



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS PARA EL CAMAL  
MUNICIPAL DEL CANTÓN MEJÍA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniera Ambiental

AUTORA: NATHALY POLETTE QUINATO A DE LA CRUZ

TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

Quito - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Nathaly Polette Quinatoa De La Cruz con documento de identificación N°  
1725070351 manifiesto que:

Soy la autora responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o  
parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Nathaly Polette Quinatoa De La Cruz

1725070351

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Nathaly Polette Quinatoa De La Cruz con documento de identificación N°. 1725070351 , expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del Trabajo Experimental: “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados para el Camal Municipal del Cantón Mejía”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de septiembre del año 2022



---

Nathaly Polette Quinatoa De La Cruz

1725070351

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Renato Gabriel Sánchez Proaño con documento de identificación N°1715542401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS PARA EL CAMAL MUNICIPAL DEL CANTÓN MEJÍA, realizado por Nathaly Polette Quinatoa De La Cruz con documento de identificación N° 1725070351 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Renato Gabriel Sánchez Proaño M.Sc.

1715542401

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la salud y sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria.

A mis padres Martha y Emilio por motivarme cada día de mi vida a dar lo mejor y conseguir mis objetivos, sobre todo por todo el esfuerzo que han realizado inculcándome valores y guiándome por buen camino que me han permitido culminar una etapa más en mi formación profesional.

A mi hermano Stalin por ser un ejemplo a seguir de dedicación y constancia para alcanzar cualquier meta por más que el camino este cuesta arriba.

A mis amigos Fernando y Cinthya que han estado ayudándome, escuchándome y dándome ánimos en cada momento difícil dentro y fuera de la universidad, por demostrarme que las buenas amistades y desinteresadas si existen.

Nathaly .

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme en este último peldaño de mi carrera universitaria, dándome salud, fortaleza y sabiduría.

A mi tutor Ingeniero Renato Sánchez por brindarme su ayuda y conocimientos para culminar el trabajo experimental.

A mis amigos Alejandro, Jonathan, Lizeth, Thalia, David y Mireya por todos los momentos que compartimos a lo largo de la carrera, siendo un apoyo mutuo y motivarnos a continuar con nuestra vida profesional.

