agua residual es más importante. La destrucción de la celulosa es un proceso que se desarrolla sin dificultad en el terreno, principalmente gracias a la actividad de diversos hongos, cuya acción es especialmente notable en condiciones ácidas.

- **Aceites y grasas**

Las grasas animales y los aceites son compuestos de alcohol (ésteres) o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones. Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, margarina y aceites y grasas vegetales. Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla.

- **Agentes tensoactivos**

Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Durante el proceso de aireación del agua residual se concentran en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable.

- **Compuestos orgánicos volátiles**

Se consideran compuestos orgánicos volátiles aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100 °C, y/o una presión de vapor que 1mm Hg a 25 °C. el vertido de estos compuestos a la red de alcantarillado y a las plantas de tratamiento, especialmente a las obras de cabecera de planta, tiene especial importancia por cuanto puede afectar directamente a la salud de los trabajadores tanto de la red de alcantarillado como de las plantas de tratamiento.

- **Pesticidas y productos químicos de uso agrícola**

Los compuestos orgánicos que se hallan a nivel de traza, tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos de uso agrícola, son tóxicos para la mayor

parte de las formas de vida y, por lo tanto, pueden constituir peligrosos contaminantes de las aguas superficiales. Estos productos no son constituyentes comunes de las aguas residuales, sino que suelen incorporarse a las mismas, fundamentalmente, como consecuencia de la escorrentía de parques, campos agrícolas y tierras abandonadas. Las concentraciones de estos productos químicos pueden dar como resultado la muerte de peces, contaminación de la carne del pescado (con lo que reduce su valor nutritivo), y el empeoramiento de la calidad del agua suministrada. Muchos de estos compuestos químicos están catalogados como contaminantes prioritarios. (Metcalf & Eddy, 1996)

Medida del contenido orgánico

Para valorar la materia orgánica se utilizan diversos parámetros, principalmente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO):

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Es el parámetro que más se emplea en lo que a contaminación se refiere, tanto para aguas superficiales como residuales es la DBO₅ que es la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, su determinación se relaciona con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados que se obtienen a partir de los ensayos de la DBO son empleados para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar la materia orgánica presente, diseñar las plantas de tratamiento, medir eficacia de procesos y controlar el cumplimiento de las limitaciones a las que están sujetos los vertidos, sin embargo el ensayo que se usa actualmente para determinar la DBO tiene sus limitantes y se están haciendo estudios para mejorar el análisis de este importante parámetro, mientras tanto se debe seguir de la manera tradicional.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Este ensayo se lo utiliza para efectuar la medición de materia orgánica de aguas superficiales como de las residuales, en este ensayo se usa un agente químico oxidante en medio ácido que sirve para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse. Un buen agente es el dicromato potásico que proporciona excelentes resultados, este ensayo debe hacerse a temperaturas elevadas. Es necesario utilizar un catalizador como el sulfato de plata que facilita la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos. (Zambrano, X., Saltos, X., 2009)

- **La materia inorgánica**

Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables.

Tanto aguas residuales como naturales constan de componentes inorgánicos, los cuales determinan la calidad de las mismas, las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan debido al proceso de evaporación que elimina un porcentaje del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua, existen algunos parámetros importantes que son necesarios analizar para entender mejor lo descrito anteriormente. (Zambrano, X., Saltos, X., 2009)

- **pH**

Este parámetro mide la concentración del ion hidrógeno, es de gran importancia para el caso de aguas residuales, ya que afecta la proliferación y desarrollo adecuado de la mayor parte de la vida biológica (se da en un margen estrecho y crítico de pH que oscila entre 6 y 9 unidades). Cuando la concentración del ion hidrógeno es

inadecuada se presentan dificultades para utilizar tratamientos de depuración con procesos biológicos.

- **Alcalinidad**

Está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Este parámetro es de importancia especial cuando se utilizan tratamientos químicos y cuando se quieren eliminar nutrientes por vía biológica.

- **Nutrientes**

Se refiere principalmente al nitrógeno y al fósforo que son utilizados por las formas de vida para su crecimiento. Si estos nutrientes se descargan a un cuerpo de agua pueden ocasionar el crecimiento de vida acuática indeseada que consumiría el oxígeno disuelto del agua y pondría en peligro la existencia de las poblaciones de seres vivos (proceso de eutrofización). (Pire, C., 2019)

- **Nitrógeno**

Componente principal de las proteínas y es un nutriente esencial para las algas y bacterias que intervienen en la depuración del agua residual. Puede presentarse en forma de nitrógeno orgánico, amoniacal y formas oxidadas como nitritos y nitratos. Los valores excesivamente altos de nitrógeno amoniacal (>1500 mg/L) se consideran inhibitorios para los microorganismos responsables del TAR. (Pulido, S., Miranda, V., Guzmán, M. & Molano, E., s.f.)

- **Fósforo**

El fósforo se encuentra presente en las aguas residuales domésticas principalmente como fruto de su uso en detergentes o como parte de las excreciones humanas. Es un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. No obstante,

valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua lóticos como en lagos, embalses, lagunas. (Teixeira, G., Sánchez, I., Gebara, D., Dall'Aglio, M. & Matsumoto, T., 2013) (Pulido, S., Miranda, V., Guzmán, M. & Molano, E., s.f.)

- **Metales pesados**

Debido a su naturaleza tóxica, algunos metales pesados como el cromo, cadmio, mercurio, entre otros, causan impacto negativo al ser descargados sobre el ecosistema receptor, interfiriendo además con la efectividad de los tratamientos biológicos de depuración. (Pire, C., 2019)

- **Cloruros**

Proceden de la disolución de suelos y rocas que los contienen y que están en contacto con el agua, intrusión del agua salada (zonas costeras), agua residual doméstica, agrícola e industrial.

Un alto contenido de cloruros puede dañar estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas. Las altas concentraciones de cloruro en aguas residuales, cuando éstas son utilizadas para el riego en campos agrícolas deteriora, en forma importante la calidad del suelo.

Puesto que los métodos convencionales de tratamiento de las aguas no contemplan la eliminación de cloruros en cantidades significativas, concentraciones de cloruros superiores a las normales pueden constituir indicadores de que la masa de agua receptora está siendo utilizada para el vertido de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1996)

- **Azufre**

El azufre en aguas residuales es el ion sulfato que se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para

la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen a sulfuros en los digestores de lodos, y pueden alterar el normal desarrollo de los procesos de tratamiento biológicos si la concentración de sulfuro excede los 200 mg/l. Sin embargo, estas concentraciones raramente se alcanzan.

- **Compuestos tóxicos inorgánicos**

El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico. El funcionamiento de muchas de ellas se ha visto alterado por la presencias de estos iones, hasta el extremo de provocar la muerte de los microorganismos, obligando a detener el tratamiento. (Metcalf & Eddy, 1996)

- **Gases**

El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos. Entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. Además, del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como dióxido de Carbono, resultante de la descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del azufre. Estos gases, aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes del agua residual. (Osorio, 2010)

- **El sulfuro de hidrógeno (H₂S):**

Es un gas incoloro e inflamable con un característico olor a huevos podridos – un olor nauseabundo. El ennegrecimiento de las aguas residuales y el fango

normalmente son resultado de la formación de H_2S que combinado con el hierro presente produce sulfuro ferroso. El H_2S es tóxico para las bacterias nitrificantes. Estas bacterias son altamente sensibles y si el H_2S está presente incluso en baja concentración la biomasa nitrificante puede ser aniquilada. El resultado es la pérdida de nitrificación, el aumento del nivel de amonio en el efluente final, la posible muerte de peces si el efluente final es vertido a un río sensible. (Ibérica, S., 2019)

- **Oxígeno disuelto (OD)**

Este parámetro se refiere a la cantidad disuelta de oxígeno que se encuentra en el agua. El oxígeno es esencial para que ocurra la vida. El nivel de oxígeno disuelto (OD) puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua. Si el nivel de oxígeno es bajo se pudiera inferir que hay contaminación por materia orgánica o mala calidad del agua. Por lo general, una contaminación por aguas residuales o materia fecal disminuye el oxígeno disuelto y afecta la reproducción y la vida de los organismos que allí habitan. Los niveles de OD típicamente pueden variar de 0-18 mg/l, aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 56 mg/l para sostener la diversidad de vida acuática (Martínez, 2006).

- **Metano**

Este gas resulta de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual, es un hidrocarburo combustible de gran valor energético, inodoro e incoloro. Por lo general no está presente en gran proporción en el agua residual, ya que pequeñas cantidades de oxígeno pueden resultar tóxicas y afectar a los organismos responsables de producir metano. El metano es altamente combustible y por ende tiene el riesgo de que haya una explosión, es por eso que la cámaras de inspección y empalmes de alcantarillas en donde exista la posibilidad de

acumulación de gas deberán ser aireados. En las plantas de tratamiento el metano se crea en los procesos anaeróbicos que se utilizan para la estabilización de los fangos de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1996)

2.1.2.3. Características biológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos, desde microorganismos hasta peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, provenir de contaminación por vertidos industriales o por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. (Pradillo, B., 2016)

- **Microorganismos**

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en: protistas, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos; las plantas tales como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares; los vertebrados y los invertebrados están clasificados como animales eucariotas multicelulares y los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.

- **Bacterias**

Juegan un papel fundamental en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterótrofas y autótrofas. En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas constituyen el grupo más importante, por su necesidad de compuestos

orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autótrofas y heterótrofas pueden dividirse, a su vez, en anaerobias, aerobias, o facultativas, según su necesidad de oxígeno.

La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida de las bacterias, así como la disponibilidad de nutrientes. La mayoría de los microorganismos no pueden tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4.0. el pH óptimo se encuentra entre 6.5 y 7.5. (Metcalf & Eddy, 1996)

- **Algas**

En los estanques de estabilización, son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis. Las algas pueden presentar el inconveniente de reproducirse rápidamente, debido al enriquecimiento del agua (eutrofización) y crear grandes colonias flotantes originando problemas a las instalaciones y al equilibrio del sistema.

- **Hongos**

Son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

- **Protozoos**

Son microorganismos eucariotas cuya estructura está formada por una sola célula abierta. Los protozoos de importancia para el ingeniero sanitario son las amebas,

los flagelados y los ciliados libres y fijos. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen una importancia capital, tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos. Ciertos protozoos son también patógenos.

- **Plantas y animales**

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario tienen tamaños muy variados: desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de lagos y corrientes, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, y a la hora de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.

- **Virus**

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectarán células próximas. Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. (Metcalf & Eddy, 1996)

Contaminante	Concentración Débil	Concentración Media	Concentración Fuerte
Sólidos totales (ST), mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos totales (SDT), mg/l	250	500	850
Sólidos en suspensión (SS), mg/l	100	220	350
SS Volátiles, mg/l	80	165	275
SS Fijos, mg/l	20	55	75
Sólidos Sedimentables, mg/l	5	10	20
DBO5, mg/l	110	220	400
DQO, mg/l	250	500	1000
N-total, mg/l	20	40	85
N-Orgánico	8	15	35
N-NH ₃ , mg/l (Amoníaco libre)	12	25	50
P-Total, mg/l	4	8	15
P-Orgánico, mg/l	1	3	5
Cloruros, mg/l	30	50	100
Sulfato, mg/l	20	30	50
Grasas, mg/l	50	100	150
Coliformes totales, nº/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹

Tabla 1: Composición típica de las aguas residuales domésticas

Fuente: Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA

2.2. Organismos patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de

identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

Enfermedades que se pueden transmitir por agua contaminada:

- **Diarrea:** Provoca que las personas pierdan líquido y electrolitos, lo que supone la deshidratación y lleva en algunos casos a causar la muerte en el paciente. Los niños y las niñas que padecen episodios repetidos de esta dolencia son más vulnerables ante la desnutrición y otras enfermedades.
- **Disentería:** Provocada por bacterias, esta enfermedad causa diarrea en los pacientes. En las personas adultas rara vez sucede, aunque bien es cierto que los niños y las niñas son sus principales víctimas.
- **Cólera:** Es una infección bacteriana aguda del intestino que provoca numerosos episodios de diarrea y vómitos intensos, los cuales, a su vez, pueden generar deshidratación aguda y provocar la muerte.
- **Paludismo:** Es una enfermedad provocada por un parásito transmitido a través ciertos tipos de mosquitos que habitan en zonas de aguas estancadas o en sitios donde el agua no goza de la calidad suficiente.
- **Esquistosomiasis:** Esta anomalía es causada por parásitos que penetran la piel de las personas que se están lavando o bañando en fuentes de agua contaminado, provocando infecciones que dañan el hígado, los intestinos, los pulmones y la vejiga, entre otros órganos.
- **Tifus:** Enfermedad provocada por bacterias que causa fiebres, diarreas, vómitos e inflamación del bazo y del intestino.
- **Tracoma:** Es una infección de los ojos provocada por las deficientes prácticas higiénicas debido a la falta de agua o la existencia de condiciones insalubres. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a ella.

- **Fiebre tifoidea:** Es una infección bacteriana causada por la ingesta de agua contaminada. Los pacientes a quienes se les diagnostica sufren dolor de cabeza, náuseas y pérdida de apetito, entre otros síntomas. (OXFAM, s.f.)

2.3. Tratamiento de aguas residuales

Es una serie de procesos químicos, físicos y biológicos que se le suministra al agua residual y que al procesarse logra eliminar todos los contaminantes que son desprendidos por el uso diario de las personas, las empresas, los comercios y la lluvia.

2.3.1. Tipos de tratamiento de aguas residuales:

- **Tratamientos físicos:** Son aquellos métodos en los que se aplica una separación física, generalmente de sólidos. Estos métodos suelen depender de las propiedades físicas de los contaminantes, como la viscosidad, tamaño de partículas, flotabilidad, etc. Entre ellos podemos encontrarnos el tamizado, la precipitación, separación y filtración de sólidos.
- **Tratamientos químicos:** Son aquellos métodos que dependen de las propiedades químicas del contaminante o reactivo incorporado al agua. Podemos destacar la eliminación del hierro y del oxígeno, la eliminación de fosfatos y nitratos, la coagulación, los procesos electroquímicos, la oxidación, intercambio de iones, etc.
- **Tratamientos Biológicos:** En estos métodos se utilizan procesos biológicos, de manera que se pretende eliminar los contaminantes coloidales. Son microorganismos que actúan sobre la materia en suspensión transformándola en sólidos sedimentables. Pueden ser procesos aeróbicos o anaeróbicos, como los lodos activos, los filtros percoladores, la biodigestión anaerobia o las lagunas aireadas. (Rodríguez, L., 2020)

2.3.2. Etapas del tratamiento de aguas residuales

Existen principalmente 3 etapas de tratamiento de aguas residuales: Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Terciario, algunos consideran un cuarto tipo antes del tratamiento primario: Tratamiento preliminar.

- **Tratamiento Preliminar**

Es el tratamiento donde se remueven los sólidos de gran tamaño y las arenas presentes en las aguas negras. Se conoce también como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento. (Farias, B., 2016)

- **Tratamiento Primario**

Consisten en la eliminación de sólidos gruesos, resultando en una reducción de la carga contaminante en sus aguas residuales. Dependiendo de la calidad requerida de sus efluentes finales usted puede necesitar ya sea un filtro, un sistema de flotación o un sistema de floculación y flotación. (Spena Group, s.f.)

Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración.

- **Sedimentación:** Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas.

La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

- **Flotación:** Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que, en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema.

En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

Flotación por aire disuelto (DAF): En este sistema el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire.

Flotación por aire inducido: La operación es similar al caso anterior, pero la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, normalmente situados en la parte inferior del equipo de flotación, o bien inducidas por rotores o agitadores. En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

- **Coagulación – Flocculación:** En muchos casos parte de la materia en suspensión está formada por partículas de muy pequeño tamaño, lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico.

Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la flocculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide.

- **Filtración:** La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable. (Cyclus, s.f.)

- **Tratamiento Secundario**

El tratamiento secundario es utilizado para eliminar los contaminantes que, con la sedimentación primaria, no son posibles removerlos; generalmente, dentro de este tipo de contaminantes, se encuentran parte de los coloides, y principalmente toda aquella materia disuelta. (TSS Internacional, s.f)

Tipos de Tratamientos Secundario

En el tratamiento secundario de aguas residuales pueden distinguirse varios procesos, aerobios y anaerobios:

- **Aerobios:** Se realizan en presencia de oxígeno por lo que es necesario introducirlo en los tanques donde están las aguas residuales. En esta etapa ocurre parte de la degradación de la materia orgánica.
- **Anaerobios:** Se realizan en ausencia de oxígeno. En este proceso ocurren reacciones fermentativas en las que la materia orgánica se transforma en energía, metano y dióxido de carbono. Se utiliza especialmente cuando las aguas residuales tienen una gran carga contaminante. (Acuatecnica S.A.S., 2019)

El proceso de digestión anaerobia se realiza en tanques completamente cerrados en los que intervienen varios tipos de microorganismos. Entre los más importantes y específicos de este proceso están por un lado las bacterias productoras de ácidos y por otro las bacterias productoras de metano. (Cyclus, s.f.)

- **Tratamiento Terciario de aguas residuales**

Los tratamientos terciarios de aguas residuales son procesos adicionales para eliminar contaminantes remanentes, en estado coloidal o suspendido. Se llevan a cabo normalmente en las EDAR. El tratamiento terciario permite reducir la carga contaminante de aguas residuales permitiendo, no solo su vertido a cauces naturales, sino la reutilización como recurso hídrico alternativo. Este consta de una coagulación – floculación y una decantación. (Cyclus, s.f.)

2.4. Calidad de las aguas residuales requerida

El tratamiento debe tener relación directa a las cargas contaminantes que es capaz de aceptar la fuente receptora. En caso de no contar con los estudios necesarios, el diseño del sistema de tratamiento debe efectuarse según los requerimientos de calidad del efluente establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA), en la Norma Ambiental sobre el Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario, Aguas Costeras y además Subsuelo, esto según el origen de las aguas residuales.

Población Hab.Equiv	VALORES MAXIMOS PERMISIBLES								
	-	Mg/L							NMP/10 0ml
	pH	DBO ₅	DQO	SS	N-NH ₄	N-(NH ₄ +NO ₃)	P-PO ₄	CL.res	C.T
<5,000	6-8.5	50	160	50	-	-	-	0.05	1000
5,001-10,000	6-8.5	45	150	45	-	-	-	0.05	1000
10,001-100,000	6-8.5	35	130	40	10	18	3	0.05	1000
>100,001	6-8.5	35	130	35	10	18	2	0.05	1000

Nota: La producción de DBO₅ de un habitante equivalente es aproximadamente 60g/hab/d

Demanda biológica de oxígeno DBO₅

Demanda química de oxígeno DQO

Sólidos suspendidos (SS)

Nitrógeno del amonio (N-NH₄)

Nitrogeno amonio y nitratos N-NH₄+NO₃

Fósforo de ortofosfatos (P-PO₄)

Cloro residual (Cl₂. Res) libre

Coliformes totales (C.T)

Tabla 2: Valores máximos permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales

Fuente: Norma Ambiental sobre el Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario, Aguas Costeras y además Subsuelo, MIMARENA

2.5. Marco contextual

2.5.1. Localización del área de estudio

El área de estudio de esta investigación está ubicada en el sector Ensanche Ozama del municipio Santo Domingo Este, provincia Santo Domingo, República Dominicana.