Nathaly.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |          |
|---|----------|
| GLOSARIO DE TÉRMINOS .....                          | IV       |
| RESUMEN.....  | V        |
| ABSTRACT.....                                       | VI       |
| <b>1.INTRODUCCIÓN.....</b>                          | <b>1</b> |
| <b>1.1. Problema .....</b>                          | <b>1</b> |
| <b>1.2. Delimitación .....</b>                      | <b>2</b> |
| <b>1.3. Pregunta de investigación.....</b>          | <b>2</b> |
| <b>1.4. Objetivos .....</b>                         | <b>2</b> |
| 1.4.1. Objetivo general.....                        | 2        |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                   | 2        |
| <b>1.5. Hipótesis.....</b>                          | <b>3</b> |
| <b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....</b>              | <b>4</b> |
| <b>2.1. Camal o matadero .....</b>                  | <b>4</b> |
| <b>2.2. Aguas residuales .....</b>                  | <b>4</b> |
| <b>2.3. Tipos de agua residual .....</b>            | <b>4</b> |
| 2.3.1. Agua Residual Doméstica .....                | 4        |
| 2.3.2. Agua Residual Municipal.....                 | 5        |
| 2.3.3 .Agua residual Industrial .....               | 5        |
| 2.3.4. Agua Negra.....                              | 5        |
| 2.3.5. Agua Residual de Camal .....                 | 5        |
| <b>2.4. Características del agua residual .....</b> | <b>6</b> |
| 2.4.1. Características Físicas.....                 | 6        |
| 2.4.1.1. Color.....                                 | 6        |
| 2.4.1.2. Olor.....                                  | 6        |
| 2.4.1.3. Sólidos.....                               | 6        |
| 2.4.1.4. Sólidos Totales.....                       | 6        |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.4.1.5. Sólidos Sedimentables. ....              | 7         |
| 2.4.1.6. Sólidos Disueltos. ....                  | 7         |
| 2.4.1.7. Sólidos Suspendidos. ....                | 7         |
| 2.4.1.8. Sólidos Volátiles. ....                  | 7         |
| 2.4.1.9. Temperatura. ....                        | 7         |
| 2.4.1.10. Turbiedad. ....                         | 7         |
| 2.4.2. Características Químicas .....             | 7         |
| 2.4.2.1. Materia Orgánica.....                    | 7         |
| 2.4.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno. ....      | 8         |
| 2.4.2.3. Demanda Química de Oxígeno.....          | 8         |
| 2.4.2.4. Materia Inorgánica. ....                 | 8         |
| 2.4.2.5. Potencial Hidrógeno.....                 | 8         |
| 2.4.2.6. Nitrógeno y Fósforo. ....                | 8         |
| 2.4.2.7. Grasas y Aceites. ....                   | 9         |
| 2.4.2.8. Gases. ....                              | 9         |
| 2.4.2.9. Oxígeno Disuelto. ....                   | 9         |
| 2.4.2.10. Metales Pesados. ....                   | 9         |
| 2.4.2.11. Microorganismos. ....                   | 9         |
| 2.4.2.12. Organismos Patógenos.....               | 9         |
| <b>2.5. Tratamiento de aguas residuales .....</b> | <b>10</b> |
| 2.5.1. Pre-tratamiento .....                      | 10        |
| 2.5.1.1. Desarenador.....                         | 10        |
| 2.5.1.2. Cribado o canal de rejillas. ....        | 10        |
| 2.5.1.3. Trampa de grasas. ....                   | 10        |
| 2.5.1.4. Homogenización.....                      | 10        |
| 2.5.2. Tratamientos Primarios.....                | 11        |
| 2.5.2.1. Sedimentación.....                       | 11        |
| 2.5.2.2. Flotación.....                           | 11        |
| 2.5.2.3. Coagulación. ....                        | 11        |
| 2.5.2.4. Neutralización. ....                     | 12        |
| 2.5.2.5. Filtración.....                          | 12        |
| 2.5.3. Tratamiento Secundario.....                | 12        |
| 2.5.3.1. Lodos Activados.....                     | 12        |
| 2.5.3.2. Filtros Percoladores.....                | 13        |
| 2.5.3.3. Lecho de secado. ....                    | 13        |
| 2.5.4. Tratamientos terciarios.....               | 14        |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.5.4.1. Precipitación Química. ....  | 14        |
| 2.5.4.2. Intercambio Iónico. ....   | 14        |
| 2.5.4.3. Adsorción. ....  | 14        |
| <b>2.6.marco legal aplicable .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>3.1. Materiales .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>3.2. Equipos .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>3.3. Métodos .....</b>   | <b>22</b> |
| 3.3.1. Muestreo.....  | 22        |
| 3.3.2. Caudal/Aforo .....   | 22        |
| 3.3.3. Potencial Hidrógeno y Temperatura.....   | 23        |
| 3.3.4. Oxígeno disuelto .....   | 24        |
| 3.3.5. Turbidez .....   | 24        |
| <b>3.4. Métodos empleados en análisis de laboratorio .....</b>                              | <b>24</b> |
| 3.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....                               | 24        |
| 3.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....   | 25        |
| 3.4.2. Sólidos Sedimentables .....  | 25        |
| 3.4.3. Sólidos suspendidos Totales .....  | 26        |
| 3.4.4. Fósforo Total .....  | 26        |
| 3.4.5. Grasas y Aceites .....   | 27        |
| 3.4.6. Nitrógeno Total (NTK) .....  | 28        |
| 3.4.7. Nitratos .....   | 29        |
| 3.4.8. Nitritos .....   | 29        |
| <b>3.5. Metodología de análisis estadístico .....</b>                                       | <b>30</b> |
| <b>3.5. Diseño .....</b>  | <b>31</b> |
| 3.5.1. Caudal de diseño.....  | 31        |
| <b>3.6. Diseño de planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados .....</b> | <b>32</b> |
| 3.6.1. Diseño de Canal de Ingreso.....  | 32        |
| 3.6.2. Diseño de Criba .....  | 35        |
| 3.6.3. Diseño de Trampa de Grasa .....  | 37        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6.4. Diseño de Sistema DAF .....   | 39        |
| 3.6.5. Diseño de Sedimentador Primario .....                               | 40        |
| 3.6.6. Diseño de Sedimentador Secundario .....                             | 43        |
| 3.6.7. Diseño Sistema de Aireación .....                                   | 47        |
| 3.6.8. Diseño Tanque Aireador.....   | 50        |
| 3.6.9. Tasa de Lodos Activados .....                                       | 52        |
| 3.6.10. Diseño de Lecho de Secado.....                                     | 55        |
| <b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                     | <b>58</b> |
| <b>4.1. Resultados .....</b>   | <b>58</b> |
| 4.1.1. Resultados de Análisis de Calidad de Agua .....                     | 58        |
| 4.1.1.1. Parámetros Básicos. ....  | 58        |
| 4.1.1.2. Parámetros Físicos. ....  | 59        |
| 4.1.1.3. Parámetros Químicos. ....   | 59        |
| 4.1.2. Resultados de Dimensionamiento .....                                | 60        |
| 4.1.2.1. Dimensionamiento Canal de ingreso. ....                           | 60        |
| 4.1.2.2. Dimensionamiento de Criba.....                                    | 61        |
| 4.1.2.3. Dimensionamiento de trampa de grasas. ....                        | 62        |
| 4.1.2.4. Dimensionamiento sistema DAF .....                                | 63        |
| 4.1.2.5. Dimensionamiento de Sedimentador Primario.....                    | 64        |
| 4.1.2.6. Dimensionamiento de Sedimentador Secundario. ....                 | 65        |
| 4.1.2.7. Dimensionamiento del Sistema de Aireación y Tanque Aireador ..... | 66        |
| 4.1.3. Determinación de Tasa de Lodos Activados .....                      | 67        |
| 4.1.3.1. Dimensionamiento de Lecho de Secado de Lodos.....                 | 71        |
| 4.1.4. Resultados de Análisis Estadístico.....                             | 72        |
| 4.1.5. Estudio Técnico y Económico .....                                   | 74        |
| 4.1.5.1. Costo referencial por unidad de tratamiento y equipos .....       | 74        |
| 4.1.5.2. Costos Referenciales de Operación y Mantenimiento .....           | 76        |
| <b>4.2. Discusión .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                              | <b>80</b> |
| <b>5.1. Conclusiones.....</b>  | <b>80</b> |
| <b>5.2. Recomendaciones.....</b>   | <b>82</b> |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 6. BIBLIOGRAFÍA..... | 83 |
| 7. ANEXOS.....       | 86 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Esquema del Proceso de Flujo de Lodos Activados .....   | 13 |
| <b>Figura 2</b> Lecho de Secado de Arena .....                          | 14 |
| <b>Figura 3</b> Gráfico para la obtención de K y Ks. ....               | 53 |
| <b>Figura 4</b> Gráfico para la obtención de Kd y Y.....                | 54 |
| <b>Figura 5</b> Canal de Ingreso .....                                  | 61 |
| <b>Figura 6</b> Criba .....   | 62 |
| <b>Figura 7</b> Trampa de Grasas y Aceites .....                        | 63 |
| <b>Figura 8</b> Sistema DAF .....                                       | 64 |
| <b>Figura 9</b> Sedimentador Primario.....                              | 65 |
| <b>Figura 10</b> Sedimentador Secundario.....                           | 66 |
| <b>Figura 11</b> Sistema de Aireación .....                             | 67 |
| <b>Figura 12</b> Gráfica de $(X\theta_c)/(S_0-S)$ VS $1/S$ .....        | 69 |
| <b>Figura 13</b> Gráfica de $1/\theta_c$ VS $(S_0-S)/(X\theta)$ .....   | 70 |
| <b>Figura 14</b> Lecho de Secado .....                                  | 71 |
| <b>Figura 15</b> Gráfica de Probabilidad DQO .....                      | 73 |
| <b>Figura 16</b> Gráfica de Probabilidad de Sólidos Sedimentables ..... | 74 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público .....  | 18 |
| <b>Tabla 2</b> Materiales Utilizados en Etapa de Muestreo .....                | 20 |
| <b>Tabla 3</b> Materiales Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio ..... | 20 |
| <b>Tabla 4</b> Equipos Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio .....    | 21 |
| <b>Tabla 5</b> Reactivos Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio .....  | 22 |
| <b>Tabla 6</b> Valores para el ejemplo.....                                    | 31 |
| <b>Tabla 7</b> Medidas Típicas del Ancho del Canal .....                       | 33 |
| <b>Tabla 8</b> Características de Rejillas de Barras.....                      | 36 |
| <b>Tabla 9</b> Parámetros de Diseño de Sedimentador Secundario .....           | 44 |
| <b>Tabla 10</b> Datos para ejemplo .....                                       | 52 |
| <b>Tabla 11</b> Calculos para ejemplo .....                                    | 53 |
| <b>Tabla 12</b> Criterios Para el Diseño de Lecho de Secado .....              | 56 |
| <b>Tabla 13</b> Resultados de Análisis de Calidad de Agua .....                | 58 |
| <b>Tabla 14</b> Resultados Análisis Físicos .....                              | 59 |
| <b>Tabla 15</b> Resultados Análisis Químico.....                               | 59 |
| <b>Tabla 16</b> Resultados Análisis Aceites y Grasas.....                      | 60 |
| <b>Tabla 17</b> Dimensionamiento del Canal de Ingreso .....                    | 60 |
| <b>Tabla 18</b> Dimensionamiento Criba.....                                    | 61 |
| <b>Tabla 19</b> Dimensionamiento Trampa de Grasas .....                        | 62 |
| <b>Tabla 20</b> Dimensionamiento del Sistema DAF .....                         | 63 |
| <b>Tabla 21</b> Dimensionamiento Sedimentador Primario .....                   | 64 |
| <b>Tabla 22</b> Dimensionamiento Sedimentador Secundario .....                 | 65 |
| <b>Tabla 23</b> Dimensionamiento Tanque Aireador .....                         | 66 |
| <b>Tabla 24</b> Dimensionamiento Sistema de Aireación .....                    | 67 |
| <b>Tabla 25</b> Tasa de Lodos Activados .....                                  | 68 |
| <b>Tabla 26</b> Determinación de Tasa de Lodos Activados.....                  | 68 |
| <b>Tabla 27</b> Regresión Lineal .....   | 69 |
| <b>Tabla 28</b> Valores de Coeficientes.....                                   | 70 |
| <b>Tabla 29</b> Dimensionamiento Lecho de Secado .....                         | 71 |
| <b>Tabla 30</b> Análisis Estadístico DQO.....                                  | 72 |
| <b>Tabla 31</b> Análisis Estadístico de Sólidos Sedimentables .....            | 73 |
| <b>Tabla 32</b> Costos referenciales de construcción.....                      | 75 |
| <b>Tabla 33</b> Costos referenciales de adquisición de equipos .....           | 76 |
| <b>Tabla 34</b> Costo Referencial de Consumo Energético de Equipos.....        | 76 |