Este sector, perteneciente a la sección territorial elegida como el polígono central de Santo Domingo Este, representa una importante zona de crecimiento y Desarrollo, tanto inmobiliario como comercial. El Ensanche Ozama es el sector en el que se identifican la mayor cantidad de escuelas, liceos, bancos e instituciones públicas, es decir, que es una comunidad habitacional, comercial e institucional a la vez.

Las entradas principales que brindan acceso al Ensanche Ozama, desde la Avenida Las Américas, son la Avenida Venezuela y la Avenida Sabana Larga, donde se desarrollan las mayores fuentes de comercio de la zona.

2.5.2. Ubicación geográfica

Ubicado geográficamente en la parte oeste del polígono central de Santo Domingo Este, el Ensanche Ozama tiene una extensión territorial de 1.83 Km² y limita al Oeste con el río Ozama, al Este con la urbanización Alma Rosa, al Norte con Los Mina Sur y al Sur con Villa Duarte y parte de las Américas. Las coordenadas geográficas del sector son: 18°28'59.99 N 69°52'0.01W.

2.5.3. Geografía

El sector Ensanche Ozama está ubicado en Santo Domingo Este, cuyo suelo pertenece a la Llanura Costera del Caribe y muestra una topografía generalmente plana con varias terrazas en diferentes niveles, que vienen ascendiendo desde el sur. Cuenta con el Río Ozama.



Ilustración 2: Mapa general de República Dominicana

Fuente: Google Maps (2021)



Ilustración 3: Área de estudio

Fuente: Google Maps (2021)

2.5.4. Extensión territorial

El sector Ensanche Ozama tiene una extensión territorial de 1.82 Km².

2.5.5. Densidad poblacional

7,233 Hab/ Km². (IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010)

2.5.6. Población

Según el IX Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010, la cantidad de habitantes del sector Ensanche Ozama fue de 19,533 habitantes, de los cuales 9,232 eran hombres y 10,301 mujeres.

2.5.7. Índice de crecimiento

Según el IX Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2010, el índice de crecimiento de Santo Domingo Este fue de 3.342 %.

2.5.8. Clima

En el sector Ensanche Ozama el clima es tropical, con una temperatura media anual de 25.5 °C y una precipitación media anual de 1212 mm. En comparación con el invierno, los veranos tienen mucha más lluvia.

2.5.9. Economía

El sector Ensanche Ozama representa una de las mayores zonas de crecimiento y dinamismo comercial del municipio Santo Domingo Este. El Ensanche Ozama es el sector en el que se identifican la mayor cantidad de instituciones, escuelas, liceos, bancos e instituciones públicas, es de tipo habitacional, comercial e institucional a la vez.

Sus principales avenidas que son: La Venezuela y La San Vicente de Paul, son de gran activismo comercial, recreación nocturna y poseedoras de un buen porcentaje de uso de suelo institucional. Aquí se desarrollan las mayores fuentes de comercio de la zona, son la parte financiera que tiene el polígono central de Santo Domingo Este, ya que presentan variaciones tanto económico-social, formales e informales, destacando

establecimientos como bancos, centros de diversión, pequeñas plazas comerciales, entre otros. Estas Avenidas aportan al crecimiento económico de la zona, ya que además de que se encuentran en un radio cercano tienen uso de suelo desde habitacional e institucional, hasta comercial. Los reglamentos admiten alturas de hasta 13 niveles, lo que facilita un mayor desarrollo, tanto inmobiliario, como comercial. (Báez & Castillo, 2019)

En esta zona confluyen colmados, repuestos de vehículos, casas de cambio, tiendas de ropa y calzados, bancas de lotería, compraventas, farmacias, ferreterías, gomeras, peluquerías y bancos.

Por igual, están establecidos aquí, salones de belleza, centros de comida, papelerías, compraventas, comedores, clubes de billar, tiendas de reparación de computadoras, panaderías, dealers, reposterías, bancas deportivas, centros de uñas, discotecas, bancos y estaciones de combustible. (Rodríguez, 2018)

2.5.10. Antecedentes históricos

A mediados de la década del 50 se inauguró en Santo Domingo el llamado Ensanche Benefactor, una obra de Trujillo, la cual fue dirigida básicamente a las familias de los militares. Fue considerado en esa época, como un proyecto de extraordinaria belleza y calidad.

Más adelante el sector cambió su nombre y pasa a ser el Ensanche Ozama. Este proyecto fue desarrollado por el arquitecto Jose Antonio Caro, quien recibió un reconocimiento público por parte de Trujillo, que elogió la calidad de la obra diciendo que en lo adelante todas las urbanizaciones que se construyan en Santo Domingo debían seguir el modelo de ese ensanche.

El proceso de edificación del ensanche se inició a partir de 1950, como consecuencia de las actividades inversionistas y las actividades industriales que venía desarrollando la

Ozama Sugar, cuyo origen, de alguna manera, se dió con la iniciativa de don Augusto Chotín.

Junto con el Ensanche Ozama fue levantado el proyecto de viviendas que construyó el gobierno para personas de escasos recursos en Los Mina, el cual era diferente al Ensanche Ozama, que fue diseñado como una urbanización de clase media para los militares.

Los mina, María Auxiliadora y el Ensanche Ozama fueron tres proyectos urbanos que desarrolló el gobierno de Trujillo, cada uno dirigido a un sector diferente. María Auxiliadora, en Mejoramiento Social, era para obreros, Los Mina fue para familias pobres y ya el Ensanche Ozama era para una clase media básicamente militar.

Entre los elementos que se resaltan del Ensanche Ozama está la amplitud de sus calles y avenidas; y asimismo el modelo de las aceras, que le garantizan a los peatones su seguridad; ya que fue un ensanche bien planificado como parte del plan de desarrollo de la capital que tenía el gobierno de Trujillo, quien utilizó para ejecutarlo a los mejores urbanistas de la época.

El arquitecto Omar Rancier describe al Ensanche Ozama como una cuadrícula perfecta, que responde básicamente al modelo típico de ciudad que desarrollan los europeos, son manzanas de 100 metros por 100 metros, organizadas con dos avenidas principales que fueron las que digamos “ayudan a organizar el lugar”.

Por ser un sector construido para militares, desde su inauguración, el Ensanche Ozama ha sido catalogado como un ensanche tranquilo y organizado y todavía hay quienes se preguntan por qué trujillo construyó en ese lugar un ensanche para militares. A lo que el historiador José Vásquez respondió que todo tuvo que ver con la necesidad de garantizar la estabilidad de quienes eran su base de sustentación, los militares, y el ensanche ozama representa un poblamiento que no solo es de primera categoría en términos históricos, en

términos urbanísticos o porque las edificaciones fuesen hechas con los criterios que fueron hechas, sino porque está muy cerca de la ciudad principal.

En el Ensanche Ozama están las escuelas Panamá, que en la noche funciona como liceo, Hermanas Mirabal y la Escuela Ramón Matías Mella; y para el esparcimiento los residentes en el Ensanche Ozama cuentan con el parque Juan Pablo II, que está ubicado en la cuadra formada por las calles Puerto Rico, Costa Rica, Jesús de Galíndez y Avenida Venezuela, justo frente a la Escuela Panamá.

En el ensanche ozama vivieron muchos altos oficiales entre los que se citan a Elías Wessin y Wessin, Los Hermanos Rosario y la bailarina Vanessa Angulo. El Ensanche Ozama es sin lugar a dudas uno de los sectores más representativos de la zona oriental del Gran Santo Domingo.

2.5.11. Cultura

Uno de los lugares más emblemáticos del sector es el Centro Cultural y Deportivo Ozama. La entidad está enclavada en el centro del Ensanche Ozama, en la esquina conformada por las calles Presidente Vásquez y Juan Goico Alix, continuo al Cuerpo de Bomberos, y fue fundado en octubre de 1977, bajo la presidencia de Candelario Hidalgo, fallecido dirigente que presidió también la Asociación de Baloncesto del Distrito Nacional (Abadina). La disciplina de baloncesto de este centro deportivo fue campeón en el Torneo Savica Sub-17 y en el Torneo Navidad Valle del Este Sub-19 y sub-campeón en el Torneo Sub-14 Miguel Cruzeta. Entre tanto, otros logros en el ámbito del karate, ganaron seis primeros lugares en el Torneo Villa Faro: Emmy Perdomo, Jesús Castro, Lenny Lebrón, Iván Liberato, Eliezer Perdomo y Jean Marcos de la Cruz.

La instalación tiene canchas de tenis, voleibol y espacio para las artes marciales, todas disciplinas atendidas por técnicos experimentados.

Otra de las entidades que ha tenido un gran impacto, sobre todo histórico, es el Club de Leones, que fue fundado en 1964. Este es el primero de los clubes fundados en el país que junto a los de otros países integran la Asociación Internacional de Clubes de Leones, la organización de clubes de servicio humanitario más grande del mundo.

Posee un parque ubicado justamente en la principal calle del sector, la avenida Venezuela, Parque Juan Pablo II del Ensanche Ozama, Con decenas de plantas y un parque infantil, este espacio fue construido por Trujillo.

En el Ensanche Ozama, también se encuentra la Parroquia San Francisco de Asís Paz y Bien, adonde cada domingo asisten cientos de fieles católicos para participar de la eucaristía. (Rodríguez, 2018)

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo, ya que nos focalizamos en dar solución a una problemática real mediante la documentación teórica y la recolección y análisis de datos estadísticos cuantificables con el fin de hacer una buena interpretación de resultados y obtener conclusiones que nos permitan realizar un diseño que satisfaga las necesidades reales de la población.

3.2. Tipo de investigación

Esta es una investigación de tipo bibliográfica o documental, dado que gran parte de los datos recolectados fueron obtenidos desde distintas fuentes de información ya existentes, tales como libros, informes, artículos, documentales y reglamentos relacionados con el tema.

Al mismo tiempo, esta investigación es de campo, ya que fue necesario visitar el área de estudio con el fin de conocer la realidad del lugar y obtener algunos de los datos que fueron primordiales para el desarrollo de la misma.

Además, es una investigación longitudinal, por haber incluido datos correspondientes a diversos periodos de tiempo.

Por otro lado, esta investigación puede considerarse de tipo descriptiva y aplicada, puesto que describe las características reales del área de estudio, en cuanto a la disposición de sus aguas residuales, basado en los métodos de indagación, observación y definición.

Igualmente, es una investigación interactiva y proyectiva a la vez, debido a que no se limita solo a describir la problemática de estudio, sino que propone alternativas de cambio de la situación actual, mas no necesariamente la ejecución de la propuesta.

3.3. Procedimientos de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se contó con la colaboración de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), a través del Ingeniero Carlos Paul Abreu (Supervisor de Obras de la Dirección de Ingeniería), el Ingeniero Wisang Tang (Ingeniero de operaciones), el Ingeniero Yonaydy Polanco Pichardo (Encargado de la División de Saneamiento), Braulia Gonzalez Feliz (Supervisora de de Operaciones Este) y el Licenciado Fernando Tejeda García (Auxiliar de estadísticas del Centro de Documentación-CAASD).

Los datos proporcionados por esta institución fueron de gran importancia para esta investigación, ya que tuvimos acceso a toda la información referente a la situación del sistema de saneamiento en la República Dominicana, tal como las zonas dotadas o no de alcantarillado sanitario, las condiciones del tratamiento de aguas residuales y el medio de disposición final del agua servida.

3.4. Técnicas de investigación

3.4.1. Entrevista no estructurada

La entrevista es una técnica con la cual se obtienen datos a partir del diálogo entre dos personas: el entrevistador, o bien el investigador, y el entrevistado.

Una de las técnicas de investigación utilizadas para la adquisición de conocimientos fue la entrevista no estructurada, la cual es aplicada en las etapas previas de la investigación donde se quiere conocer el objeto de investigación desde un punto de vista externo, sin que se requiera aún la profundización en la esencia del fenómeno, en este caso las preguntas a formular por el entrevistador, se dejan a su criterio y experiencia.

La entrevista no estructurada es muy útil en estudios descriptivos, y en la fase del diseño de la investigación; es adaptable y susceptible de aplicarse a toda clase de sujetos y de

situaciones; permite profundizar en el tema y requiere de tiempo y de personal de experiencia para obtener información y conocimiento del mismo. (Ramos, 2018)

3.4.2. Observación directa

Se empleó la observación directa como técnica de investigación. Este es un método de recolección de datos que consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular. Todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto. De lo contrario, los datos que se obtengan no van a ser válidos. (Okdiario, 2019)

3.4.3. Investigación bibliográfica

Como técnica de investigación se empleó la investigación bibliográfica, la cual es una técnica cualitativa que se encarga de explorar todo aquello que se haya escrito acerca un determinado tema o problema. (Rubio, 2021)

3.5. Análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua

Consisten en pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para determinar sus características físicas, químicas o ambas; así como también la presencia o ausencia, tipo y cantidad de microorganismos.

Para el desarrollo de este diseño de planta de tratamiento de aguas residuales se realizó un análisis con el fin de conocer la calidad del agua residual del sector Ensanche Ozama y determinar el tipo de tratamiento sería necesario aplicar bajo esas condiciones.

Este análisis consistió en la toma de una muestra instantánea en un punto del alcantarillado sanitario de la zona. Para garantizar la representatividad de los resultados, se optó por tomar la muestra en el último registro de la red del alcantarillado, desde el cual ya no existen más conexiones y el agua se dirige directamente hacia su vertido en el Río Ozama.

La toma de muestras y los análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua estuvieron a cargo de Gestiones Sanitarias y Ambientales (GESA LAB) para asegurar que se mantengan las condiciones de temperatura e integridad del agua.

3.6. Selección del tratamiento

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de: las características del agua cruda, la calidad requerida del efluente, la disponibilidad de terreno, los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento, la confiabilidad del sistema de tratamiento.

La mejor opción de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas.

Unidades de tratamiento	Eficiencia en la remoción de constituyentes, porcentaje						
	DBO	DQO	SS	P	N Org	NH3 -N	Patógenos
Rejillas	Desp. 1	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.
Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.
Lodos activados (convencional)	80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
Filtros percoladores	65-80	60-80	60-85	8-12	15-	8-15	
Alta tasa, roca Supertasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	50 15-50	8-15	Desp.
Cloración	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	100
Reactores UASB	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.
Reactores RAP	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.
Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	-	-	Desp.

Lagunas de oxidación							
Lagunas anaerobias	50-70	-	20-60	-	-	-	90-99.99
Lagunas aireadas	80-95	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Lagunas facultativas	80-90	-	63-75	30	-	-	90-99.99
Lagunas de maduración	60-80	-	85-95	-	-	-	90-99.99
Ultravioleta	Desp.	Desp.	Desp.	Des p.	Desp .	Des p.	100

Tabla 3: Eficiencias típicas de remoción

Fuente: Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA

3.7. Procedimiento de diseño

La información recolectada para el desarrollo del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales está basada en el Reglamento Técnico para el Diseño de Obras e Instalaciones Hidro - Sanitario del INAPA, del Manual de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica de Stewart M. Oakley y Louis Salguero, 2011; y del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento para el Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente de CONAGUA, 2015.

3.7.1. Estimación de la población actual

Según el IX Censo Nacional de Población y Vivienda de República Dominicana, la población del sector Ensanche Ozama en el 2010 era de 19,533 habitantes, de los cuales 9,232 eran hombres y 10,301 mujeres.

3.7.2. Estimación de la población futura

Para el cálculo y obtención de la población futura, utilizamos el método de la proyección geométrica:

$$Pf = Pi * (1 + i)^t$$

Donde:

- **Pf** → Población futura
- **Pi** → Población inicial
- **t** → Período de diseño
- **i** → Tasa de crecimiento anual

3.7.3. Caudal medio diario de agua potable (Qmed (Ap))

El caudal medio diario, Qmed, es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación: (INAPA, 2018)

$$Q_{med/d} (Ap) = \frac{P * DOT}{86,400}$$

Donde:

- **Qmed/d (AP)** = Caudal medio diario de agua potable
- **P** = Población
- **DOT** = Dotación

Tipo de proyecto		Dotación
Dotación Apartamentos Urbanos		250 L/hab-día
Dotación Apartamentos Turísticos		400 L/hab-día
Locales Comerciales		20 l/m ² /d
Hoteles Áreas Turísticas		600 L/hab-día
Hoteles Áreas Turísticas Todo Incluido		700 L/hab-día
Hoteles Áreas Urbanos		500 L/hab-día
Hostales		350 L/hab-día
Pensiones		300 L/hab-día
Villas-Viviendas	(1000 m ² ≥Parcela ≤1500 m ²)	800 L/hab-día*
Villas-Viviendas	(1500 m ² ≥Parcela ≤2000 m ²)	1000 L/hab-día*
Villas-Viviendas	(2000 m ² ≥Parcela ≤3000 m ²)	1200 L/hab-día*
Escuela: Externos		40 L/Alumno-día
Escuela: Internados		200 L/Alumno-día
Escuela: Personas no residentes		50 L/hab-día

Tipo de proyecto	Dotación
Hospitales	800 L/cama-día
Clínicas Médicas	500 L/consultorio día
Clínicas Dentales	1000 L/consultorio día
Mercados, puestos: 15 l/m ² /d	15 L/m ² /d
Cines, teatros: 3 l/asiento/d	3 L/asiento/d
Oficinas: 6 l/m ² /d	6 L/m ² /d
Bodegas: 20 l/m ² /d	20 L/m ² /d
Gasolineras: 300 l/bomba/d	350 l/bomba/d
Área Verde	2-3 L/m ² /d

Tabla 4: Dotación por tipo de proyecto

Fuente: Reglamento Técnico para Diseño de Obras e Instalaciones Hidro-Sanitario del INAPA

3.7.4. Coeficiente de retorno (Fr)

El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. Su estimación debe provenir del análisis de información existente de la localidad y/o de mediciones de campo. Cuando esta información resulte inexistente o muy pobre, pueden utilizarse como guía los rangos de valores del coeficiente de retorno descritos a continuación, justificando apropiadamente el valor finalmente adoptado.

- Población Residencial: 0.80
- Habitaciones Hoteleras: 0.85
- Turistas Ocasionales: 0.80
- Comercio: 0.40 a 0.50
- Institucional: 0.40 a 0.50
- Industrial: 0.40 a 1.50 (INAPA, 2018)

3.7.5. Caudal medio diario de aguas residuales (Qmed (Ar))

El caudal medio diario de aguas residuales (Qmed) para un colector con un área de drenaje dada es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

Qmed debe ser estimado, mínimo, para las condiciones iniciales y finales de operación del sistema. En los casos donde las contribuciones industriales, comerciales e institucionales sean marginales con respecto a las domésticas, pueden ser estimadas como un porcentaje de los aportes domésticos. (INAPA, 2018)

$$Q_{med/d} (Ar) = Fr \times Q_{med/d} (Ap)$$

Donde:

- $Q_{med/d} (Ar)$ = Caudal medio diario de agua residual
- Fr = Coeficiente de retorno
- $Q_{med/d} (Ap)$ = Caudal medio diario de agua potable

3.7.6. Factor de mayoración (F)

El factor de mayoración para estimar el caudal máximo horario, con base en el caudal medio diario, tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. El valor del factor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta, pues el uso del agua se hace cada vez más heterogéneo y la red de colectores puede contribuir cada vez más a amortiguar los flujos. La variación del factor de mayoración debe ser estimada a partir de mediciones de campo.