**Tabla 35** Costo Referencial de Operación y Mantenimiento ..... 77

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Anexo 1</b> Toma de Muestras de Agua Residual.....                  | 86  |
| <b>Anexo 2</b> Análisis de Grasas y Aceites .....                      | 86  |
| <b>Anexo 3</b> Vial para Medir DQO.....                                | 87  |
| <b>Anexo 4</b> Prueba de Lodos Activados a Escala de Laboratorio ..... | 87  |
| <b>Anexo 5</b> Medición de SSLM y Prueba de lodos Activados .....      | 88  |
| <b>Anexo 6</b> Medición de Nitrato.....                                | 88  |
| <b>Anexo 7</b> Medición de Nitrito HR (R.Alto) .....                   | 89  |
| <b>Anexo 8</b> Medición de Fósforo Total (R.Alto).....                 | 90  |
| <b>Anexo 9</b> Diseño de Canal de Ingreso .....                        | 91  |
| <b>Anexo 10</b> Diseño de Criba.....                                   | 92  |
| <b>Anexo 11</b> Diseño del sistema DAF .....                           | 93  |
| <b>Anexo 12</b> Diseño de Sedimentador Primario.....                   | 94  |
| <b>Anexo 13</b> Diseño de Trampa de Grasa.....                         | 95  |
| <b>Anexo 14</b> Diseño de Sistema de Aireación .....                   | 96  |
| <b>Anexo 15</b> Diseño de Sedimentador Secundario .....                | 97  |
| <b>Anexo 16</b> Diseño de Lecho de Secado .....                        | 98  |
| <b>Anexo 17</b> Diseño de PTAR Vista Superior .....                    | 99  |
| <b>Anexo 18</b> Diseño de PTAR Vista Lateral .....                     | 100 |

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**DBO<sub>5</sub>**: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO**: Demanda Química de Oxígeno.

**GAD**: Gobiernos Autónomos Descentralizados de Ecuador.

**°C**: Grado Celsius.

**T**: Temperatura.

**N**: Nitrógeno.

**P**: Fósforo.

**pH**: Potencial Hidrógeno.

**PTAR**: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

**SSLM**: Sólidos Suspendidos en Licor de Mezcla.

**µm**: Micrómetro.

**NTU**: Unidad de Turbidez Nefelométrica.



## RESUMEN

El trabajo de investigación propuesto tiene como finalidad plantear un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados, estas aguas son provenientes del Camal Municipal del Cantón Mejía, el propósito es que las aguas residuales del camal sean vertidas al sistema de alcantarillado cumpliendo el límite máximo permisible establecido por la Acuerdo Ministerial 097, Libro VI. A continuación, se muestran los procesos realizados para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual para el camal, como son las características del agua residual, al conocer los resultados de los análisis, siendo estos DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total, fósforo total, nitratos, nitritos, sólidos sedimentables, sólidos totales, sólidos volátiles, grasas y aceites, pH, temperatura, turbidez. Posteriormente se generó las dimensiones de la PTAR la cual cuenta con: diseño de entrada, criba, sedimentador primario, trampa de grasas y aceites, sistema de aireación, sedimentador secundario y lecho de secados. Al realizar la prueba de tratamiento a escala de laboratorio mediante lodos activados se conoció la tasa de lodos, el cual estuvo aireado durante 5 días las 24 horas, consiguiendo el parámetro de DQO inicial de 1490 [mg/L] y DQO final de 19 [mg/L] comprobando que cumple el límite máximo permisible para poder ser vertido al sistema de alcantarillado.

**Palabras Clave:** DQO, DBO<sub>5</sub>, PTAR, Diseño, Sólidos, Camal, Agua Residual.

## **ABSTRACT**

The purpose of the proposed research work is to propose a design of a wastewater treatment plant using an activated sludge system, this water comes from the Municipal Canal of Canton Mejia, the purpose is that the wastewater from the canal is discharged into the sewage system complying with the maximum permissible limit established by the ministerial agreement 097, Book VI. Next, the processes carried out for the design of the wastewater treatment plant for the farm are shown, such as the characteristics of the wastewater at laboratory scale, by knowing the results of the analysis, these being BOD<sub>5</sub>, COD, total nitrogen, total phosphorus, nitrates, nitrites, settleable solids, total solids, volatile solids, fats and oils, pH, temperature, turbidity, then the dimensions of the WTP were generated, which has: Inlet design, screen, primary settler, grease and oil trap, aeration system, secondary settler and drying bed. The laboratory-scale treatment test using activated sludge showed the sludge rate, which was aerated for 5 days and 24 hours, resulting in an initial COD parameter of 1490 [mg/L] and a final COD of 19 [mg/L], proving that it meets the maximum permissible limit for discharge into the sewage system.

**Keys words:** COD, BOD<sub>5</sub>, WTP, Design, Solids, Feeder, Waste water .

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1. Problema

Las aguas residuales son un foco de contaminación en los sistemas acuáticos, las industrias deben establecer un sistema de depuración antes de evacuarlas sin previo tratamiento al cuerpo de agua receptor. Se han establecido estudios de sistemas que pueden ser implementados para aguas residuales disminuyendo el grado de contaminación antes de ser expulsado a fuentes hídricas. Las aguas residuales tienen propiedades físicas, químicas y biológicas.

El faenamiento de animales influye directamente a la producción de amplios volúmenes de agua residuales con elevada carga contaminante, se origina por degradación de carga orgánica y son considerados como aguas peligrosas ( Chaha, 2016,p.9).

Dentro de la biblioteca y base de datos que maneja el GAD Municipal del Cantón Mejía en cuanto a estudios y/o trabajos experimentales relacionados con el tratamiento de las aguas residuales que vierte el Camal Municipal, no existen dicha propuesta establecida e impartida para esto se realizará el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados para el Camal Municipal del Cantón Mejía para llegar a cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 Libro VI, anexo 1.

El tratamiento de aguas residuales mediante el método de lodos activados se considera como un tratamiento biológico aerobio de cultivos en suspensión, su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos contenidos en un reactor capaz de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio (Castillo et al. 2020,p.386).

## **1.2. Delimitación**

El presente estudio se ubica en el Cantón Mejía siendo un lugar de crecimiento y desarrollo tanto en aspectos sociales como económicos, su principal producción es la agricultura y ganadería. Cuenta con un camal municipal el cual tiene como finalidad producir carne de forma higiénica ante al sacrificio de animales, el ganado ingresa de 12 a 24 horas antes de realizar el proceso para que permanezca en reposo, son duchados para liberar al animal de algún tipo de suciedad, el camal de Cantón Mejía solo acepta ganado bovino, la producción máxima es de 90 y el mínimo de 70 bovinos,

## **1.3. Pregunta de investigación**

¿Cuál es la concentración de lodo activado óptima con la cual el agua residual procedente del camal municipal del cantón Mejía se encuentre dentro de los límites máximos permitidos expresados en el Acuerdo Ministerial 097?

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

- Proponer el diseño de un sistema de lodos activados como alternativa para remediar las aguas residuales provenientes del Camal Municipal del Cantón Mejía.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Ensayar a escala de laboratorio los métodos de descontaminación por lodos activados.
- Realizar el dimensionamiento y los planos correspondientes a la planta de tratamiento de aguas residuales para el Camal Municipal del Cantón Mejía.
- Desarrollar un estudio técnico y económico de la propuesta de PTAR.

## **1.5. Hipótesis**

El diseño e implementación de una planta de tratamiento de agua residual mediante el sistema de lodos activados, contribuirá a que el agua producida en el Camal Municipal del Cantón Mejía, cumpla con los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Camal o matadero**

Es un establecimiento que cuenta con instalaciones completas y equipos mecánicos para el sacrificio, manipulación, preparación y conservación de las especies de carnicerías, dentro de este proceso el aprovechamiento es completo, racional y adecuado (EPMRQ, 2003,p.1).

#### Camales en Ecuador

Cuenta con más de 200 camales o mataderos distribuyéndose estos en la sierra con el 45%, costa 38%, región Amazonía y Galápagos 17%, en su mayoría son propiedad de municipios. La ubicación se distribuye en áreas urbanas 81%, semiurbanas 7% y rurales 12% (Ruiz Dávila, 2011,p.10).

### **2.2. Aguas residuales**

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que se introducen en cloacas y son transportadas mediante el sistema de alcantarillado (Romero Rojas, 2004,p.17).

Las aguas residuales que no cuentan con un sistema para su depuración son vertidas directamente a la fuente hídrica. En la actualidad por el crecimiento poblacional e industrial ha ocasionado que las fuentes hídricas requieran un sistema sistemas de depuración y unidades de tratamiento de aguas residuales (Lozano-Rivas, 2012,p. 26).

### **2.3. Tipos de agua residual**

#### ***2.3.1. Agua Residual Doméstica***

Son líquidos provenientes de viviendas, edificios comerciales e institucionales (Romero Rojas, 2004,p.17).

### ***2.3.2. Agua Residual Municipal***

Son líquidos que mediante un sistema de alcantarillado van de una ciudad o población, siendo tratados por una planta de tratamiento municipal (Romero Rojas, 2004,p.17).

### ***2.3.3 .Agua residual Industrial***

Son aguas provenientes de industrias de manufactura (Romero Rojas, 2004,p.17).

### ***2.3.4. Agua Negra***

Son líquidos provenientes de inodoros, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (Romero Rojas, 2004,p.17).

Agua Gris: Son líquidos que contienen detergentes aportan DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas (Romero Rojas, 2004,p.17).

### ***2.3.5. Agua Residual de Camal***

Dentro de los camales se generan gran cantidad de aguas residuales, la cantidad depende del tipo de planta, proceso de producción y el tipo de animal a faenar (Porcino o Bovino), usualmente el agua residual de camal contiene elementos patógenos, concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógenos, este incluye además sangre siendo la materia que causa mayor contaminación, pelos, estiércol, proteínas, grasas y otros contaminantes (Chacha Chacha, 2016,p.9).