Sin embargo, esto no es factible en muchos casos, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como las de Harmon y Babbitt, válidas para poblaciones de 1,000 a 1,000, 000 habitantes, y la de Flores, en las cuales se estima F en función del número de habitantes. (INAPA, 2018)

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + \sqrt{P})}$$

Donde:

- F = Factor de mayoración
- P = Población

3.7.7. Caudal máximo horario ($Q_{\text{máx/h}}$)

El caudal máximo horario es la base para establecer el caudal de diseño de una red de colectores de un sistema de recolección y evacuación de aguas residuales. El caudal máximo horario del día de máximo consumo se estima a partir del caudal final medio diario, mediante el uso del factor de mayoración, F. (INAPA 2018)

$$Q_{\text{máx/h}} = F * Q_{\text{med/d}}$$

Donde:

- $Q_{\text{máx/h}}$ = Caudal máximo horario
- F = Factor de mayoración
- $Q_{\text{med/d}}$ = Caudal medio diario

3.7.8. Caudal mínimo horario ($Q_{\text{min/h}}$)

Se adopta como caudal mínimo el 50 % del caudal medio diario, sin considerar el caudal de infiltración ni el caudal por conexiones erradas. (Ayuntamiento de Siero)

$$Q_{\text{min/h}} = 0.5 * Q_{\text{med/d}}$$

Donde:

- $Q_{\text{min/h}}$ = Caudal mínimo horario
- $Q_{\text{med/d}}$ = Caudal medio diario

3.7.9. Caudal por conexiones erradas (Q_e)

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de techos y patios, Q_e . Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. El caudal por conexiones erradas a considerar será del 5% al 15% del caudal máximo horario de aguas residuales.

Estos valores deben tomarse como guías: el menor en caso de que exista un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias y el mayor en caso de que el área del proyecto no disponga de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias. Pueden considerarse otros métodos de estimación de conexiones erradas, como porcentajes del caudal máximo horario de aguas residuales, con justificación por parte del diseñador.

Si los aportes por conexiones erradas son notoriamente altos, debe desarrollarse un proyecto de recolección y evacuación de aguas lluvias a mediano plazo (separado) y, por lo tanto, el diseño del sistema sanitario debe ser consistente con tal previsión. (INAPA, 2018)

Para la obtención del caudal por conexiones erradas en esta investigación se utilizó un 10% del caudal máximo horario de agua residual.

$$Q_e = 10\% * Q_{max} / h$$

Donde:

- Q_e = Caudal por conexiones erradas
- Q_{max}/h = Caudal máximo horario de aguas residuales

3.7.10. Caudal de infiltración (Q_{inf})

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables.

El diseñador debe minimizar los aportes por infiltración. A lo largo de la vida útil de las redes, el aporte de aguas de infiltración también puede estar asociado con el nivel de amenaza sísmica de la localidad. Se requiere que el diseñador justifique los valores adoptados teniendo en cuenta los factores señalados.

En ausencia de medidas directas o ante la imposibilidad de determinar el caudal por infiltración, el aporte puede establecerse con base a considerar para tuberías termoplásticas (PVC-PEHD-GRP) un valor de infiltración de 10 M3/KM-DIA y para tuberías de hormigón (simple o armado) 50 M3/KM-DIA, tomando en cuenta un bajo nivel freático. En caso de niveles freáticos altos, estos valores se duplicarán. (INAPA, 2018)

$$Q_i = L * Q_a$$

Donde:

- **Q_i** = Caudal de infiltración
- **L** = Longitud total de tuberías, en Km
- **Q_a** = Caudal aportado

3.7.11. Caudal de diseño (Q_{dis})

El caudal de diseño de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo, Q_{máx/h}, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas. (INAPA, 2018)

$$Q_{dis} = Q_{máx/h} + Q_{inf} + Q_e$$

Donde:

- **Q_{max/h}** = Caudal máximo horario de aguas residuales
- **Q_i** = Caudal de infiltración
- **Q_e** = Caudal por conexiones erradas

3.7.12. Diseño de pretratamiento con Canaleta Parshall

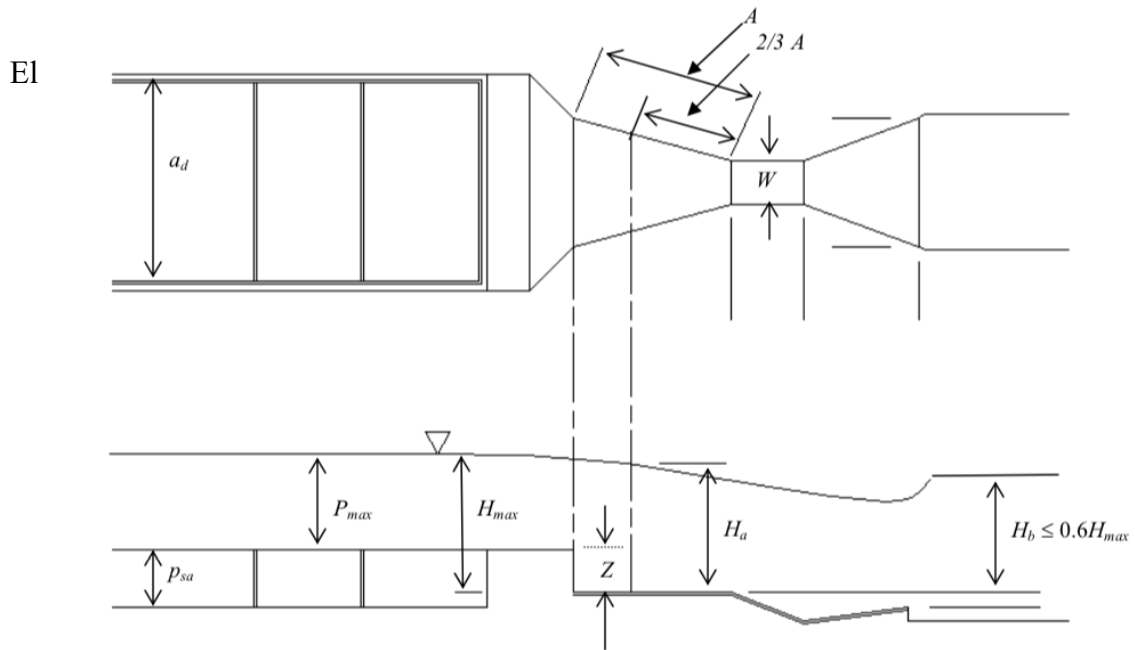


Ilustración 4: Una canaleta Parshall al extremo de un desarenador rectangular

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

procedimiento de diseño del sistema de pretratamiento con rejilla, desarenador horizontal y canaleta Parshall de acuerdo al Manual de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica de Stewart M. Oakley y Louis Salguero es el siguiente:

Parámetro	Norma Recomendada
Velocidad horizontal	$v_{max} = 0.3 \text{ m/s}$ $v_{min} \geq 0.80 v_{max}$
Velocidad de sedimentación	0.02 m/s (partículas de 0.2mm)
Forma de la sección transversal	Rectangular (Con un resalto entre la cota del desarenador y la de la canaleta Parshall)
Tiempo de retención hidráulica	$\leq 60 \text{ s}$ para v_{min} $\geq 45 \text{ s}$ para v_{max} $v_{max} = 0.3 \text{ m/s}$ $v_{min} = 0.3 C_v$
Largo de canal	$45 v_{max} \leq L \leq 60 v_{min}$ $13.5 \text{ m} \leq L \leq 18 C_v$
Sección de control de velocidad	Canaleta Parshall prefabricada con flujo libre
Carga en el canal aguas abajo la canaleta Parshall para asegurar flujo libre	$\leq 60\%$ de la carga en el desarenador
Número de canales	Dos en paralelo, cada uno con drenaje (Uno en operación y otro para limpieza)

Tabla 5: Normas de diseño recomendadas para desarenadores horizontales

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

- Determinar el caudal máximo, mínimo y promedio en m³/s para el diseño.
- Seleccionar el ancho de garganta de la canaleta Parshall usando la Tabla 6.

Ancho de Garganta, W m	Q _{min}		Q _{max}	
	m ³ /s	m ³ /día	m ³ /s	m ³ /día
0.076	0.0008	69	0.0538	4,648
0.152	0.0015	130	0.1104	9,539
0.229	0.0025	216	0.2519	21,764
0.305	0.0031	268	0.4556	39,364

Tabla 6: Rango de caudales para canaletas Parshall con flujo libre

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

- Calcular la carga máxima en el canal del desarenador (H_{max})

$$H_{max} = \left[\frac{1.1 * Q_{max}}{2.27 * W} \right]^{0.667}$$

Donde:

- H_{max} = Carga máxima en el canal del desarenador cuando Q = Q_{max}, en m
- Q_{max} = Caudal máximo de diseño, en m³/s
- W = Ancho de garganta de la Canaleta Parshall
- Calcular R y C_r,

$$R = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

$$C_r = \frac{R^{1/3} - 1}{R - 1}$$

- Calcular el resalto (Z)

$$Z = C_r * H_{max}$$

Donde:

- Z = Resalto entre la cota del desarenador y la Canaleta Parshall, en m
- H_{max} = Carga máxima en el canal del desarenador cuando $Q = Q_{max}$, en m
- Calcular la profundidad máxima de agua en el canal del desarenador (P_{max}) medida de la cota del canal

$$P_{max} = H_{max} - Z$$

Donde:

- P_{max} = Profundidad máxima de agua medida de la cota del canal de desarenador, en m
- Z = Resalto entre la cota del desarenador y la Canaleta Parshall, en m
- H_{max} = Carga máxima en el canal del desarenador cuando $Q = Q_{max}$, en m
- Calcular el ancho del canal de desarenador

$$a_d = \frac{Q_{max}}{P_{max} * V_{max}}$$

Donde:

- a_d = Ancho de desarenador, en m
- Q_{max} = Caudal máximo de diseño, en m^3/s

- P_{\max} = Profundidad máxima de agua medida de la cota del canal de desarenador, en m
- V_{\max} = Velocidad horizontal máxima a través del desarenador = 0.3 m/s
- Obtención del factor de C_v

$$C_v = 2.6C_r^{0.5}(1 - C_r)$$

Donde:

- C_v = Relación de V_{\min}/V_{\max}
- Escoger el largo del canal del desarenador

$$13.5 \text{ m} \leq L \leq 18 * C_v$$

- Calcular el volumen y la profundidad de sólidos arenosos acumulados

Lugar	Cantidades $\text{m}^3/1,000\text{m}^3$	Relación de $\frac{\text{Máximo Diario}}{\text{Promedio Diario}}$
Brasil (1970) Época seca Época lluviosa	0.015—0.029 0.030—0.040	
Honduras (2003) (Estimado)	0.010—0.085	
India (1970) Promedio Diario Pico de la carga (Durante 1-2 horas)	0.026—0.090 0.370—0.740	
EE.UU. Promedio Diario Máximo Diario (Durante una tormenta)	0.002—0.176 0.006—3.900	1.0—1,800

Tabla 7: Cantidades de sólidos arenosos encontradas en aguas residuales en América Latina, India y los EE.UU.

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

$$V_{sa} = t_{op} * Q_{med} * C_{sa}$$

Donde:

- V_{sa} = Volumen de sólidos arenosos, en m^3
- t_{op} = Tiempo de operación, en días
- Q_{med} = Caudal promedio, en m^3/d
- C_{sa} = Carga de sólidos arenosos en las aguas residuales, en $m^3/1,000m^3$

$$P_{sa} = \frac{t_{op} * Q_{med} * C_{sa}}{a_d * L} = \frac{V_{sa}}{a_d * L}$$

Donde:

- P_{sa} = Profundidad de sólidos arenosos acumulados, en m
- Según (Oakley y Salguero, 2011) se debe seleccionar la cota del canal aguas abajo de la canaleta Parshall para asegurar la carga es igual o menor de 0.60 de la carga en el canal del desarenador, todas medidas con referencia a la base de canaleta Parshall.

Parámetro	Norma Recomendada
Forma de barra	Rectangular No debe utilizar barras de refuerza
Ancho de barra	5—15 mm
Espesor de barra	25—40 mm
Espaciamiento (abertura) entre barras	25—50 mm 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras
Inclinación con la vertical	45—60°
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias
Canaleta de desvío (By-pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado; aluminio
Velocidad de aproximación	0.45 m/s
Tiempo de retención en canal de aproximación	≥ 3 s
Largo de canal de aproximación	≥ 1.35 m
Velocidad a través de las barras	≤ 0.6 m/s para caudal promedio ≤ 0.9 m/s para caudal máximo
Pérdida de carga máxima	0.15 m
Cantidades de material retenido	0.008—0.038 m ³ /1,000 m ³
Disposición final de residuos	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

Tabla 8: Normas de diseño para rejillas manuales

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

- Determinar el ancho y abertura, a_b y e_b , de las barras de la rejilla.
- Calcular el ancho del canal de aproximación antes de la rejilla

$$a_{canal} = \frac{Q_{max}}{0.6P_{max}} * \left[\frac{a_b + e_b}{e_b} \right]$$

Donde:

- a_{canal} = Ancho del canal de aproximación, en m
- Q_{max} = Caudal máximo, en m³/s
- **0.6** = Velocidad máxima a través de las barras, en m/s
- P_{max} = Profundidad máxima de agua en el canal cuando $Q = Q_{max}$, en m
- A_b = Ancho de barras, en mm
- E_b = Espaciamiento (abertura) entre barras, en mm

- Calcular la velocidad en el canal de aproximación y las pérdidas de carga a través de la rejilla

$$V_a = \frac{0.6}{\left(\frac{a_b + e_b}{e_b}\right)}$$

Donde:

- V_a = Velocidad en el canal de aproximación, en m/s

$$h_f = \frac{1}{0.7} * \left[\frac{V_R^2 - V_a^2}{2g} \right]$$

Donde:

- H_f = Pérdida de carga, en m
- V_R = Velocidad a través de la rejilla, en m/s
- V_a = Velocidad en el canal de aproximación, en m/s
- g = Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s²
- Se termina el diseño con los parámetros físicos mostrados en las Tablas 5 y 8.

3.7.13. Diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)

El procedimiento de diseño del RAFA de acuerdo al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento para el Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente de CONAGUA es el siguiente:

Criterio	Parámetros	Intervalos de valores
Altura	Reactor	3 - 6 m
	Compartimento del sedimentador	1.5 - 2m
	Compartimento del digestor	2.5 - 3.5 m
Remoción de DQO esperada	Remoción esperada para agua residual diluida	60 - 70%
	Remoción esperada para agua residual concentrada	80 - 90%
Distribución del afluente	Diámetro del tubo de distribución del afluente (mm)	75-100
	Diámetro de la desembocadura del tubo de distribución (mm)	40-50
	Distancia entre la parte superior del tubo de distribución y el nivel del agua en el sedimentador (m)	0.2-0.3
	Distancia entre la desembocadura y la parte inferior del reactor (m)	0.1-0.15
	Área de influencia de cada tubo de distribución (m ²)	2-3
Colector de biogás	Tasa de liberación mínima de biogás (m ³ /m ² *h)	1
	Tasa de liberación máxima de biogás (m ³ /m ² *h)	3-5
	Concentración de metano en el biogás (%)	70-80
Compartimento de sedimentación	La superposición de los deflectores de gas en relación con la abertura para el compartimento de la sedimentación (m)	0.1-0.15
	Pendiente mínima de las paredes del sedimentador (°)	45
	Pendiente óptima de las paredes del sedimentador (°)	50-60
	Profundidad del compartimento del sedimentador (m)	1.5-2
Colector del efluente	Inmersión del deflector de nata en el perforado de tubos de recolección (m)	0.2-0.3
	Número de vertedores triangulares (unidades/m ² del reactor)	1-2
	Rendimiento de la producción de sólidos (kgSST/kgDQOaplicada)	0.1-0.2
	Rendimiento de la producción de sólidos, en términos de DQO (kgDQOolodo/kgDQOaplicada)	0.11-0.23

Producción y muestreo del lodo	Concentración de sólidos esperado en el exceso de lodo (%)	2-5
	Densidad del lodo (kg/m ³)	1020-1040
	Diámetro de las tuberías de descarga del lodo (mm)	100-150
	Diámetro de las tuberías de muestreo del lodo (mm)	25-50

Tabla 9: Criterios de diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) que tratan el agua residual doméstica

Fuente: CONAGUA, 2015

Criterio/Parámetro	Rango de valores, como una función de flujo		
	Q _{prom}	Q _{max}	Q _{pico} (*)
Carga hidráulica volumétrica (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	<4	<6	<7
Tiempo de residencia hidráulica** (horas)	6-9	4-6	>3.5-4
Velocidad de flujo ascendente (mh ⁻¹)	0.5-0.7	<0.9-1.1	<1.5
Velocidad en la abertura para sedimentación (mh ⁻¹)	<2-2.3	<4-4.2	<5.5-6
Tasa de carga de superficie en el sedimentador (mh ⁻¹)	0.6-0.8	<1.2	<1.6
Tiempo de residencia hidráulica en el sedimentador (mh ⁻¹)	1.5-2	>1	>0.6

Tabla 10: Resumen de los principales criterios hidráulicos para el diseño de reactores RAFA que tratan el agua residual doméstica

Fuente: CONAGUA, 2015

- Calcular la carga de DQO afluente promedio (Lo)

$$Lo = So * Q_{ip}$$

Donde:

- So = DQO afluente promedio, en kg/m³
- Q_{ip} = Caudal afluente promedio, en m³/d
- Adoptar un valor del tiempo de residencia hidráulica (t)

Temperatura del agua residual (°C)	Tiempo de residencia hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo (durante 4-6 h)
16-19	10-14	7-9
22-26	7-9	5-7
> 26	6-8	4-5

Tabla 11: Tiempo de residencia hidráulica recomendados para un RAFA de una altura de 4 metros para el tratamiento de aguas residuales domésticas

Fuente: CONAGUA, 2015

- Determinar el volumen total del reactor (V)

$$V = Q_{ip} * t$$

Donde:

- V = Volumen total del reactor, en m³
- Q_{ip} = Caudal afluente promedio, en m³/d
- t = Tiempo, en días
- Establecer el número de módulos del reactor (N)

Chericharo de Lemos (2007) menciona que, aunque no hay limitaciones en el volumen del reactor, se recomienda que dicho volumen no exceda 1,500 m³, debido a las limitaciones de operación y construcción; para el caso de sistemas pequeños para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ha sido habitual el uso de módulos con capacidades de 400 – 500 metros cúbicos. (CONAGUA, 2015)

- Volumen de cada módulo (V_u)

$$V_u = \frac{V}{N}$$

Donde:

- V_u = Volumen de cada módulo, en m³
- V = Volumen total del reactor, en m³
- N = Número de módulos del reactor
- Establecer un valor para la altura del reactor (H)

En el tratamiento de aguas residuales domésticas operando con velocidades ascensionales muy bajas (1 m/h) y TRH de entre 6 y 10 horas, a temperaturas entre 20 y 26 °C, la altura del reactor debería estar entre 3 y 6 metros.