Las principales áreas de producción que generan agua residual son:

- Etapa de cuarentena
- Área de aturdimiento e izado
- Área de desangrado
- Área de degüello

- Área de eviscerado
- Área de lavado
- Limpieza de equipo y superficies

El agua residual de camal se caracteriza por ser alto en demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos, aceites y grasas (Chacha Chacha, 2016,p.9).

## **2.4. Características del agua residual**

Se requiere conocer las características del agua residual para la elaboración de cualquier proyecto, siendo estas físicas, químicas y biológicas.

### **2.4.1. Características Físicas**

**2.4.1.1. Color.** El agua residual usualmente tiene un color grisáceo, este depende del tiempo, composición, concentración y condiciones anaerobias que tenga esta, su color puede variar de gris a negro (Metcalf y Eddy, 1998,p.54).

**2.4.1.2. Olor.** La materia orgánica al descomponerse emite gases que da el olor peculiar al agua residual, influye en la calidad de un proyecto siendo de gran importancia en las plantas de tratamiento, evacuación del agua residual y sistema de alcantarillado (Metcalf y Eddy, 1998,p.54).

**2.4.1.3. Sólidos.** Esta materia se encuentra en casi todas las aguas residuales, ante los sólidos aumenta la turbidez y no permite que la vida acuática tanto flora como fauna se desarrolle adecuadamente dentro de los cuerpos de agua.

**2.4.1.4. Sólidos Totales.** Es materia que se obtiene al realizar un proceso de evaporación entre una temperatura de 103 y 105 °C (Metcalf y Eddy, 1998,p.54).



**2.4.1.5. Sólidos Sedimentables.** Sedimentan en el fondo de un recipiente ( Cono Imhoff) se expresan en ml/L, esto indica una medida aproximada de la cantidad de fango que tiene el agua residual (Metcalf y Eddy, 1998,p.54).

**2.4.1.6. Sólidos Disueltos.** Se trata de materia soluble y coloidal, el tamaño de la partícula es menor a 1,2 um . Se realizan procesos de oxidación biológica, coagulación o sedimentación para eliminarlos (Romero Rojas, 2004,p.54).

**2.4.1.7. Sólidos Suspendidos.** Conforman la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada, el tamaño de la partícula es mayor a 1,2um (Romero Rojas, 2004,p.56).

**2.4.1.8. Sólidos Volátiles.** Es la fracción orgánica de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de hasta 50°C , tiene gran importancia determinar sólidos volátiles en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos (Romero Rojas, 2004,p.56).

**2.4.1.9. Temperatura.** La temperatura varía entre 10 y 20 °C, se considera importante por la influencia que tiene sobre el desarrollo de la vida acuática (Metcalf y Eddy, 1998,p.54)

**2.4.1.10. Turbiedad.** Generada por la transmisión de la luz por sistemas coloidales que indica la transparencia y calidad del agua(Metcalf y Eddy, 1998,p.72).

## **2.4.2. Características Químicas**

**2.4.2.1. Materia Orgánica.** El 40% del agua residual es materia orgánica proveniente de origen animal y vegetal. Está formado por carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo o hierro, sustancias orgánicas, hidratos de carbono y grasas y aceites (Metcalf y Eddy, 1998,p.73).

**2.4.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.** Cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable, es el parámetro más utilizado para definir la calidad del agua residual y superficiales, el resultado se demora 5 días por lo que se denomina  $DBO_5$  y se expresa en  $mg/L - O_2$  (Romero Rojas, 2004,p.38).

**2.4.2.3. Demanda Química de Oxígeno.** El parámetro de la DQO se utiliza para medir la carga de materia orgánica en aguas residuales y aguas naturales, se obtiene mediante un agente químico fuertemente oxidante. El dicromato de potasio a altas temperaturas ( $150^{\circ}C$ ) facilita la oxidación requiriendo un catalizador como el sulfato de plata, su resultado es mayor a la DBO debido a que se realiza oxidación química y se expresa en  $mg/L$  (Metcalf y Eddy, 1998,p.93).

**2.4.2.4. Materia Inorgánica.** Las aguas naturales disuelven parte de rocas y minerales, las aguas residuales no se tratan con el objetivo específico de eliminar esta materia puesto que puede afectar al uso del agua. Tienen origen mineral o sulfatos, carbonatos, entre otros (Metcalf y Eddy, 1998,p.95).

**2.4.2.5. Potencial Hidrógeno.** Se denomina al potencial hidrógeno como pH, es la medida de la concentración de ion Hidrógeno en el agua. Si el pH es menor a 6 favorecen al crecimiento de hongos sobre bacterias, al ser un pH bajo el poder bactericida del cloro es mayor por predominación de HOCL y un pH alto predomina el nitrógeno amoniacal ( $NH_3$ ), es un parámetro importante para poder estabilizar el agua siendo recomendable un rango de 6,5 a 8,5 para el tratamiento biológico (Romero Rojas, 2004,p.66).

**2.4.2.6. Nitrógeno y Fósforo.** Principales elementos nutritivos, ayudan al crecimiento de protistas y plantas. El nitrógeno es básico para la síntesis de proteínas y el fósforo es apto para el metabolismo biológico (Metcalf y Eddy, 1998,p.97-98).

**2.4.2.7. Grasas y Aceites.** Son considerados como grasas y aceites aquellos que están compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, aceites y grasas que provienen de origen animal y vegetal son biodegradables y pueden tratarse en plantas de tratamiento biológico (Romero Rojas, 2004,p.59).

**2.4.2.8. Gases.** Usualmente en el agua residual se encuentran gases como el nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), amoníaco ( $NH_3$ ) y metano ( $CH_4$ )(Metcalf y Eddy, 1998,p.101).

**2.4.2.9. Oxígeno Disuelto.** Es necesario para la supervivencia de los microorganismos aerobios, este elemento es ligeramente soluble en agua. Todo proceso aerobio requiere una concentración de Oxígeno Disuelto mayor a 0,5 mg/L, en un sistema de lodos activados se debe tener el oxígeno necesario para una buena actividad microbiana(Romero Rojas, 2004,p.64).

**2.4.2.10. Metales Pesados.** Algunos metales que se encuentran dentro del agua natural o agua residual son níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg) (Metcalf y Eddy, 1998,p.101).

#### Características Biológicas

**2.4.2.11. Microorganismos.** Se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, los organismos en su mayoría pertenecen al grupo de eucariotas incluyendo algas, hongos y protozoos (Metcalf y Eddy, 1998,p.103).

**2.4.2.12. Organismos Patógenos.** Están presentes en aguas residuales, estos pueden proceder de desechos humanos. Los principales patógenos son bacterias, virus, protozoos y helmintos (Metcalf y Eddy, 1998,p.106).

## **2.5. Tratamiento de aguas residuales**

### **2.5.1. Pre-tratamiento**

Permite eliminar sólidos, arenas, gravas, grasas y aceites, generalmente se producen lodos y un efluente que será tratado. (Batista, 2015,p.1).

**2.5.1.1. Desarenador.** Se instala después del cribado o canal de rejillas, su fin es proteger los equipos mecánicos, evitar sedimentación de arenas en las tuberías y canales (Fúquene et al., n.d. ,p.157).

Remueve partículas de arena u otros similares el peso de las partículas es cercano a 2,65 g/cm<sup>3</sup> y los tamaños que remueve son superiores a 0,15 mm de diámetro (Batista, 2015).

**2.5.1.2. Cribado o canal de rejas.** Su función principal es retener sólidos gruesos en suspensión, usualmente son ubicadas aguas arriba de las estaciones de bombeo o de procesos que se obstruyen con facilidad por los sólidos gruesos que lleva el agua residual (Fúquene et al., n.d. ,p.157).

**2.5.1.3. Trampa de grasas.** Consta de un tanque con diseño hidráulico y tiempo de retención que varía de 15 a 30 minutos, estas se deben ubicar cerca de la fuente de generación de las sustancias y antes del tanque séptico o sedimentador primario (Batista, 2015,p.42).

**2.5.1.4. Homogenización.** Regula los efectos de la variación de la concentración de los afluentes, se colocan tanques de forma aleatoria teniendo estos la capacidad de contener el flujo de agua que sobrepasa determinado valor esto permite mejorar los tratamientos biológicos, mejorar la calidad del efluente y rendimiento de tanques de sedimentación secundaria (Fúquene et al., n.d.,p.158).

### **2.5.2. Tratamientos Primarios**

Principalmente elimina una parte de los sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual. Las operaciones físicas que se emplean usualmente en este tipo de tratamiento es el tamizado y sedimentación, algunas características del efluente es la materia orgánica y DBO alta (Metcalf y Eddy, 1998,p.145).

**2.5.2.1. Sedimentación.** Principalmente la sedimentación concentra y remueve sólidos suspendidos del agua residual, los tanques para la sedimentación pueden ser rectangulares o circulares, en el caso de ser rectangulares la espuma se retira con ayuda de rastras de lodo al recorrer todo el tanque por el fondo, si el tanque es circular estos cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos(Valdez y Vázquez , 2003,p.239)

**2.5.2.2. Flotación.** Separa las partículas sólidas presentes en una fase líquida, introduciendo finas burbujas de gas, normalmente de aire adhiriéndose a las partículas suspendidas y arrastrándolas hacia la superficie produciendo la separación, utiliza un menor tiempo para eliminar las partículas pequeñas. Las más utilizada es:

Flotación por Aire Disuelto (DAF) : El agua se presuriza con aire en un tanque cerrado posteriormente se introduce el agua al tanque de flotación pasando por una válvula reductora de presión generando burbujas de 50 a 100 um arrastrando a la superficie sólidos, aceites y grasas (Fúquene et al., n.d. ,p.158-159).

**2.5.2.3. Coagulación.** Se adiciona coagulantes químicos como cloruro férrico, cal, alumbre, cloruro de aluminio, sulfato ferroso, entre otros, dentro de los de origen natural están el almidón de yuca, quitosano, almidón de plátano, moringa, café. La adición de los coagulantes tiene como propósito desestabilizar las partículas mediante la neutralización y floculación

durante el proceso de sedimentación teniendo como resultado la unión de partículas que ayudan a sedimentar a mayor velocidad (Fúquene et al., n.d. ,p.159).

**2.5.2.4. Neutralización.** En este proceso se ajusta el pH evitando que las fuentes hídricas sean alcalinas o ácidas fuertes, se adiciona una sal que usualmente es cal o una base como hidróxido de sodio, o un ácido que puede ser ácido sulfúrico o ácido clorhídrico el resultado debe ser un pH cercano a 7 (Fúquene et al., n.d,p.160.).

**2.5.2.5. Filtración.** Remueve sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados o virus, dependiendo del lecho filtrante que pueden ser carbón coque, arena, grava, gravilla, carbón activado. La operación de filtración consta de dos fases: filtración y lavado (Fúquene et al., n.d. ,p.160).

### **2.5.3. Tratamiento Secundario**

Principalmente elimina los sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables, se trata de la combinación de varios procesos empleados para la eliminación de los constituyentes (Metcalf y Eddy, 1998,p.145).

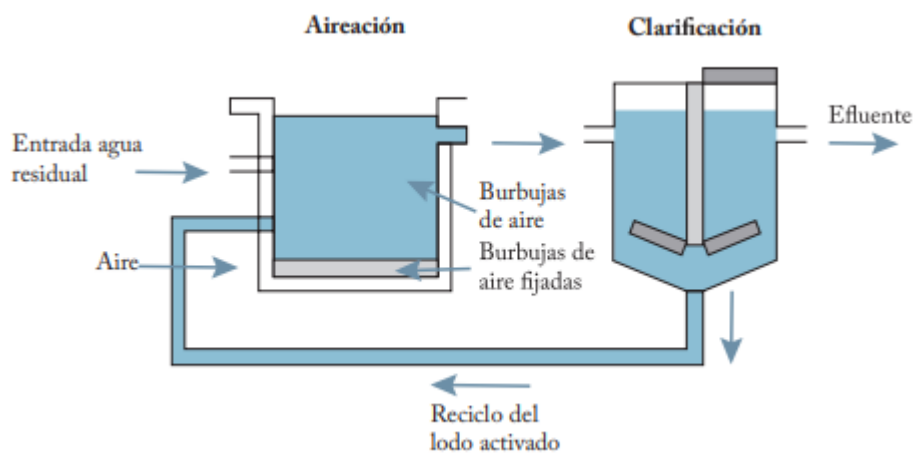
**2.5.3.1. Lodos Activados.** Todo proceso de lodos activados tienen en común la relación de aguas residuales con floculante biológico este se formó anteriormente en un tanque de aireación, se denomina lodo activado cuando este se agita en presencia de oxígeno un agua residual que anteriormente pasa por un sistema primario, posteriormente se forma un floculo de lodo en el cual consiste en una masa floculante de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos, posee una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, la mezcla entre el agua residual a tratar y los lodos activados reciben el nombre de licor mezclado. De esta manera el tratamiento mediante lodos activados es un

proceso de cultivo suspendido con recirculación de lodos, es un proceso aerobio. Como se observa en la Figura 1

(César Valdez y Vázquez González, 2003,p.41).