- Determinar el área de cada modulo (A)

$$A = \frac{V_u}{H}$$

Donde:

- **A** = Área de cada módulo, en m²
- **V_u** = Volumen de cada módulo, en m³
- **H** = Altura del reactor, en m
- Establecer un valor para el ancho del reactor (a)
- Determinar el largo (l) del reactor.

$$l = \frac{A}{a}$$

Donde:

- **l** = Largo del reactor, en m
- **A** = Área de cada módulo, en m²
- **a** = Ancho del reactor, en m
- Verificar el Área, Volumen y Tiempo de Residencia Hidráulica

Área total correcta:

$$At = N * A = N * l * a$$

Donde:

- **At** = Área total del reactor, en m²
- **N** = Número de módulos del reactor
- **A** = Área de cada módulo, en m²
- **l** = Largo del reactor, en m
- **a** = Ancho del reactor, en m

Volumen total correcto:

$$Vt = At * H$$

Donde:

- **Vt** = Volumen total del reactor, en m³
- **At** = Área total del reactor, en m²
- **H** = Altura del reactor, en m

Tiempo de residencia hidráulica corregido:

$$t = \frac{Vt}{Q_{ip}}$$

Donde:

- **t** = Tiempo, en días
- **Vt** = Volumen total del reactor, en m³
- **Q_{ip}** = Caudal afluente promedio, en m³/d
- Verificar las cargas aplicadas

Carga hidráulica volumétrica (CHV):

$$CHV = \frac{Q_{ip}}{V}$$

Donde:

- **CHV** = Tasa de carga hidráulica volumétrica, en kgDQO/m³d
- **Q_{ip}** = Caudal afluente promedio, en m³/d
- **V** = Volumen total del reactor, en m³

Carga orgánica volumétrica (COV):

$$COV = \frac{Q_{ip} * S_o}{V}$$

Donde:

- **COV** = Tasa de carga orgánica volumétrica, en kgDQO/m³d
- **Q_{ip}** = Caudal afluente promedio, en m³/d
- **S_o** = Concentración de sustrato en el afluente, en kgDQO/m³
- **V** = Volumen total del reactor, en m³
- Verificar las velocidades del flujo ascendente

Para Q_{ip}:

$$v = \frac{Q_{ip}}{At}$$

Para Q_{max/h}:

$$v = \frac{Q_{max/h}}{At}$$

Donde:

- **V** = Velocidad de flujo ascendente, en m/h
- **Q_{ip}** = Caudal afluente promedio, en m³/d
- **Q_{max/h}** = Caudal máximo horario, en m³/d
- **At** = Área total del reactor, en m²
- Sistemas de distribución del agua residual (afluente)

$$Nd = \frac{At}{Ad}$$

Donde:

- **Nd** = Número de tubos de distribución del afluente
- **At** = Área total del reactor, en m²
- **Ad** = Área de influencia por tubo de distribución, en m²

Tipo de lodo	Carga orgánica aplicada (kg de DQO/m ³ d)	Área de influencia de cada distribuidor (m ²)
Lodo denso y floculento (concentración > 40 kg SST/m ³)	<1.0	0.5-1
	1-2	1-2
	>2	2-3
Lodo medio floculento (concentración 20 a 40 kg SST/m ³)	<1-2	1-2
	>3	2-5
Lodo granular	1-2	0.5-1
	2-4	0.5-2
	>4	>2

Tabla 12: Directrices para determinar el área de influencia de los distribuidores de flujo en un Rafa

Fuente: CONAGUA, 2015

- Estimar las eficiencias de remoción de la DQO del sistema

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0.68 * t^{-0.35})$$

Donde:

- E_{DQO} = Eficiencia de remoción de la DQO
- t = Tiempo de residencia hidráulica, en horas
- Estimar las eficiencias de remoción de la DBO del sistema

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0.70 * t^{-0.50})$$

Donde:

- E_{DBO} = Eficiencia de remoción de la DBO
- t = Tiempo de residencia hidráulica, en horas
- Estimar las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final

$$C_{efl} = S_o - \frac{(E * S_o)}{100}$$

Donde:

- C_{efl} = Concentración de DQO o DBO en el efluente final, en kgDQO/m³
- E = Eficiencia de remoción de la DBO, en %
- S_o = Concentración de sustrato en el afluente, en kgDQO/m³

- Calcular la producción teórica del metano

$$DQO_{CH_4} = Q_{ip} * [(S_o - C_{efl}) - Y_{obs} * S_o]$$

Donde:

- DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida a metano, en $kgDQO_{CH_4}/d$
- Q_{ip} = Caudal afluente promedio, en m^3/d
- S_o = Concentración de sustrato en el afluente, en $kgDQO/m^3$
- C_{efl} = Concentración de DQO o DBO en el efluente final, en $kgDQO/m^3$
- Y_{obs} = Coeficiente de producción de sólidos en el sistema, en términos de DQO (0.11 a 0.23 $kgDQO_{lodo}/kgDQO_{aplicada}$)

$$K(t) = \frac{P + K_{DQO}}{[R * (273 + T)]}$$

Donde:

- $K(t)$ = Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del reactor, en $kgDQO, m^3$
- P = Presión atmosférica (1 atm)
- K_{DQO} = DQO correspondiente a una mol de CH_4 , (64gDQO/mol)
- R = Constante del gas (0.08206 atm L/mol K)
- T = Temperatura de operación del reactor, en $^{\circ}C$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

Donde:

- Q_{CH_4} = Producción de metano volumétrico, en m^3/d
- DQO_{CH_4} = Carga de DQO convertida a metano, en $kgDQO_{CH_4}/d$

- **K(t)** = Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del reactor, en kgDQO,m³
- Calcular la producción del biogas

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas, el porcentaje de metano en el biogás generalmente está entre 70 y 80 por ciento.

$$Qg = \frac{Q_{CH4}}{0.75}$$

Donde:

- **Qg** = Producción del biogás esperado, en m³/m²d
- **Q_{CH4}** = Producción de metano volumétrico, en m³/d
- **0.75** = Porcentaje de metano en el biogás
- Dimensionar el colector del gas

Establecer el número de colectores de gas (N) y la longitud de cada colector (Lg), calcular la longitud total del colector de gas (Lt), elegir el ancho de la parte superior del colector del gas (Ag) y calcular Atg y Kg.

Área total del colector del gas (Atg) en la parte superior:

$$Atg = Lt * Ag$$

Calcular la tasa de liberación de biogás en el colector de gas (Kg)

$$Kg = \frac{Qg}{Atg}$$

- Dimensionar las aberturas del compartimiento del sedimentador

Establecer el número de aberturas simples y la longitud de cada abertura (La), calcular la longitud equivalente de operaciones simples (Lt), establecer el ancho de cada abertura (Aa), calcular el área total de las aberturas (Ata) y verificar que las velocidades a través de las aberturas cumplan con lo establecido en la Tabla 10.

Área total de las aberturas (A_{ta}):

$$A_{ta} = L_t * A_a$$

Verificación de las velocidades a través de las aberturas (v_{ab}):

Para Q_{ip} :

$$v_{ab} = \frac{Q_{ip}}{A_{ta}}$$

Para $Q_{max/h}$:

$$v_{ab} = \frac{Q_{max/h}}{A_{ta}}$$

Donde:

- v_{ab} = Velocidad a través de las aberturas, en m/d
- Q_{ip} = Caudal afluente promedio, en m^3/d
- $Q_{max/h}$ = Caudal máximo horario, en m^3/d
- A_{ta} = Área total de las aberturas, en m^2
- Dimensionar el compartimiento del sedimentador

Establecer el número de compartimientos del sedimentador y la longitud de cada sedimentador (L_s), calcular la longitud total del sedimentador (L_t), establecer el ancho de cada colector de gas (A_g), establecer el ancho de cada compartimiento del sedimentador (A_s), calcular el ancho efectivo de cada sedimentador (A_{es}), calcular el área total del sedimentador (A_{ts}) y verificar que las tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s) cumplan con lo establecido en la Tabla 10.

Área total del sedimentador (A_{ts}):

$$A_{ts} = L_t * A_{es}$$

Verificación de las tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s):

Para Q_{ip} :

$$v_s = \frac{Q_{ip}}{A_{ts}}$$

Para $Q_{max/h}$:

$$v_s = \frac{Q_{max/h}}{A_{ts}}$$

Donde:

- V_{ab} = Tasa de carga de la superficie del sedimentador, en m/d
- Q_{ip} = Caudal afluente promedio, en m^3/d
- $Q_{max/h}$ = Caudal máximo horario, en m^3/d
- A_{ts} = Área total del sedimentador, en m^2
- Calcular la producción de lodo

$$Pl = Y * DQO_{app}(Lo)$$

Donde:

- P_1 = Producción de sólidos en el sistema, en kgSST/d
- Y = Rendimiento o coeficiente de producción de sólidos, en m^3/d
- DQO_{app} = Carga de DQO aplicada al sistema, en kgDQO/d

$$Vl = \frac{Pl}{y * \frac{C}{100}}$$

Donde:

- V_1 = Volumen de producción de lodos, en m^3/d
- P_1 = Producción de sólidos en el sistema, en kgSST/d

- γ = Densidad del lodo (usualmente en el orden de 1.020 a 1.040), en kg/m³, en kgDQO/d
- C_s = Concentración de sólidos en el lodo, en %

3.7.14. Dimensionamiento del lecho de secado

Estos lechos son rectangulares de 4 a 6 m de ancho y una longitud de 8 a 12 m.

- Partiendo de aquí se establecen los valores de cada dimensión y se calcula el área del lecho.

$$A_L = a * L$$

Donde:

- A_L = Área del lecho de secado, en m²
- a = Ancho del lecho, en m
- L = Longitud del lecho, en m
- Se calcula el volumen de lodos producidos cada 15 días

$$V_{I15} = V_l * 15$$

Donde:

- V_{I15} = Volumen de lodos acumulados en 15 días, en m³
- V_l = Volumen de producción de lodos, en m³/d
- **15** = Tiempo de acumulación del lodo, en días
- Se calcula la altura del lecho de secado

$$H = \frac{V_{I15}}{A_L}$$

Donde:

- H = Altura del lecho de secado, en
- V_{I15} = Volumen de lodos acumulados en 15 días, en m³

- $A_L = \text{Área del lecho de secado, en m}^2$

3.7.15. Diseño de la cámara de cloración

- Determinar el caudal máximo, mínimo y promedio en m^3/h para el diseño.
- Adoptar valores para la altura, el ancho de la cámara y el tirante líquido.
- Escoger el tiempo de residencia, el cual no debe ser menor a 15 minutos con base en el caudal medio diario.
- Calcular el volumen de cada cámara de contacto (V_{CC})

$$V_{CC} = T * Q_{max}$$

Donde:

- $V_{CC} = \text{Volumen de cada cámara de contacto, en m}^3$
- $T = \text{Tiempo de residencia, en h}$
- $Q_{max} = \text{Caudal máximo horario, en m}^3/\text{h}$
- Calcular el área de la cámara de cloración en base a la altura seleccionada

$$A_{CC} = \frac{V_{CC}}{H}$$

Donde:

- $A_{CC} = \text{Área de cada cámara de contacto, en m}^2$
- $V_{CC} = \text{Volumen de cada cámara de contacto, en m}^3$
- $H = \text{Altura de la cámara de cloración, en m}$
- Calcular el largo del canal en base al ancho seleccionado y el área obtenida

$$L = \frac{A_{CC}}{A}$$

Donde:

- $L = \text{Largo de la cámara de cloración, en m}$

- A_{cc} = Área de cada cámara de contacto, en m^2
- A = Ancho de la cámara de cloración, en m
- Verificar que la relación Largo-Ancho cumpla con la norma

$$\frac{L}{A} > 40$$

- Calcular la velocidad de circulación en la cámara de cloración y verificar que cumpla con la norma

$$Vel = \frac{Q_{max}}{A * H} < 0.075 \text{ m/s}$$

Donde:

- Vel = Velocidad de circulación en la cámara de cloración, en m/s
- Q_{max} = Caudal máximo horario, en m^3/h
- A = Ancho de la cámara de cloración, en m
- H = Altura de la cámara de cloración, en m
- En función de los coliformes de ingreso y salida (admisibles) se calcula la cantidad de cloro residual C_R necesario con la siguiente expresión:

$$C_r = \frac{\left(\frac{N_0}{N_e}\right)^{1/3} - 1}{0.23 * t_r}$$

Donde:

- C_r = Cloro residual, en mg/l
- N_0 = Coliformes de afluente crudo, en NMP/100ml
- N_e = Coliformes admisibles en efluente, en NMP/100ml
- t_r = Tiempo de permanencia, en min

- Una vez determinado el cloro residual necesario se ingresa a la Figura 5, que relaciona Cr y Cl2 y se obtiene la cantidad de cloro libre puro a dosificar

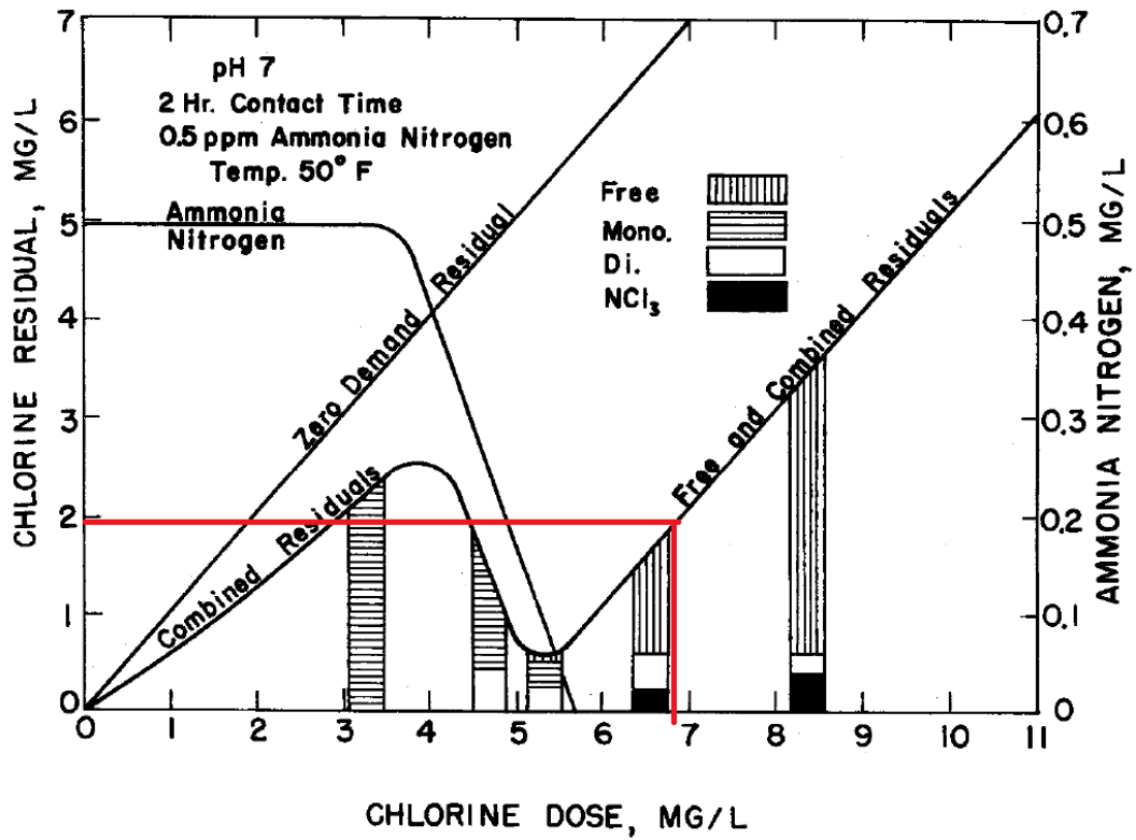


Ilustración 5: Dosificación de cloro vs. Cloro residual

Fuente: Triunfo, L., 2020

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua

RESULTADOS DE ANÁLISIS		
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
Coliformes totales	11,000,000	NMP/100 ml
pH	7.73	N/A
Sólidos suspendidos totales	96	mg/L
Fósforo total	4.3	mg/L
Aceite y grasa	5.3	mg/L
Oxígeno disuelto	2.74	mg/L
Demanda bioquímica de oxígenos	131	mg/L
Demanda química de oxígeno	265	mg/L

Tabla 13: Resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua residual doméstica del Ensanche Ozama, según analítica realizada por GESA LAB (ver ANEXO I)

Fuente: Propia (Guevara y Rojas, 2021)

Comparando los valores de las concentraciones físicos, químicos y biológicos obtenidos con la composición típica de aguas residuales domésticas de la Tabla 1, podemos confirmar que los resultados del estudio dan una concentración de agua residual de tipo **débil**.

4.2. Selección del tipo de tratamiento necesario

Nuestra selección del tipo de tratamiento a aplicar a estas aguas residuales respondieron a los criterios de: costo, facilidad de operación y mantenimiento del sistema. Además de contar con las tecnologías necesarias para remover en mayor cantidad los contaminantes del agua y que estas cuenten con la calidad establecida por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MIMARENA) para ser vertidas en su cuerpo receptor original.

Como los resultados del estudio dan una concentración de agua residual de tipo débil, en este diseño se ha optado por un pretratamiento, un tratamiento secundario con lecho de secado de lodos y una cámara de cloración.

4.3. Entrada del afluente al sistema de tratamiento

La tubería del alcantarillado sanitario será desviada desde su penúltimo registro hacia donde estará ubicada la unidad de pretratamiento de la planta. Esto se hará para que la distribución de las unidades que componen el sistema sea eficiente y pueda ser aprovechado todo el espacio destinado para la ubicación de la planta de tratamiento.

Para este desvío serán utilizadas la misma tubería de 21" de PVC de la que ya está hecho el alcantarillado sanitario del sector y esta depositará el afluente en el canal de aproximación antes de la rejilla, que se especificará sus dimensiones más adelante.

4.4. Unidades que componen la planta de tratamiento de aguas residuales

Esta planta será conformada por las siguientes unidades:

1. Pretratamiento
2. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)
3. Lecho de Secado
4. Cámara de cloración

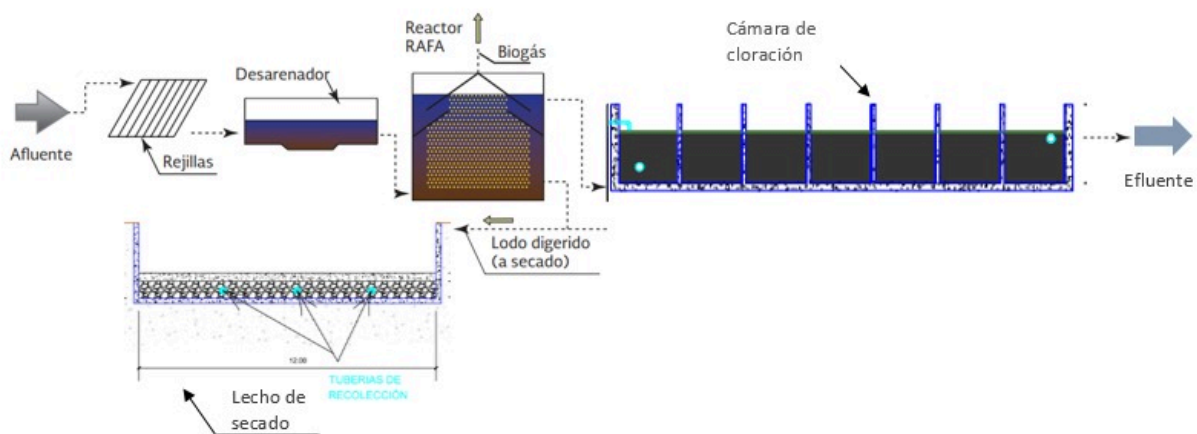


Ilustración 6: Configuración de un RAFA seguido de una cámara de cloración

Fuente: Adaptado de Conagua, 2015

4.5. Descripción de las unidades

La planta iniciará con un pre-tratamiento, cuya finalidad es remover los sólidos arenosos y gruesos arrastrados por el agua residual por medio de: rejillas de limpieza manual, desarenador horizontal y una canaleta Parshall prefabricada.