### **Figura 1**

#### *Esquema del Proceso de Flujo de Lodos Activados*



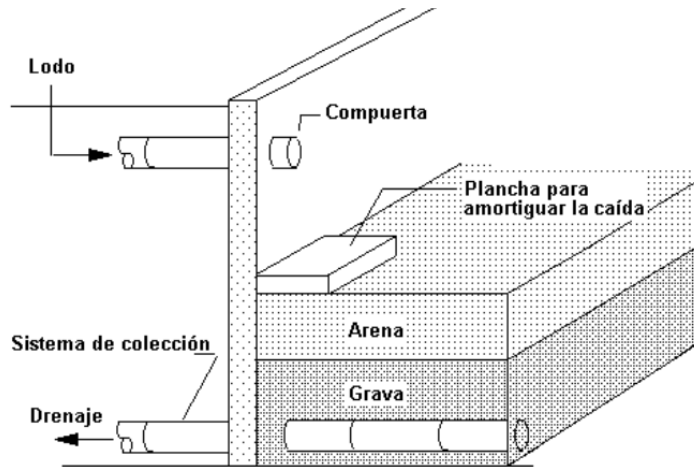
**Nota:** La imagen representa al flujo de lodos activados. Tomado de Aplicaciones Tecnológicas de tratamiento de Aguas Residuales, por Quispe et al., 2020, pág. 84.

**2.5.3.2. Filtros Percoladores.** Este no realiza un proceso de filtración se trata de una torre de contacto en la que el agua residual escurre por un lecho fijo, en esta la biomasa se encuentra adherida microorganismos y reduce la carga orgánica del agua residual (Lozano-Rivas, 2012,p.103).

**2.5.3.3. Lecho de secado.** Usualmente son empleados en plantas de tratamiento de menos tamaño, el más común y antiguo es el lecho tipo de secado de arena, estos se pueden construir con o sin remoción mecánica de lodo, como se observa en la Figura 2 (César Valdez y Vázquez González, 2003,p.31).

**Figura 2**

*Lecho de Secado de Arena*



*Nota:* Es un método de deshidratación del agua presente en el lodo. Tomado de ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales por Valdez y Vázquez González, 2003, pág. 326.

**2.5.4. Tratamientos terciarios**

Su fin es remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes hídricas y mejorar la calidad de este para adecuar el agua para su rehuso (Fúquene et al., n.d.).

**2.5.4.1. Precipitación Química.** Adición de productos químicos al agua residual, este tiene como objetivo modificar el estado de los sólidos suspendidos y disueltos que están presentes en esta agua, de esta manera se facilita su eliminación (Metcalf y Eddy, 1998, p.160).

**2.5.4.2. Intercambio Iónico.** Se realiza un intercambio de iones de diferente especie por iones de la misma especie, estos se encuentran sobre la materia insoluble (Metcalf y Eddy, 1998, p.146).

**2.5.4.3. Adsorción.** Se concentra un soluto en la superficie de un sólido, en este proceso se utilizan materiales como carbón activado ya que elimina la materia orgánica disuelta



que se acumula en la interfase siendo esta la frontera líquido-sólido (César Valdez y Vázquez González, 2003,p.41).

## **2.6.marco legal aplicable**

El agua residual de camal tiene una alta contaminación, para ser vertida en un sistema de alcantarillado debe ser regulada por la Ordenanza 097<sup>a</sup>, el cual indica los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua residual y los parámetros que deben ser evaluados para obtener la calidad del agua.

A continuación se indica el marco legal aplicable para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal del cantón Mejía:

Constitución de la República del Ecuador

Registro Oficial No.449, 20 de Octubre de 2008

Art.264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Constitucion de la republica del Ecuador, 2008,p.118).

Art.411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (constitución de la republica del Ecuador, 2008,p.181).

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua

Registro Oficial Suplemento 305, 06 de agosto de 2014

Art. 11.- - Infraestructura hidráulica.

Se consideran obras o infraestructura hidráulica las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes, protección frente a avenidas o crecientes, tales como presas, embalses, canales, conducciones, depósitos de abastecimiento a poblaciones, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad así como todas las obras y equipamientos necesarios para la protección del dominio hídrico público (Asamblea Nacional, 2014,p.5).

Art. 37.- Servicios Públicos Básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso.

1. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración (Asamblea Nacional, 2014,p.14).

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

ORDENANZA 097<sup>a</sup> , 4 de Noviembre de 2015

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes

4.Clasificación

4.2 Normas Generales de descarga de efluentes

1. Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.

2. Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

## 5. Desarrollo

### 5.2 Criterios Generales para la Descarga de Efluentes

#### 5.2.1 Principios Básicos para Descarga de Efluentes

5.2.1.3 Los sedimentos, lodos de tratamiento de aguas residuales y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disiparse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos peligrosos o no peligrosos, de acuerdo a su composición (MAATE, n.d. ,p.94).

5.2.1.4 Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán adaptar sus ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas, en sujeción a lo establecido en la presente norma (MAATE, n.d. ,p.94).

5.2.1.10 Se prohíbe verter desechos sólidos, tales como: basuras, animales muertos, mobiliario, entre otros, y líquidos contaminados hacia cualquier cuerpo de agua y cauce de aguas estacionales secas o no (MAATE, n.d. ,p.95).

#### 5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

5.2.3.4 Se prohíbe descargar en un sistema de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores

o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa (MAATE, n.d. ,p.96).