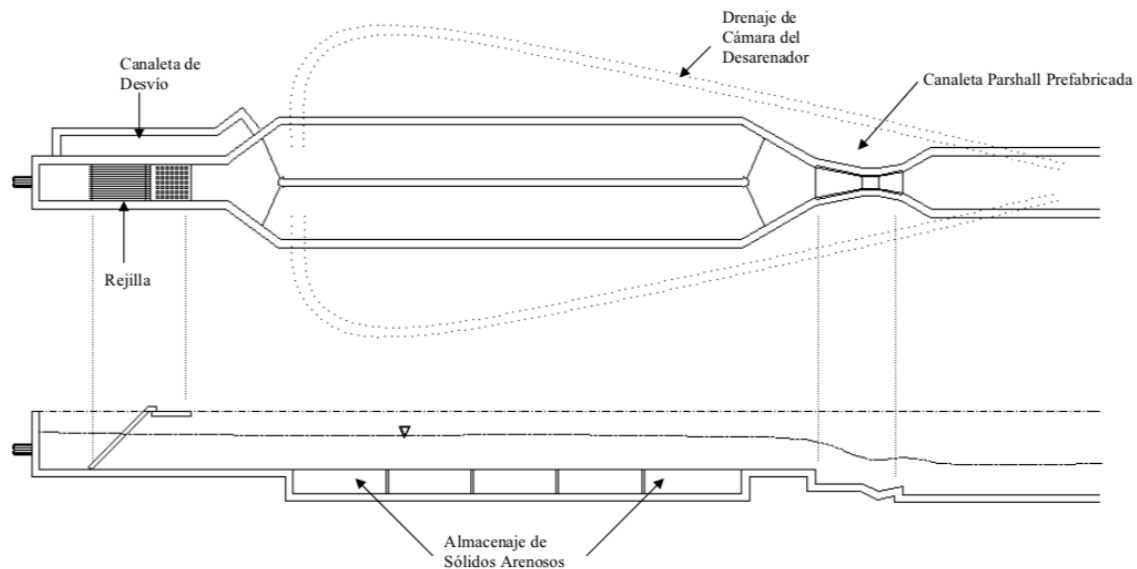


Ilustración 7: Instalación recomendada de rejilla, desarenador horizontal con dos cámaras, y canaleta Parshall para el control de velocidad y medición de caudal

Fuente: Oakley y Salguero, 2011

4.5.1 Rejillas

Una unidad de rejillas consiste de barras de acero verticales o inclinadas espaciadas a intervalos iguales, situadas en forma perpendicular al canal a través del cual fluye el agua residual. Las rejillas son usadas antes de las bombas para el manejo de agua residual, medidores, desarenadores y sedimentadores primarios, y en obras de desvío. Su principal función, junto con un sistema de colección, es prevenir que troncos, madera, tocones, botellas de plástico y otros objetos voluminosos entren a la planta de tratamiento.

Las rejillas pueden ser limpiadas manual o mecánicamente. Si la limpieza no se realiza con frecuencia, la remoción de los sólidos atrapados puede provocar turbulencia cuando la velocidad de flujo es alta; una velocidad alta reduce la eficiencia de captura. Cuando

un limpiador mecánico es operado intermitentemente, la interferencia con el flujo puede mantenerse a un nivel mínimo. (Noyola, A., Vega, E., Ramos J. & Calderón C., 2000)

4.5.2. Desarenadores

Los desarenadores se instalan para:

- (1) Proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste.
- (2) Reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones.
- (3) Reducción de la frecuencia de limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de arenas.

El tipo de desarenador más antiguo empleado en el tratamiento de las aguas residuales es el desarenador de flujo horizontal con control de velocidad. Consisten en reducir la velocidad de flujo del agua con el fin de que las partículas sólidas que se encuentran suspendidas se decanten y se depositen en el fondo. Esto se logra ensanchando el canal en un tramo, en donde existirán canales paralelos que ayuden en la limpieza de las partículas depositadas.

El proyecto de desarenadores de flujo horizontal deberá realizarse de tal forma que, bajo las condiciones más adversas posibles, la partícula de arena más ligera alcance el fondo del canal antes de llegar al extremo del mismo.

Estas unidades se proyectan de modo que se mantenga una velocidad lo más cercana posible, a 0,3 m/s, y que proporcione suficiente tiempo como para que sedimenten en el fondo del canal las partículas de arena. La velocidad de diseño indicada permite la circulación a través de la unidad de la mayor parte de la materia orgánica y la puesta en suspensión de todas aquellas partículas orgánicas que hayan sedimentado, pero permite la sedimentación de la arena pesada.

La extracción de las arenas de los desarenadores de flujo horizontal se suele llevar a cabo mediante un mecanismo transportador dotado de rasquetas o cangilones. La elevación de las arenas para su posterior lavado y eliminación se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En ocasiones, en plantas de pequeño tamaño, el lavado de las arenas se realiza manualmente.

Se debe medir el caudal y la velocidad mediante un canal Parshall para mantener controlado el flujo de agua. (Metcalf & Eddy, 1996)

4.5.3. Canaleta Parshall

La canaleta Parshall es una estructura hidráulica utilizada comúnmente para la medición del caudal en canales abiertos y para la mezcla rápida de sustancias. Muy usada en plantas de potabilización de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales y distritos de riego. Fue inventada por Ralph L. Parshall en 1920, quien estableció sus dimensiones a partir de ecuaciones que ajustan el diseño a los requisitos de quien las aplica. Entre las ventajas de su uso está la conversión de energía de posición en energía de velocidad, pérdidas mínimas de energía y que no permite la sedimentación como si pasa con otras estructuras de medición (Chow, 2003).

Una canaleta Parshall prefabricada después del desarenador; se utiliza para medir caudales y controlar la velocidad horizontal en los canales de rejilla y desarenador. (Oakley S. & Salguero L, 2011)

4.5.4. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

El proceso anaerobio es un proceso usado en el tratamiento biológico de aguas residuales, así como para el tratamiento de lodos y residuos agrícolas, los compuestos orgánicos presentes en la materia a tratar son convertidos a metano, bióxido de carbono y masa microbiana principalmente. El proceso involucra un complicado sistema de reacciones bioquímicas. Representa una solución viable para el tratamiento de aguas y lodos

residuales debido a su bajo consumo de energía y su capacidad de tratar desechos con alta carga orgánica.

Los procesos anaerobios tienen bajos requerimientos energéticos y generan biogás. En el tratamiento de las aguas residuales se producen pocos lodos de purga y se estabiliza la materia orgánica manteniendo los nutrientes fertilizantes. Se han aplicado en el manejo de residuos orgánicos rurales (animales y agrícolas), lodos residuales de plantas de tratamiento y en el tratamiento de aguas residuales, tanto industriales como domésticas. El tratamiento anaerobio de efluentes líquidos es una tecnología que se ha aplicado para descontaminar aguas residuales de una amplia variedad de industrias. La digestión anaerobia reduce el volumen de lodos y facilita el desaguado (Lawler, 1986)

La geometría de un RAFA, corresponde a un tanque circular o rectangular que puede estar completamente tapado y por lo que en este caso sólo se podrán observar los tubos de recolección de biogás. En otros casos se podrá observar en la zona superior del reactor, el sedimentador, los vertedores y el sistema de recolección de gas. El recolector de biogás puede encontrarse, ya sea entre dos unidades de sedimentación o sobre el borde del sedimentador.

En el reactor anaerobio de flujo ascendente, el agua residual a tratar es conducida desde la parte superior del reactor (tanque) hacia el fondo del mismo por medio de un sistema de tuberías. El afluente fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos (microorganismos anaerobios) llevándose a cabo de esta forma el tratamiento del agua residual. El biogás producido en condiciones anaerobias (principalmente metano y dióxido de carbono) genera una circulación interior (mezclado). El biogás, el lodo y el líquido tratado ascienden a la parte superior del reactor, en donde entran en contacto con deflectores que permiten la separación del biogás y la sedimentación del lodo. El biogás

es capturado en la campaña de recolección que se encuentran en la parte superior del reactor. El líquido tratado (efluente) sale por la parte superior. (CONAGUA, 2015)

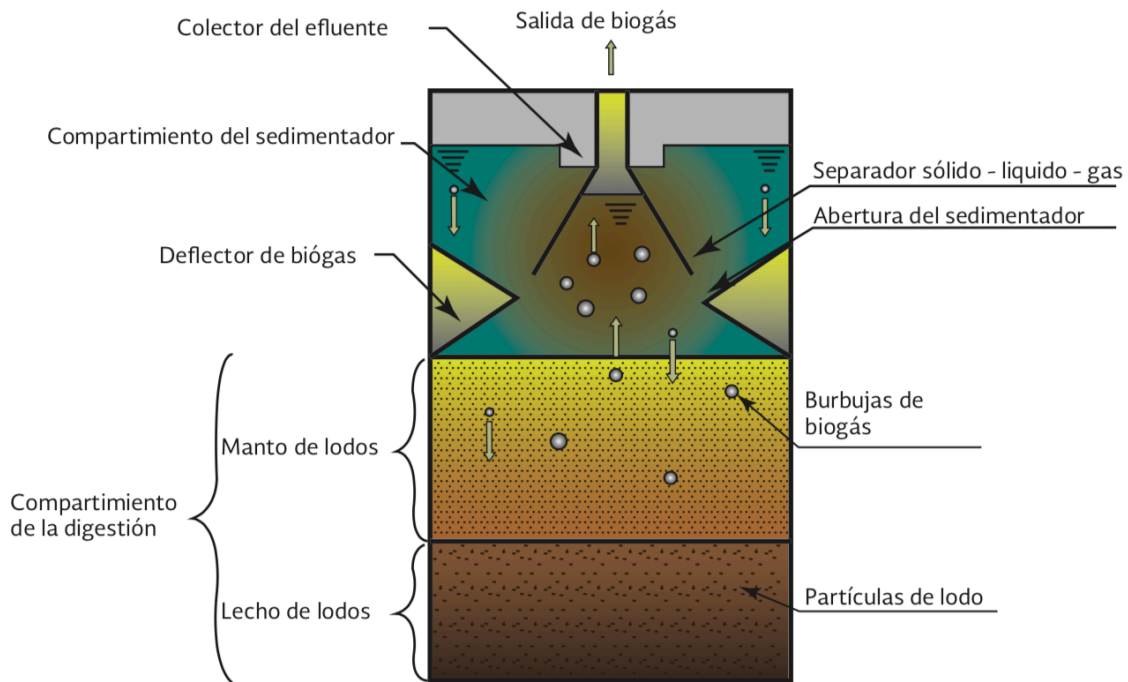


Ilustración 8: Dibujo esquemático de un reactor anaerobio de flujo ascendente

Fuente: CONAGUA, 2015

4.5.5. Lecho de secado

Los lodos digeridos o estabilizados necesitan secarse dada la cantidad de agua que todavía contienen. El método más simple es el de deshidratación en lechos o eras de secado, los cuales están formados por un sistema de drenaje (normalmente constituido por tuberías de concreto poroso), así como por una capa de grava de unos 30 cm de espesor y otra de arena de diferentes granulometrías con unos 15 cm de grosor. La arena en contacto con el lodo suele tener de 0.5 a 2.5 mm de tamaño efectivo y un coeficiente de uniformidad inferior a 5. Estos lechos son rectangulares de 4 a 6 m de ancho y una longitud de 8 a 12 m.

El secado por infiltración es el más importante y tiene lugar en las primeras horas. Posteriormente, actúa la evaporación y ella es la responsable del agrietamiento de la capa

superior del lecho de lodo. El aspecto de las grietas indica someramente cómo ha sido la digestión del lodo: pocas y pequeñas denotan un lodo bien digerido; muchas y grandes, indican que el lodo digerido es rico en agua por su contenido en lodos activos; y pocas grietas y muy grandes denotan un lodo mal digerido. La superficie de secado varía según el clima, pues las condiciones meteorológicas, como es natural, influyen grandemente en el secado por evaporación. El tiempo de secado depende de las condiciones climáticas, si estas son favorables, un período de 10 a 15 días es suficiente para alcanzar niveles de humedad del 60%. El espesor de la capa de lodo que se vierte sobre el lecho, también varía de acuerdo con el clima, en España dicho espesor es de 25 cm, en climas moderadamente fríos se ha observado que un espesor de 8 cm es adecuado. (Noyola, A., Vega, E., Ramos, J., Calderón, C., 2000)

4.5.6. Cámara de Cloración

La cloración de aguas residuales es un método de desinfección con cloro utilizado en los tratamientos de aguas residuales. Sus objetivos son: evitar la transmisión de enfermedades y evitar el desarrollo de algas microscópicas que enturbien el agua.

Se agrega cloro al agua residual en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, formando compuestos orgánicos de cloro y de cloraminas. (Valdivielso, A.)

El agua resultante del RAFA pasa por la cámara de cloración para su desinfección. La cámara de contacto donde se realizará la desinfección del líquido tratado se ubicará en forma independiente. (Triunfo, L., 2020)

4.6. Dimensiones de las unidades

4.6.1. Pretratamiento

El ancho del canal de aproximación antes de la rejilla, como podemos confirmar con el Anexo B.11, será de 1.31 m y debe tener una canaleta para desviar el afluente durante

época de emergencias o cuando el operador no esté disponible para limpiar las rejillas, para estas se asumió un ancho de barras de 15 mm y un espaciamiento de 50 mm entre ellas, para que las heces humanas pasen por la rejilla sin ser retenidas. Además, la inclinación con la vertical de la rejilla será de 60° para que el material retenido pueda ser removido fácilmente. El material de construcción de las barras y la plataforma de drenaje será de acero galvanizado, para que la estructura sea resistente a la corrosión.

Una vez el agua pase por las rejillas, el flujo se dirige al desarenador de flujo horizontal, el cual tiene una longitud de 15 m, un ancho de 2.02 m y una profundidad de 1 m, según los resultados del Anexo B.10. Este cuenta con dos cámaras cuya función es la de remover los sólidos arenosos y funciona desviando el caudal a una cámara y drenando la otra para sacar los sólidos arenosos.

Continuando el proceso, el flujo debe pasar por la canaleta Parshall prefabricada que servirá para controlar el nivel de agua, la velocidad horizontal en el desarenador y medir el caudal que realmente ingresará al R.A.F.A, esta tiene un ancho de garganta de 0.305 m.

Al terminar el proceso de pre-tratamiento el flujo se dirige a una cámara de repartición, la cual se encarga de distribuir el caudal entre los diferentes módulos del R.A.F.A.

4.6.2. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

El R.A.F.A constará de 6 módulos, cada uno de 26m x 6m y una profundidad de 4m, para un área total de 936 m² y volumen total de 3,744 m³. Cada módulo tendrá un total de 80 tubos de distribución del afluente, 20 distribuidos de forma longitudinal y 4 de forma transversal, cuyo diámetro será de 2" para permitir la velocidad de flujo más alta en su extremo inferior.

Se estima que este reactor tendrá una eficiencia de remoción del 67% de la DQO y 75% de la DBO. Producirá un volumen aproximadamente de 715 m³/d de biogás, el cual será

recolectado de cada módulo por los colectores de gas, cada uno con una longitud de 26 m y un ancho en la parte superior de 0.20 m.

En cada módulo se utilizará un sedimentador o separador trifásico, que se encargará de la separación del lodo, agua y el biogás producido. Cada sedimentador tendrá una longitud de 26 m, un ancho efectivo de compartimiento de 3.75 m y 2 aberturas de 0.65 m de ancho.

La salida del efluente de agua tratada del R.A.F.A será por la parte superior, mediante tubos perforados sumergidos con una pendiente de 1% para evitar su taponamiento.

Los cálculos referentes al R.A.F.A pueden verse en el Anexo B.12.

4.6.3. Lecho de secado de lodos

El sistema constará de un lecho de secado de lodos, que se encargará de deshidratar los lodos digeridos procedentes del R.A.F.A. mediante la infiltración y evaporación del agua contenida en los lodos.

El lecho tendrá unas dimensiones de 6 m de ancho, 12 m de largo y 3 m de altura. Se dedicará 1 metro de grava y arena, distribuido en 66 cm de arena de diferentes granulometrías en contacto con el lodo y 34 cm de grava en el fondo.

El lodo procedente del digestor entrará por gravedad al lecho y no por bombeo, con el fin de impedir la desgasificación del lodo. El tiempo de secado que se dedicará a cada carga de lodos será de 10 a 15 días, dependiendo de los factores climáticos.

Los cálculos referentes al lecho de secado de lodos pueden verse en el Anexo B.13.

4.6.4. Laberinto de cloración

Por último, el tratamiento terminará con un sistema de cloración a través de un laberinto de cloración que tendrá una longitud de canal total de 84 m, un ancho de 1.5 m y una altura de 2 m, de la cual 1.5 m será la altura del tirante de agua.

Para una correcta desinfección con cloro se inyectará hipoclorito de sodio al 10 % en la cañería de ingreso a la cámara de cloración en una cantidad de 6,4 mg/l de cloro activo, mediante una bomba dosificadora de desplazamiento positivo accionada por solenoide, para garantizar la eliminación necesaria de patógenos y garantizar el nivel de coliformes totales y de cloro residual en los valores máximos de descarga, que son 1000 NMP/100ml y 0.05 mg/L, respectivamente.

El efluente saldrá del laberinto listo para su vertido en el cauce del Río Ozama por medio de una tubería colocada a 1.30 m, donde el agua saldrá por rebose, para mantener el menor impacto posible en el cuerpo receptor.

Los cálculos referentes al laberinto de cloración pueden verse en el Anexo B.14.

4.7. Ubicación de la P.T.A.R.



Ilustración 9: Terreno propuesto para la planta de tratamiento

Fuente: Google Earth, 2021

Para la selección del terreno donde se propone ubicar la planta de tratamiento, se evaluó la disposición del mismo, la cercanía al registro de salida y al cuerpo hídrico receptor y la altimetría, por lo que entendemos que lo recomendable sería ubicar la planta de tratamiento en este terreno que actualmente no tiene ningún uso, en el está ubicado el registro de salida del alcantarillado sanitario de la zona, está a una orilla al Río Ozama y posee una superficie aproximada a 32,000 m², lo que es suficiente espacio para la construcción de esta obra.

CONCLUSIONES

Después de un largo período de trabajo en las cercanías del Río Ozama e incluso haberlo navegado en bote, y ver que todos los sistema de drenaje de aguas residuales de los sectores de alrededor caen directamente al río sin un previo tratamiento, entendimos que con una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, en este caso para el sector Ensanche Ozama, se podría disminuir la contaminación ambiental y las enfermedades producidas a raíz de ella, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los habitantes y la del río.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las aguas del registro colector del alcantarillado sanitario del Ensanche Ozama, se seleccionaron los procesos adecuados para un tratamiento eficiente.

Concluimos que el tipo de tratamiento que se debe aplicar a estas aguas es de tipo físico y biológico. El tratamiento físico se llevará a cabo a través de la etapa de pretratamiento donde, por medio de rejillas y un desarenador de flujo horizontal, serán removidos los sólidos gruesos y arenosos que normalmente vienen de forma suspendida en el agua residual y que pueden causar problemas nocivos en el funcionamiento del tratamiento a continuar, además esto previene una producción excesiva de lodos al finalizar el tratamiento. En este diseño se optó por no incluir un tratamiento primario de aguas residuales sino que, elegimos aplicar un tratamiento secundario por medio de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), ya que este es suficiente para degradar sustancialmente el contenido biológico, la materia orgánica y los sólidos suspendidos del agua residual.

El RAFA representa una solución viable para el tratamiento de aguas y lodos residuales debido a su bajo consumo de energía y su capacidad de tratar desechos con alta carga orgánica. En este reactor se trata el agua, los lodos y los gases, a través de un proceso de

separación trifásica o sedimentador. En este diseño se prevee una eficiencia de remoción de DQO y DBO de 67% y 75%, respectivamente. Luego de terminar el tratamiento secundario los lodos digeridos se desplazan por gravedad a un lecho de secado, donde son deshidratados en un lapso de tiempo de 10 a 15 días y son removidos y transportados a su disposición final.

La eliminación de patógenos en el reactor anaerobio de flujo ascendente no es suficiente, es por ello que también se optó por un sistema de desinfección a través de un laberinto de cloración, donde se le agregará cloro al agua residual en cantidad suficiente para ser desinfectada, completando así el sistema de tratamiento.

Finalmente, después de todo este proceso el agua estará lista para su disposición final. El sistema diseñado es el idóneo para verter el agua nuevamente al río con los niveles de calidad adecuados establecidos en la norma de control de descargas del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

RECOMENDACIONES

Es altamente recomendable que antes de construir la planta depuradora se realicen campañas de minimización de caudales de infiltración, afluentes y conexiones erradas al sistema, pues estos aumentan innecesariamente el tamaño de la planta y por ende los costos.

Se recomienda que en el sistema diseñado se ejecuten las siguientes acciones:

- Mantener en buenas condiciones de organización y limpieza el entorno general de la PTAR.
- Realizar mediciones de caudales con un registro histórico.
- Buscar un método de alimentación que permita mantener un caudal de entrada constante para evitar sequías en el sistema.
- Limpiar constantemente las rejilla y el desarenador. El material debe ser retirado diariamente de forma manual con un rastro y enterrado inmediatamente después de sacarlos con el mínimo de manejo por parte de los operadores.
- El material de construcción de las barras y la plataforma de drenaje debe ser resistente a la corrosión; puede utilizarse acero inoxidable, acero galvanizado o aluminio en su construcción.
- Vigilancia adecuada del funcionamiento del RAFA que evite el arrastre de sólidos.
- El sistema de distribución del afluente y los canales del efluente del RAFA debe ser limpiados diariamente.
- El material de construcción del RAFA debe ser resistente a la corrosión, el hormigón y el acero combinados con un recubrimiento interior de base epóxica son los materiales más comúnmente utilizados por razones de construcción y

costos. Para el separador trifásico del reactor, se recomiendan materiales no corrosivos menos voluminosos, como PVC, fibra de vidrio o acero inoxidable.

- Además de las capacitaciones técnicas necesarias para las propias actividades de administración, operación y mantenimiento del acueducto, se recomienda la capacitación a los operarios, en aspectos de salud y seguridad laboral, y en prevención, mitigación y preparación ante emergencias y desastres.
- La superficie del reactor debe ser cubierta para minimizar el desprendimiento de malos olores.
- Se debe prever la remoción de natas y material flotante en la zona de sedimentación.
- Realizar análisis fisicoquímicos y bacteriológicos a los lodos digeridos procedentes del R.A.F.A., para establecer su debido aprovechamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuatecnica S.A.S. (2019).** Tratamiento Secundario de Aguas Residuales. 2021, de .
Sitio web: <https://acuatecnica.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales/>
- Aguamarket. (s.f).** Organismos patógenos. 2021, Sitio web:
<https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3779&termino=Organismos+patogenos>
- Arriols, E. (2018).** Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican. 2021, de Ecología verde Sitio web: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Ayuntamiento de Siero. (s.f).** 2021, de Contratación del Estado Sitio web:
<https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/f70c4129-f686-4e73-8a93-664e9c834a3b/DOC20160628153827Anexo+calculo+sanamiento-935.pdf?MOD=AJPERES>
- Báez, G. & Castillo, K. (2019).** Informe investigativo de Departamento de Planificación Urbana del Ayuntamiento del Municipio de Santo Domingo Este : Planificación e identificación del Polígono Central y el Centro o Casco Histórico. [Diapositiva de PowerPoint]. Recuperado 14 Julio 2021 de <https://www.sismap.gob.do/Municipal/uploads/evidencias/636862774656749393-19-febrero-2019-Estudio-del-Municipio-Ayuntamiento-Santo-Domingo-Este.pdf>
- Chow, V., & Saldarriaga, J. (1994).** Hidráulica de Canales Abiertos . Santafé de Bogotá, Colombia : McGraw Hil. Obtenido de Hidraulica de Canales Abiertos .
- CONAGUA (2015).** Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. En Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento(92). México: SEMARNAT.

- Cyclus. (s.f.).** Digestión Anaerobia. 2021, de . Sitio web:
<https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-secundario/digestion-anaerobia/>
- Cyclus. (s.f.).** Tratamiento primario. 2021, de . Sitio web:
<https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>
- Cyclus. (s.f.).** Tratamiento Terciario. 2021, de . Sitio web:
<https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/>
- De Frias, E. (2018).** Geografía Urbana de Santo Domingo Este (SDE) EDUpunto.com [Diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/edefrias/geografa-urbana-de-santo-domingo-este-sde>
- ECOMAR (2021).** ¿Qué son las aguas residuales?. 2021. Sitio web:
<https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/>
- Farias, B. (2018).** Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I). iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>
- Gonzales, C. (2011).** Monitoreo de la calidad del agua [Diapositiva de PowerPoint]. Servicio de extensión agrícola, Recinto Universitario de Mayaguez, Universidad de Puerto Rico.
<https://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj859/maguaturbidez.pdf>
- Gutiérrez, M. B. (2018).** Ciencia la salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1805&context=ing_ambiental_sanitaria

- Hazen & Sawyer. (2016).** Introducción. En Plan Maestro del Alcantarillado Sanitario de Santo Domingo y sus Provincias(25). Santo Domingo: Caasd.
- HIDROTEC (2021).** Tipos de aguas residuales: por qué es importante conocerlas. 2021. Sitio web: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Ibérica, S. (2019).** HIPO SO5700 para el tratamiento de aguas residuales y con capacidad de oxidar H₂S. 2021, de iagua Sitio web: <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/hipo-so5700-tratamiento-aguas-residuales-y-capacidad-oxidar-h2s>
- Martínez. (2006).** Análisis de BOD₅ por el método SM 5210B. Edición 20. AAA/SOP-QA012. Pág. 20.
- Metcalf & Eddy (1991).** “Tratamiento y depuración de las aguas residuales”. Editorial labor. S.A.
- Metcalf & Eddy (1996).** Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3rd ed. McGraw-Hill. México, D.F.
- Noyola, A., Vega, E., Ramos, J., Calderón, C. (2000).** Alternativas de tratamiento de aguas residuales. México: Subcoordinación de Editorial y Gráfica.
- Oakley, S. & Salguero, L. (2011).** Tratamiento de aguas residuales domésticas en Centroamérica.
- O. (2019).** Conoce el método de observación directa. okdiario.com. <https://okdiario.com/curiosidades/conoce-metodo-observacion-directa-3628568>
- Osorio, F. (2010).** Aguas Residuales. Madrid: Albasanz.
- OXFAM (s.f.).** Intermón. blog.oxfamintermon.org. From Enfermedades transmitidas por el agua contaminada: <https://blog.oxfamintermon.org/enfermedades-transmitidas-por-el-agua-contaminada/>

- Pascual, J. (2021).** Trimestre enero-marzo 2021. En Informe estadístico(11). República Dominicana: CAASD.
- Pineda, J. (2020).** Importancia del agua. 2021, de Encolombia Sitio web: <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/importancia-del-agua/>
- Pire, C. (2019).** Las aguas residuales: tipos y características. 2021, de La contaminación Sitio web: <https://lacontaminacion.org/aguas-residuales/>
- Pradillo, B. (2016).** Parámetros de control del agua potable. 2021, de iagua Sitio web: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable.>
- Pulido, S., Miranda, V., Guzmán, M. & Molano, E. (s.f.).** Origen y Características de las aguas residuales. 2021, de PTAR-Uniminuto Sitio web: <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>
- Ramos, E. (2018).** Métodos y técnicas de investigación. Gestipolis. <https://www.gestipolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>
- Reyna, A., Paredes, C., Domínguez, G. & Santos, E. (2015).** Calidad del Agua Subterránea en el Sector Ensanche Ozama. INTEC, 16. Julio 2021, Santo Domingo, República Dominicana.
- Rodríguez, H. (2017).** Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. 1021, de iagua Sitio web: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rodríguez, L. (2020).** El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes. 2021, de iagua Sitio web: <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Rodríguez, M. (2005).** El Agua. (P. d. Aguas, Trad.) Madrid: Éfase.

- Rubio, N. (2021, 17 junio).** Los 12 tipos de técnicas de investigación: características y funciones. *Psicología y Mente*. <https://psicologiaymente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>
- Spena Group. (s.f).** Sistemas y Soluciones para cada Tipo de Tratamiento de Aguas Residuales. 2021, de . Sitio web: <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1561762342485-71e8b48a-f62b>
- Teixeira, G., Sánchez, I., Gebara, D., Dall’Aglío, M., Matsumoto, T. (2013).** Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 67, 12. 2021, De redalyc.org Base de datos.
- Triunfo, L. (2020).**
https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/5985/ITF_Laura%20Triunfo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- TSS Internacional. (s.f).** Tratamiento Secundario. 2021, de . Sitio web: <http://tssinternacional.com/tratamiento-secundario/>
- Valdivielso, A. (s.f).** ¿Qué es la cloración de aguas residuales? 2021, de *iagua* Sitio web: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-cloracion-aguas-residuales>
- Zambrano, X. & Saltos, X.. (2009).** Aguas residuales: Clasificación, características y composición. En *Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre*(49). Trabajo de grado. Ecuador.
- Zarza, L. (s.f).** ¿Qué son las aguas residuales?. 2021, de *iagua* Sitio web: <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

**ANEXO A: RESULTADOS DE ANÁLISIS
FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DEL AGUA
RESIDUAL**



INFORME ENSAYO DE LABORATORIO

Cliente:	ASHLEY GUEVARA	No. C.C./ Identificación Única:	5363-07-21	Fecha del Reporte:	05/08/2021
Atención:	ASHLEY GUEVARA	No. de Suplemento:	N/A	Localidad:	Sto. Dgo.
Dirección:	C/Rosario Ensanche Ozama, Rep. Dominicana	No. de Referencia:	N/A	No. de Cotización:	9379

Código:	737756	Fecha y hora de Colección:	28/07/2021 - 10:28 AM	Recolector:	Deivi Padilla
Tipo de Muestra:	Agua residual doméstica	Fecha y hora de Recepción:	28/07/2021 - 11:57 AM		
Descripción:	Descarga residencial Ensanche Ozama	Temperatura de Recepción:	24.6 °C		
Observación:	N/A	Temperatura de la Muestra:	N/A		

Parámetro	Método	Resultado	Unidad	Norma (Valor de Referencia)	LMD	Fecha y Hora	Analista
COLIFORMES TOTALES	SM 9221 B	11,000,000	NMP/100 ml	1000	3	28/07/2021 - 01:48 PM	KPOLINE
pH	SM 4500-H+B	7.73	N/A	6.5 - 8.5	0.01	28/07/2021 - 10:28 AM	DPADILLA
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	96	mg/L	50	1	29/07/2021 - 10:00 AM	FFABIAN
FOSFORO TOTAL	SM 4500-P-C	4.3	mg/L	2	0.02	29/07/2021 - 10:00 AM	FFABIAN
ACEITE Y GRASA	SM 5220 B	5.3	mg/L	10	0.2	29/07/2021 - 03:00 PM	KANDUJAR
OXIGENO DISUELTO	SM 2130-B	2.74	mg/L	4	0.01	28/07/2021 - 10:28 AM	DPADILLA
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO ₅	SM 5210 B	131	mg/L	50	1	29/07/2021 - 10:00 AM	FFABIAN
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	SM 5220 D	265	mg/L	250	3	29/07/2021 - 10:00 AM	FFABIAN

--- FIN DEL INFORME ---

Nota: Norma aplicada corresponde a: NA-04 Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitarios y Aguas Costeras

Leyenda: LMD = Límite Mínimo de Detección, N/A= No Aplica, ND= No Detectado, C.C. Cadena de Custodia. Todos los resultados hacen referencia únicamente a esta muestra.

Nota: GSA-LAB no valida la representatividad de la muestra en caso de haber sido tomada por el cliente



Licda. Kiany Cairo
Gerente General



Ing. Jorge Agramonte
Gerente Técnico

FO-CDC-04
Revisión: 07



Habilitación No. A07532
Ministerio de Salud Pública

ANEXO B: MEMORIA DE CÁLCULOS

B.1. Estimación de la población futura

El desarrollo de este cálculo partió desde la población inicial de 19,533 habitantes en el 2010, un período de diseño de 11 años hasta la actualidad más 20 años de diseño de la PTAR, para un total de 31 años y una tasa de crecimiento anual de 3.342%.

$$P_f = 19,533 * (1 + 0.342)^{31} = 54,119 \text{ hab}$$

B.2. Caudal medio diario de agua potable (Qmed (Ap))

Utilizando los valores de población futura de 54,119 hab y una dotación para apartamentos urbanos correspondiente a 250 L/hab*día, extraída de la Tabla 5, se desarrolló el cálculo del caudal medio diario de agua potable (Qmed (Ap)).

$$Q_{med/d} (Ar) = \frac{54,119 \text{ hab} * 250 \text{ L/hab*día}}{86,400} = 156.60 \text{ LPS}$$

B.3. Caudal medio diario de aguas residuales (Qmed (Ar))

De acuerdo con el coeficiente de retorno de 80% para población residencial y el Qmed/d (Ap) anteriormente calculado:

$$Q_{med/d} (Ar) = 0.80 * 156.60 \text{ LPS} = 125.28 \text{ LPS}$$

B.4. Factor de mayoración (F)

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + \sqrt{54,119 \text{ hab}})} = 1.10$$

B.5. Caudal máximo horario (Qmáx/h)

$$Q_{máx/h} = 1.10 * 125.28 \text{ LPS} = 137.48 \text{ LPS}$$

B.6. Caudal mínimo horario (Qmin/h)

$$Q_{min/h} = 0.5 * 125.28 \text{ LPS} = 62.64 \text{ LPS}$$

B.7. Caudal por conexiones erradas (Qe)

Para la obtención del caudal por conexiones erradas en esta investigación se utilizó un 10% del caudal máximo horario de agua residual.

$$Q_e = 0.10 * 137.48 \text{ LPS} = 13.75 \text{ LPS}$$

B.8. Caudal de infiltración (Qinf)

Para la obtención del caudal de infiltración en esta investigación se utilizó un valor de infiltración de 10 M3/KM-DIA, de acuerdo a las tuberías termoplásticas de las que está elaborado el alcantarillado sanitario del sector Ensanche Ozama.

Al igual se utilizó el factor 0.0116 para convertir de m³/d a LPS.

$$Q_i = 16.88 \text{ Km} * 10 \text{ m}^3/\text{Km-día} * 0.0116 = 1.95 \text{ LPS}$$

B.9. Caudal de diseño (Qdis)

$$Q_{dis} = 137.48 \text{ LPS} + 1.95 \text{ LPS} + 13.75 \text{ LPS} = 153.18 \text{ LPS}$$

PARÁMETROS DE DISEÑO		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Población actual (Po)	19,533	Habitantes
Tasa de crecimiento anual	3.342	%
Período de diseño	31	Años
Población futura (Pf)	54,119	Habitantes
Dotación	250	L/hab*día
Qmed (Ap)	156.60	LPS
Coeficiente de retorno (Fr)	80	%
Qmed (Ar)	125.28	LPS
Factor de mayoración (F)	1.10	-
Qmax/h	137.48	LPS
Qmin/h	62.64	LPS
Porcentaje por conexiones erradas	10	%
Q conexiones erradas	13.75	LPS
Caudal de infiltración (Qui PVC)	10	m3-km/día
Longitud de red	16.88	Km
Q infiltración	1.95	LPS
Qdis	153.18	LPS

Tabla 14: Parámetros de diseño

Fuente: Propia (Guevara y Rojas, 2021)

B.10. Diseño de pretratamiento con Canaleta Parshall

$$Q_{dis} = 0.153 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{min} = 0.062 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se asumió la relación $Q_{max}/Q_{min} = Q_{prom} \geq 5$, como factor de seguridad en la época lluviosa, entonces:

$$Q_{dis} = 0.31 \text{ m}^3/\text{s}.$$

- De la Tabla 7, se escogió el ancho de la garganta de la Canaleta Parshall

$$W = 0.305 \text{ m}$$

- Cálculo de la carga máxima en el canal del desarenador

$$H_{max} = \left[\frac{1.1 * 0.31}{2.27 * 0.305} \right]^{0.667} = 0.624 \text{ m}$$

- Cálculo R y C_r

$$R = \frac{0.31 \text{ m}^3/\text{s}}{0.062 \text{ m}^3/\text{s}} = 5$$

$$C_r = \frac{5^{1/3} - 1}{5 - 1} = 0.18$$

- Cálculo del resalto (Z)

$$Z = 0.18 * 0.624 = 0.112$$

- Cálculo de la profundidad máxima de agua en el canal del desarenador, P_{max} , medida de la cota del canal

$$P_{max} = 0.624 \text{ m} - 0.112 \text{ m} = 0.512 \text{ m}$$

- Cálculo el ancho del canal de desarenador

$$a_d = \frac{0.31}{0.512 * 0.3} = 2.02 \text{ m}$$

- Obtención del factor de C_v

$$C_v = 2.6 * 0.18^{0.5} (1 - 0.18) = 0.90$$

- Largo del canal del desarenador

$$13.5 \text{ m} \leq L \leq 16.20 \text{ m}$$

$$L = 15 \text{ m}$$

- Cálculo del volumen y la profundidad de sólidos arenosos acumulados

Se asumió que el tiempo entre limpiezas, t_{op} , es 15 días y la carga de sólidos arenosos, C_{sa} , es $0.085 \text{ m}^3/1,000\text{m}^3$, obtenido de la Tabla 8.

$$V_{sa} = (15d) * \left(0.13 \text{ m}^3/s * 86,400 \text{ s}/d\right) * (0.085\text{m}^3/1,000\text{m}^3) =$$

$$V_{sa} = 14.32 \text{ m}^3$$

$$P_{sa} = \frac{14.32\text{m}^3}{2.02\text{m} * 15\text{m}} = 0.47\text{m}$$

- Según (Oakley y Salguero, 2011) se debe seleccionar la cota del canal aguas abajo de la canaleta Parshall para asegurar la carga es igual o menor de 0.60 de la carga en el canal del desarenador, todas medidas con referencia a la base de canaleta Parshall.

B.11. Diseño de Rejillas Manuales y Canal de Aproximación

Se asumió un ancho de barras (a_b) de 15 mm y un espaciamento (e_b) de 50 mm

- Cálculo del ancho del canal de aproximación antes de la rejilla

$$a_{canal} = \frac{0.31 \frac{m^3}{s}}{0.6 * (0.512m)} * \left[\frac{15mm + 50mm}{50mm} \right] = 1.31 m$$

- Cálculo de la velocidad en el canal de aproximación y las pérdidas de carga a través de la rejilla

$$V_a = \frac{0.6}{\left(\frac{15mm + 50mm}{50mm} \right)} = 0.46 m/s$$

$$h_f = \frac{1}{0.7} * \left[\frac{0.6 m/s^2 - 0.46 m/s^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right)} \right] = 0.008 m$$

B.12. Diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

$$Q_{med}/d (Ar) = 125.28 LPS = 0.13 m^3/s = 11,232 m^3/d$$

$$Q_{max}/h = 137.48 LPS = 0.14 m^3/s = 12,096 m^3/d$$

PARÁMETROS DE DISEÑO DEL RAFA				
PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD
Gasto afluente promedio (Qip)	11,232	m^3/d	468	m^3/h
Gasto afluente máximo horario (Qmax-h)	12,096	m^3/d	504	m^3/h
DQO afluente promedio (So)	265	mg/L	0.265	kg/m^3
DBO afluente promedio (So)	131	mg/L	0.131	kg/m^3
Temperatura del agua residual	24.6	$^{\circ}C$		
Coeficiente del rendimiento de sólidos (Y)	0.18	$kgSST/kgDQO_{app}$		
Coeficiente del rendimiento de sólidos, en términos de DQO (Yobs)	0.2	$kgDQO_{lodo}/kgDQO_{app}$		
Concentración esperada de la descarga del lodo (C)	4	%		
Densidad del lodo (γ)	1,021	kg/m^3		

Tabla 15: Parámetros para el diseño del RAFA

Fuente: Propia (Guevara y Rojas, 2021)

- Carga de DQO afluente promedio (Lo):

$$Lo = (0.265 kg/m^3) * \left(11,232 m^3/d \right) = 2,976.48 KgDQO/d$$

- Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH)

De acuerdo a la Tabla 11, se adopta un t de 8 horas = 0.333 días, de acuerdo a la temperatura registrada del agua residual del muestreo, que fue 24.6° C.

- Volumen Total del Reactor (V)

$$V = \left(11,232 \text{ m}^3/\text{d} \right) * (0.333 \text{ d})$$

$$V = 3,740.26 \text{ m}^3$$

- Número de Módulos del Reactor (N)

En este diseño se establece que el número de módulos del reactor son seis, por lo que en este caso N = 6.

- Volumen de cada módulo (Vu)

$$V_u = \frac{3,740.26 \text{ m}^3}{6}$$

$$V_u = 623.38 \text{ m}^3$$

- Altura del Reactor (H)

$$H = 4 \text{ m}$$

- Área de cada Modulo (A)

$$A = \frac{623.38 \text{ m}^3}{4 \text{ m}}$$

$$A = 155.85 \text{ m}^2$$

Para una configuración de reactores rectangulares y estableciendo el ancho (a) del reactor en 6 m; donde A = l * a:

$$l = \frac{155.85 \text{ m}^2}{6 \text{ m}}$$

$$l = 26 \text{ m}$$

- Verificación del Área, Volumen y Tiempo de Residencia Hidráulica

Área total correcta:

$$At = 6 * 6 m * 26 m$$

$$At = 936 m^2$$

Volumen total correcto:

$$Vt = 936 m^2 * 4 m$$

$$Vt = 3,744 m^3$$

Tiempo de residencia hidráulica corregido:

$$t = \frac{3,744 m^3}{11,232 m^3/d}$$

$$t = 0.333 d = 8 horas$$

- Verificación de las cargas aplicadas

Carga hidráulica volumétrica:

$$CHV = \frac{11,232 m^3/d}{3,744 m^3}$$

$$CHV = 3 m^3/m^3 d$$

Carga orgánica volumétrica (COV)

$$COV = \frac{(11,232 m^3/d) * (0.265 kgDQO/m^3)}{3,744 m^3}$$

$$COV = 0.80 KgDQO/d$$

- Verificación de las velocidades del flujo ascendente

Para Q_{ip} :

$$v = \frac{11,232 m^3/d}{936 m^2}$$

$$v = 12 m/d$$

$$v = 0.5 m/h$$

Para Q_{max}/h :

$$v = \frac{12,096 \text{ m}^3/\text{d}}{936 \text{ m}^2}$$

$$v = 12.92 \text{ m/d}$$

$$v = 0.54 \text{ m/h}$$

Las velocidades de flujo ascendente encontradas están dentro de los intervalos de valores mostrados en la Tabla 10 Resumen de criterios de diseño de un RAFA.

- Sistemas de distribución del agua residual (afluente)

Estableciendo un área de influencia de $A_d = 2 \text{ m}^2$ por tubo de distribución, y considerando un lodo medio floculento y una COV menor a 1-2 kg de DQO m^3/d , de acuerdo con la Tabla 8, se calculó el número de tubos usando la ecuación siguiente:

$$Nd = \frac{936 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2}$$

$$Nd = 468 \text{ tubos de distribución}$$

Dado de que ha considerado seis módulos, cada reactor tendrá 78 tubos de distribución, estimándose ubicar de la siguiente forma:

A lo largo de la longitud de cada módulo (26 m): 20 tubos

A lo largo del ancho de cada módulo (6 m): 4 tubos

Siendo un total de 80 tubos de distribución por módulo.

- Estimación de las eficiencias de remoción de la DQO del sistema

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0.68 * 8^{-0.35})$$

$$E_{DQO} = 67\%$$

- Estimación de las eficiencias de remoción de la DBO del sistema

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0.70 * 8^{-0.50})$$

$$E_{DBO} = 75\%$$

- Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final

$$C_{efl} = 0.265 \text{ kg/m}^3 - \frac{(67 * 0.265 \text{ kg/m}^3)}{100}$$

$$C_{efl} = 87 \text{ mgDQO/L o } 0.087 \text{ kgDQO/m}^3$$

$$C_{efl} = 0.131 \text{ kg/m}^3 - \frac{(75 * 0.131 \text{ kg/m}^3)}{100}$$

$$C_{efl} = 33 \text{ mgDQO/L o } 0.033 \text{ kgDQO/m}^3$$

- Producción teórica del metano

$$DQO_{CH_4} = 11,232 \text{ m}^3/\text{d} * [(0.265 \text{ kg/m}^3 - 0.087 \text{ kgDQO/m}^3) - 0.20 \text{ kgDQO}_{\text{load}}/\text{kgDQO}_{\text{app}} * 0.265 \text{ kg/m}^3]$$

$$DQO_{CH_4} = 1,404 \text{ kgDQO/d}$$

$$K(t) = \frac{((1 \text{ atm}) * (64 \text{ gDQO/mol}))}{((0.08206 \text{ atm L/mol K}) * (273 + 24.6^\circ \text{C}))}$$

$$K(t) = 2.62 \text{ kgDQO/m}^3$$

$$Q_{CH_4} = \frac{1,404 \text{ kgDQO/d}}{2.62 \text{ kgDQO/m}^3}$$

$$Q_{CH_4} = 535.88 \text{ m}^3/\text{d}$$

- Producción del biogas

Para un contenido de metano del 75 por ciento en el biogás:

$$Q_g = \frac{535.88 \text{ m}^3/\text{d}}{0.75}$$

$$Q_g = 714.51 \text{ m}^3/\text{d o } 29.77 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dimensionamiento del colector del gas

Número de colectores de gas: 6 (1 en cada módulo)

Longitud de cada colector (Lg) = 26 m

Longitud total del colector de gas (Lt) (considerando los seis módulos):

$$L_t = 6(26 \text{ m}) = 156 \text{ m}$$

Ancho de la parte superior del colector del gas (Ag) = 0.20 m

Área total del colector del gas (A_{tg}) en la parte superior:

$$A_{tg} = (156 \text{ m}) * (0.20 \text{ m})$$

$$A_{tg} = 31.2 \text{ m}^2$$

Cálculo de la tasa de liberación de biogás en el colector de gas (K_g)

$$K_g = \frac{29.77 \text{ m}^3/\text{h}}{31.2 \text{ m}^2}$$

$$K_g = 0.95 \text{ m/h}$$

Por lo tanto, cada colector del biogás tendrá las siguientes dimensiones:

Longitud: 26 m

Ancho: 0.20 m

- Dimensionamiento de las aberturas del compartimiento del sedimentador

Como se adopta un separador de tres fases en cada módulo, entonces:

El número de aberturas simples:

12 (2 en cada módulo), junto a las paredes

Longitud de cada abertura (L_a):

$L_a = 26 \text{ m a lo largo del reactor}$

Longitud equivalente de operaciones simples (L_t):

$$L_t = 26 \text{ m} (12) = 312 \text{ m}$$

Ancho de cada abertura (A_a):

$$A_a = 0.65 \text{ m (adoptado)}$$

Área total de las aberturas (A_{ta}):

$$A_{ta} = 312 \text{ m} (0.65 \text{ m})$$

$$A_{ta} = 202.8 \text{ m}^2$$

Verificación de las velocidades a través de las aberturas (v_{ab}):

Para Q_{ip} :

$$v_{ab} = \frac{11,232 \text{ m}^3/\text{d}}{202.8 \text{ m}^2}$$

$$v_{ab} = 55.38 \text{ m/d}$$

$$v_{ab} = 2.3 \text{ m/h}$$

Para $Q_{max/h}$:

$$v_{ab} = \frac{12,096 \text{ m}^3/\text{d}}{202.8 \text{ m}^2}$$

$$v_{ab} = 59.64 \text{ m/d}$$

$$v_{ab} = 2.5 \text{ m/h}$$

Las velocidades encontradas se encuentran dentro de las recomendaciones de diseño que se muestran en la Tabla 10.

Por lo tanto, cada abertura del compartimiento del sedimentador tendrá las siguientes dimensiones:

Abertura simple:

Longitud: 26 m

Ancho: 0.65 m

- Dimensionamiento del compartimiento del sedimentador

Número de compartimientos del sedimentador:

6 (1 en cada módulo)

Longitud de cada sedimentador (L_s):

$$L_s = 26 \text{ m (a lo largo del reactor)}$$

Longitud total del sedimentador (L_{ts}):

$$L_{ts} = L_s * N$$

$$L_{ts} = (26 \text{ m}) * (6)$$

$$Lts = 156 \text{ m}$$

Ancho de cada colector de gas (Ag):

$$Ag = 0.25 \text{ m} (0.20 + 0.05 \text{ espesor de la pared})$$

Ancho de cada compartimiento del sedimentador (As):

$$As = 4 \text{ m}$$

Ancho efectivo de cada sedimentador Aes:

$$Aes = 4 \text{ m} - 0.25 \text{ m} = 3.75 \text{ m}$$

Área total del sedimentador (Ats):

$$Ats = (156 \text{ m}) * (3.75 \text{ m})$$

$$Ats = 585 \text{ m}^2$$

Verificación de las tasas de carga de superficie del sedimentador (v_s):

Para Q_{ip} :

$$v_s = \frac{11,232 \text{ m}^3/\text{d}}{585 \text{ m}^2}$$

$$v_s = 19.2 \text{ m/d}$$

$$v_s = 0.8 \text{ m/h}$$

Para $Q_{max/h}$:

$$v_s = \frac{12,096 \text{ m}^3/\text{d}}{585 \text{ m}^2}$$

$$v_s = 20.68 \text{ m/d}$$

$$v_s = 0.86 \text{ m/h}$$

Se puede observar que las tasas de carga superficial en el sedimentador se encuentran dentro de los intervalos de valores mostrados en la Tabla 10.

Por lo tanto, cada compartimiento del sedimentador tendrá las siguientes dimensiones:

Longitud: 26 m

Ancho: 3.75 m

- Producción de lodo

$$Pl = (0.18 \text{ kgSST/kgDQO}_{app}) * (2,976.48 \text{ kgDQO/d})$$

$$Pl = 535.77 \text{ kgSST/d}$$

$$V_S = \frac{535.77 \text{ kgSST/d}}{1021 \text{ kg/m}^3 * \frac{4}{100}}$$

$$V_S = 13.12 \text{ m}^3/\text{d}$$

B.13. Dimensionamiento del Lecho de Secado

Seleccionamos a = 6m y L = 12m

- Área del lecho de secado

$$A = 6\text{m} * 12\text{m} = 72$$

- Volumen de lodos cada 15 días

$$V_{S15} = 13.12 * 15 = 196.8 \text{ m}^3/\text{día}$$

- Altura del lecho de secado

$$H = \frac{196.8}{72} = 2.73 \text{ m}$$

Elegiremos 3m

Tendremos 1 metro de grava y arena, repartidas de la siguiente manera 0.66cm de grava y 0.34cm arena.

B.14. Diseño de la cámara de cloración

$$Q_{med/d} (Ar) = 125.28 \text{ LPS} = 0.13 \text{ m}^3/\text{s} = 468 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{max/h} = 137.48 \text{ LPS} = 0.14 \text{ m}^3/\text{s} = 504 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{max/h} = 62.64 \text{ LPS} = 0.06 \text{ m}^3/\text{s} = 216 \text{ m}^3/\text{h}$$

Valores adoptados

$$h = 1.5 \text{ m}$$

$$A = 1.5 \text{ m}$$

$$H = 2 \text{ m}$$

El tiempo de residencia mínimo en la cámara de contacto es de 15 minutos. Si se dimensiona la cámara de cloración con el caudal máximo horario, el volumen resultante verificará para todos los demás.

$$T = 15 \text{ min}$$

- Cálculo del volumen de cada cámara de contacto (V_{CC})

$$V_{CC} = 0.25 \text{ h} * 504 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{CC} = 126 \text{ m}^3$$

- Cálculo del área de la cámara de cloración en base a la altura seleccionada

$$A_{CC} = \frac{126 \text{ m}^3}{1.5 \text{ m}}$$

$$A_{CC} = 84 \text{ m}^2$$

- Calcular el largo del canal en base al ancho seleccionado y el área obtenida

$$L = \frac{84 \text{ m}^2}{1.5 \text{ m}}$$

$$L = 56 \text{ m}$$

- Verificar que la relación Largo-Ancho cumpla con la norma

$$\frac{L}{A} = \frac{56 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 37.33 > 40$$

- Calcular la velocidad de circulación en la cámara de cloración y verificar que cumpla con la norma

$$Vel = \frac{504 \text{ m}^3/\text{h}}{3600} = 0.14 \text{ m/s} < 0.075 \text{ m/s}$$

- En función de los coliformes de ingreso y salida (admisible) se calcula la cantidad de cloro residual C_R necesario con la siguiente expresión:

$$C_r = \frac{\left(\frac{11,000,000 \text{ NMP}/100\text{ml}}{1,000 \text{ NMP}/100\text{ml}}\right)^{1/3} - 1}{0.23 * 60 \text{ min}} = 1.54 \text{ mg/l}$$

- Una vez determinado el cloro residual necesario se ingresa a la Ilustración 5, que relaciona C_r y Cl_2 y se obtiene la cantidad de cloro libre puro a dosificar.

De la gráfica en la Ilustración 10 se obtuvo: $\text{Cl}_2 = 6.4 \text{ mg/l}$.

Se inyectará hipoclorito de sodio al 10 % en la cañería de ingreso a la cámara de cloración en una cantidad de 6,4 mg/l de cloro activo.

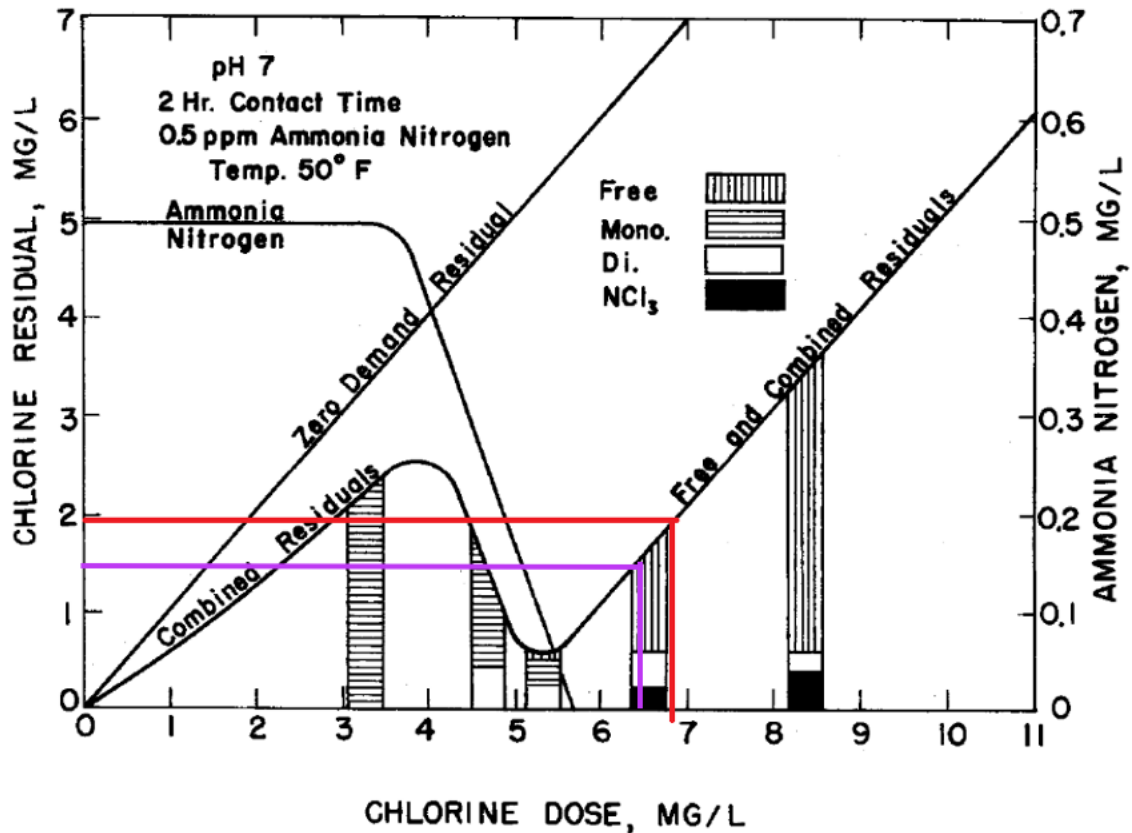


Ilustración 10: Dosificación de cloro vs. cloro residual obtenido

Fuente: Triunfo, L., 2020

- Estimación del consumo diario de cloro:

$$Q_{med/d} (Ar) = 125.28 \text{ LPS} \rightarrow 10,824,192 \text{ L/día}$$

$$1 \text{ Lt efluente} \rightarrow 6.8 \text{ mg/L}$$

$$10,824,192 \rightarrow 73,604,505.6 \text{ mg/día} \rightarrow 73.6 \text{ Kg Cl}_2/\text{día} \rightarrow 19.44 \text{ Gal/día}$$

Seleccionaremos un tanque de cloro de 600 gal.

Tiempo de duración de cloro promedio:

$$600 \text{ gal}/19.44 \text{ gal} = 30 \text{ días}$$

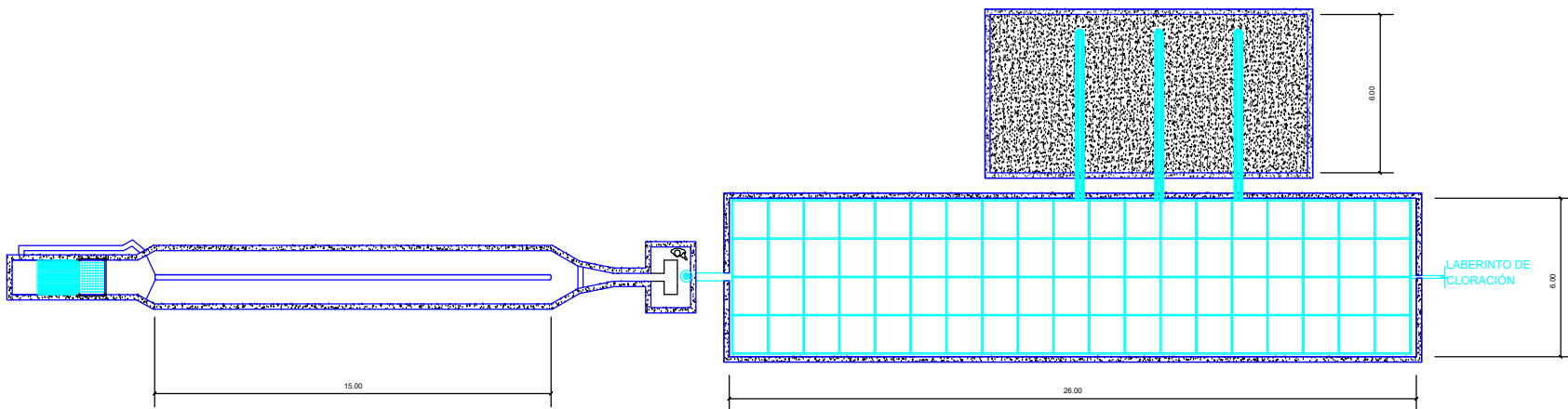
Se recomienda el uso de una bomba dosificadora de desplazamiento positivo accionada por solenoide en la distribución del cloro debido a su bajo costo, facilidad de uso, confiabilidad y alto grado de precisión. Este tipo de bombas suelen ser usadas para bajas presiones y bajos caudales:

Presión: $P < 300$ psig (20 barg),

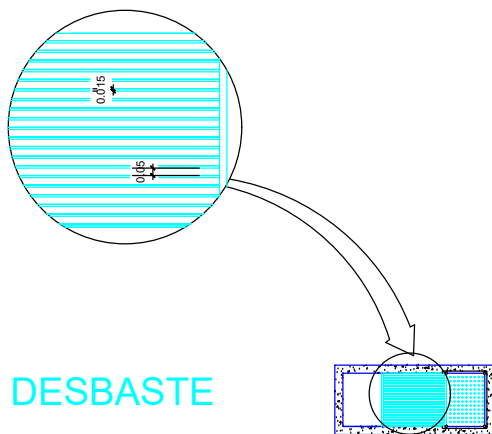
Caudal: $Q < 20$ GPH (60 l/h)

**ANEXO C: PLANO DEL ALCANTARILLADO
SANITARIO DEL ENSANCHE OZAMA**

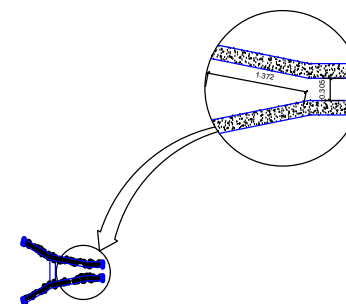
ANEXO D: PLANOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO



DESBASTE



CANAL PARSHALL



TESIS:
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
2021

ASESOR:
ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

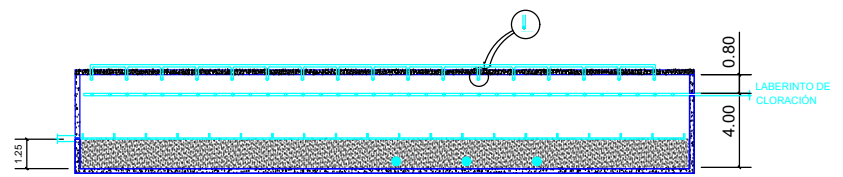
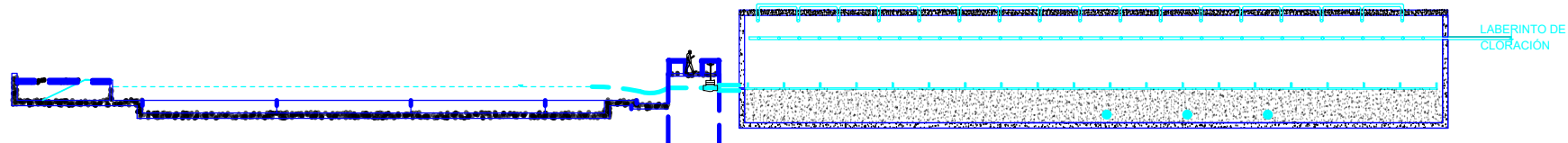
PLANO
VISTA EN PLANTA DEL
SISTEMA DE TRATAMIENTO Y
DETALLES

FECHA
24/08/21

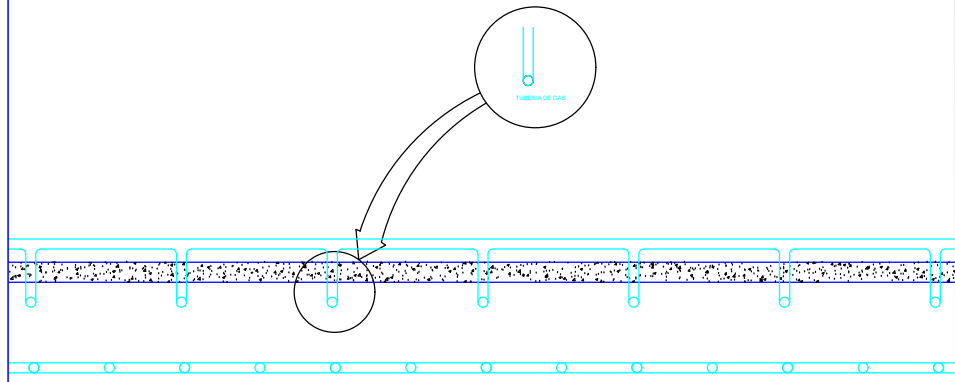
BR.: SHEYLA M. ROJAS
17-1645

BR.: ASHLEY A. GUEVARA
17-1466

HOJA
1/6



SECCIÓN TRANSVERSAL
 MODULO REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE



TESIS:
 DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
 ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
 DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
 DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
 2021

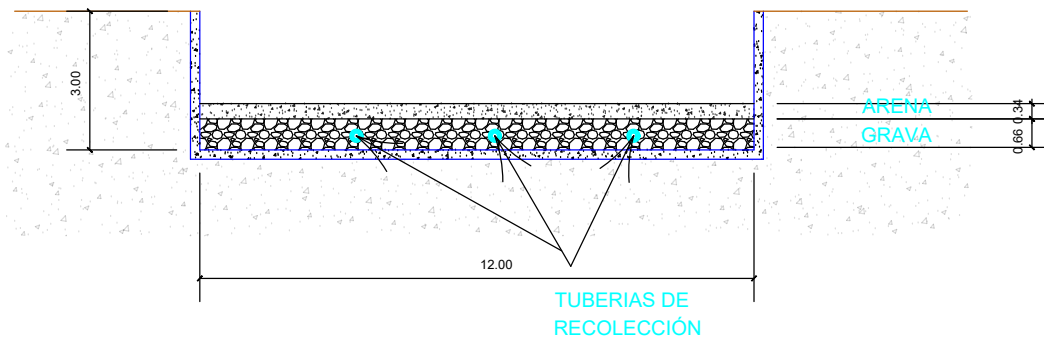
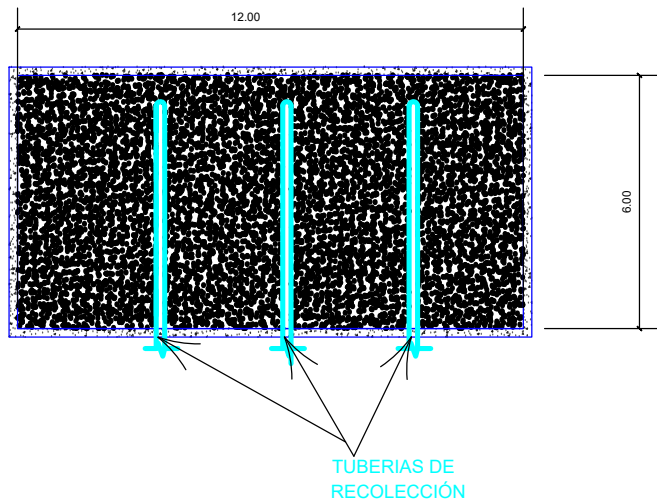
ASESOR:
 ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

PLANO
 SECCIÓN TRANSVERSAL
 DEL SISTEMA DE
 TRATAMIENTO

FECHA
 24/08/21

BR.: SHEYLA M. ROJAS
 17-1645
 BR.: ASHLEY A. GUEVARA
 17-1466

HOJA
 2/6



LECHO DE SECADO



TESIS:
 DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
 ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
 DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
 DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
 2021

ASESOR:
 ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

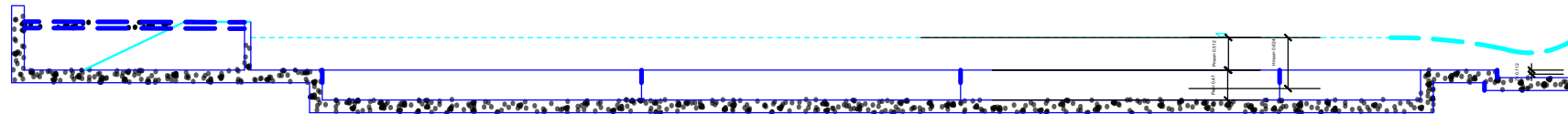
PLANO
 LECHO DE SECADO DE
 LODOS

FECHA
 24/08/21

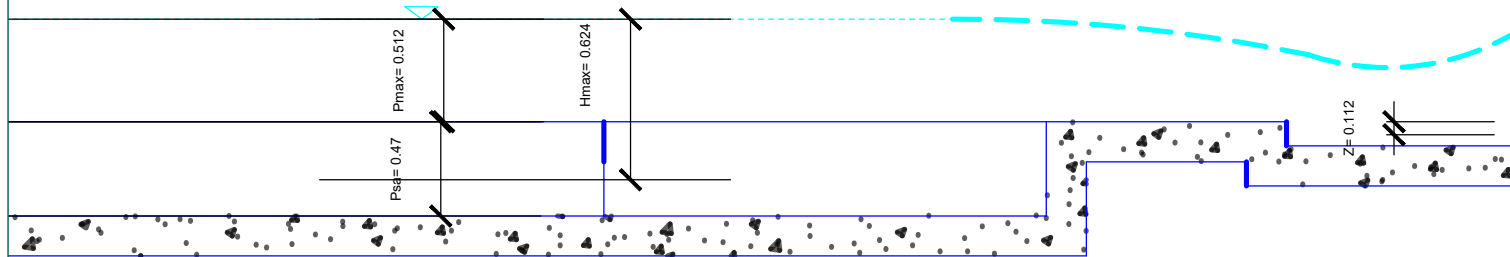
BR.: SHEYLA M. ROJAS
 17-1645

BR.: ASHLEY A. GUEVARA
 17-1466

HOJA
 3/6



DESARENADOR



DETALLE DESARENADOR



TESIS:
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
2021

ASESOR:
ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

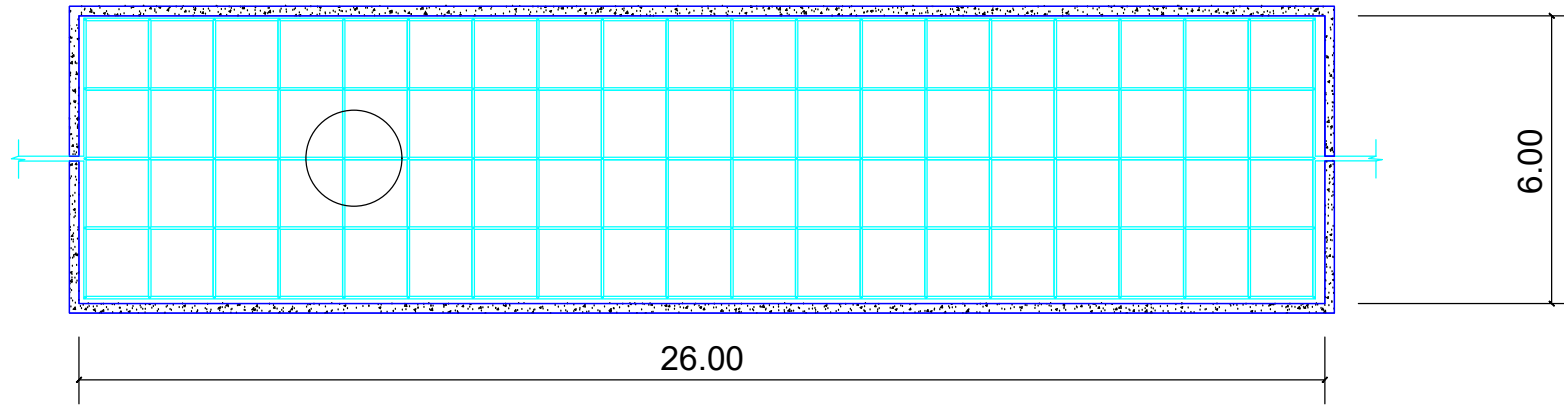
PLANO
DESARENADOR

FECHA
24/08/21

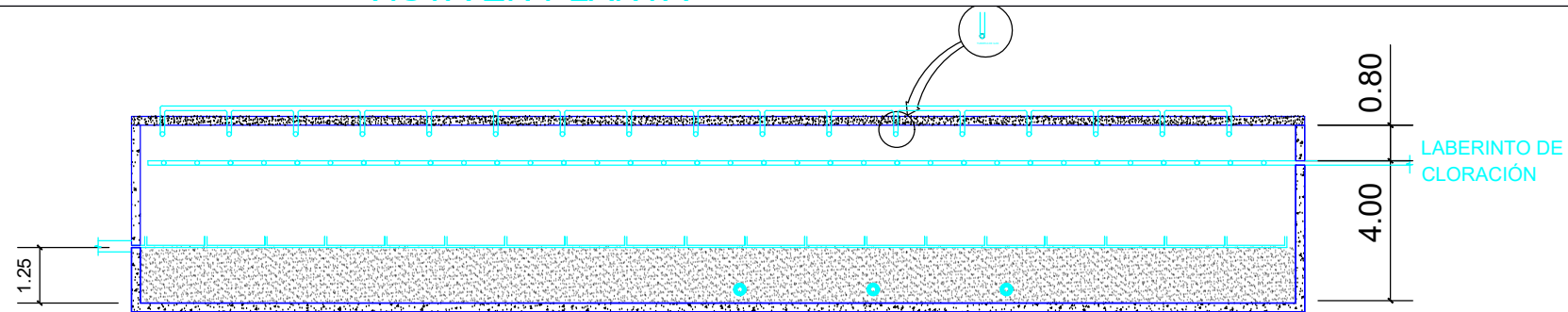
BR.: SHEYLA M. ROJAS
17-1645

BR.: ASHLEY A. GUEVARA
17-1466

HOJA
4/6



VISTA EN PLANTA



SECCIÓN TRANSVERSAL



TESIS:
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
2021

ASESOR:
ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

PLANO
REACTOR ANAEROBIO DE
FLUJO ASCENDENTE

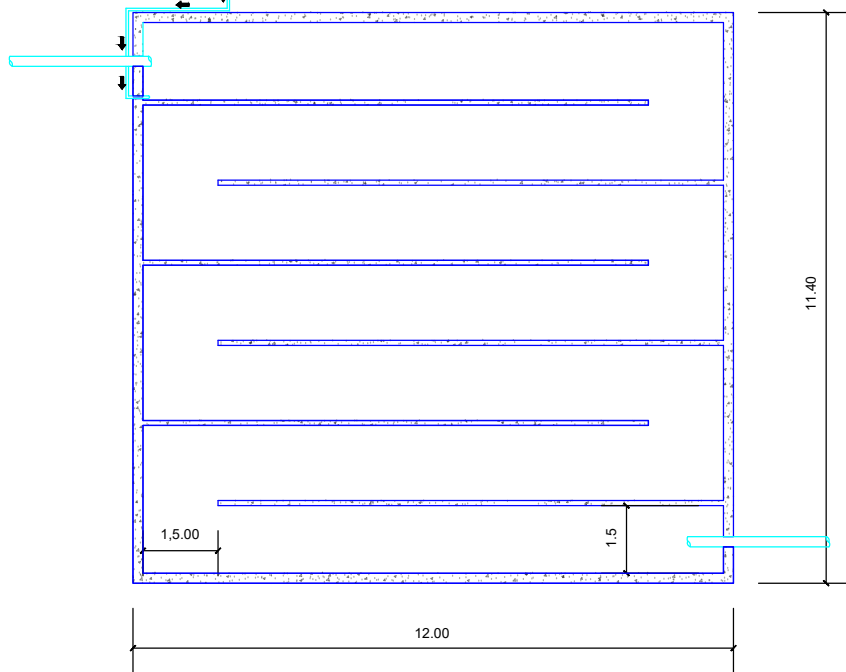
FECHA
24/08/21

BR.: SHEYLA M. ROJAS
17-1645

BR.: ASHLEY A. GUEVARA
17-1466

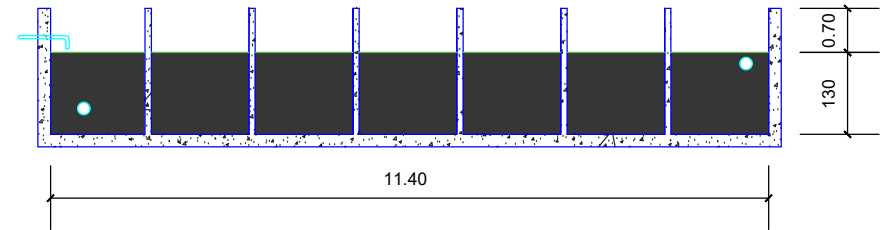
HOJA
5/6

CASETA DE CLORO



VISTA EN PLANTA

LABERINTO DE CLORACIÓN



VISTA LATERAL



TESIS:
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
ENSANCHE OZAMA, MUNICIPIO SANTO
DOMINGO ESTE, PROVINCIA SANTO
DOMINGO, REPÚBLICA DOMINICANA,
2021

ASESOR:
ING. AMELIA MARÍA PÉREZ SÁNCHEZ

PLANO
LABERINTO DE CLORACIÓN

FECHA
24/08/21

BR.: SHEYLA M. ROJAS
17-1645

BR.: ASHLEY A. GUEVARA
17-1466

HOJA
6/6

ANEXO E: ILUSTRACIONES DE VISITA DE CAMPO



Ilustración 11: Vista del lugar de disposición actual del agua residual proveniente del alcantarillado sanitario del Ensanche Ozama

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 12: Río Ozama, lugar de disposición final para vertido de aguas tratadas

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 13: Penúltimo registro de la red de alcantarillado sanitario del Ensanche Ozama, lugar de toma de muestras del agua

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 14: Vista del interior del registro del alcantarillado sanitario

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 15: Junto a Deivi Padilla, recolector de las muestras de agua residual

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 16: Deivi Padilla mientras tomaba las muestras del agua residual

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 17: Deivi Padilla mientras realizaba algunos análisis in situ

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 18: En nuestra visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 19: Imagen de un desarenador horizontal en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 20: Canaleta Parshall seguida de una cámara de repartición en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 21: Canal de cloración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza

Fuente: Propia, 2021



Ilustración 22: Junto al Ing. Carlos Paul Abreu, en nuestra visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Zurza

Fuente: Propia, 2021

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña
Escuela de Ingeniería Civil

Ashley A. Guevara S.

Sustentante

Sheyla M. Rojas G.

Sustentante

Ing. Amelia M. Pérez S.

Asesora

Ing. César Mercedes

Presidente del jurado

Ing. Sanmy Campos

Miembro del Jurado

Ing. Carlos Muñoz

Miembro del Jurado

Ing. José Adolfo Herrera

**Director Escuela de
Ingeniería Civil**

Calificación: _____

Fecha: _____