5.2.3.6 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujeras a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la tabla 9, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios (MAATE, n.d ,p.96).

**Tabla 1**

*Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público*

| <b>PARÁMETROS</b>                      | <b>EXPRESADO<br/>COMO</b>     | <b>UNIDAD</b> | <b>LÍMITE<br/>MÁXIMO<br/>PERMISIBLE</b> |
|--|-------------------------------|---------------|---|
| Aceites y Grasas                       | Solubles en hexano            | mg/l          | 70,0                                    |
| Explosivos o inflamables               | Sustancias                    | mg/l          | Cero                                    |
| Alkil mercurio                         | -                             | mg/l          | No detectable                           |
| Aluminio                               | Al                            | mg/l          | 5,0                                     |
| Arsenico total                         | As                            | mg/l          | 0,1                                     |
| Cadmio                                 | Cd                            | mg/l          | 0,02                                    |
| Cianuro total                          | CN                            | mg/l          | 1,0                                     |
| Zinc                                   | Zn                            | mg/l          | 10,0                                    |
| Cloro activo                           | Cl                            | mg/l          | 0,5                                     |
| Cloroformo                             | Extracto carbón<br>cloroformo | mg/l          | 0,1                                     |
| Cobalto total                          | Co                            | mg/l          | 0,5                                     |
| Cobre                                  | Cu                            | mg/l          | 1,0                                     |
| Compuestos fenólicos                   | Expresado como<br>fenol       | mg/l          | 0,2                                     |
| Compuestos organoclorados              | Organoclorados<br>totales     | mg/l          | 0,05                                    |
| Cromo hexavalente                      | Cr <sup>+6</sup>              | mg/l          | 0,5                                     |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO <sub>5</sub>              | mg/l          | 250,0                                   |
| Demanda Química de Oxígeno             | DQO                           | mg/l          | 500,0                                   |
| Dicloroetileno                         | Dicloroetileno                | mg/l          | 1,0                                     |

| <b>PARÁMETROS</b>                    | <b>EXPRESADO<br/>COMO</b>                 | <b>UNIDAD</b> | <b>LÍMITE<br/>MÁXIMO<br/>PERMISIBLE</b> |
|--------------------------------------|---|---------------|---|
| Fósforo Total                        | P   | mg/l          | 15,0                                    |
| Hidrocarburos<br>totales de petróleo | TPH                                       | mg/l          | 20,0                                    |
| Hierro total                         | Fe  | mg/l          | 25,0                                    |
| Manganeso total                      | Mn  | mg/l          | 10,0                                    |
| Mercurio (Total)                     | Hg  | mg/l          | 0,01                                    |
| Níquel                               | Ni  | mg/l          | 2,0                                     |
| Nitrógeno total<br>Kjedahl           | N   | mg/l          | 60,0                                    |
| Organofosfados                       | Especies totales                          | mg/l          | 0,1                                     |
| Plata                                | Ag  | mg/l          | 0,5                                     |
| Plomo                                | Pb  | mg/l          | 0,5                                     |
| Potencial<br>Hidrógeno               | pH  | -             | 6-9                                     |
| Selenio                              | Se  | mg/l          | 0,5                                     |
| Sólidos<br>Sedimentables             | -   | mg/l          | 20,0                                    |
| Sólidos<br>suspendidos totales       | -   | mg/l          | 220,0                                   |
| Sólidos totales                      | -   | mg/l          | 1600,0                                  |
| Sulfatos                             | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>             | mg/l          | 400,0                                   |
| Sulfuros                             | S   | mg/l          | 1,0                                     |
| Temperatura                          | °C  | -             | <40,0                                   |
| Tensoactivos                         | Sustancias activas<br>al azul de metileno | mg/l          | 2,0                                     |
| Tetracloruro de<br>carbono           | Tetracloruro de<br>carbono                | -             | 1,0                                     |
| Tricloroetileno                      | Tricloroetileno                           | -             | 1,0                                     |

*Nota:* Tomado de Ordenanza 097ª, 2015

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

Para realizar el muestreo y análisis del agua residual se utilizó el material adecuado, vestimenta de bioseguridad (mandil, guantes, mascarilla, cofia, botas de caucho) según el reglamento interno de seguridad y salud del Camal Municipal del Cantón Mejía y el reglamento interno de bioseguridad de la Universidad Politécnica Salesiana.

**Tabla 2**

*Materiales Utilizados en Etapa de Muestreo*

| <b>MATERIAL</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>CAPACIDAD</b> |
|-----------------|-----------------|------------------|
| Balde           | 4               | 6L               |
| Guantes         | 2 pares         | -                |
| Mascarillas     | 2               | -                |
| Botas           | 1 par           | -                |
| Marcador        | 1               | -                |

*Nota:* Elaborado por Quinatoa Nathaly , (2022)

**Tabla 3**

*Materiales Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio*

| <b>MATERIAL</b>        | <b>CANTIDAD</b> | <b>CAPACIDAD</b> |
|------------------------|-----------------|------------------|
| Cono Imhoff            | 1               | 1000 mL          |
| Vasos de Precipitación | 2               | 1400mL – 400 mL  |
| Jeringuillas           | 2               | 2 mL             |
| Adaptador de vial      | 1               | -                |
| Pipetas                | 2               | 10 mL            |
| Peras                  | 1               | -                |
| Frascos Winkler        | 6               | 500 mL           |
| Papel Aluminio         | -               | -                |
| Crisol                 | 3               | 125 mL           |

|                      |   |       |
|----------------------|---|-------|
| Desecador            | 1 | 14 mL |
| Filtros              | 3 | 45 µm |
| Varilla de agitación | 1 | -     |
| Pecera               | 1 | 5L    |
| Gradilla             | 1 | -     |

*Nota:* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

### 3.2. Equipos

Los equipos utilizados para realizar los análisis correspondientes fueron proporcionados por la Universidad Politécnica Salesiana, previamente se comprobó que estos estén calibrados y en buen estado para su manejo.

**Tabla 4**

*Equipos Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio*

| EQUIPO            | MARCA                       | MODELO                  |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Digestor          | SCP Science<br>DigiPrepCube | F10SA0109               |
| Fotómetro         | Hanna Instruments           | HI83399                 |
| Medidor de pH     | LAQUAact                    | pH/ORP/ COND METER D-74 |
| Turbidímetro      | Orbeco Hellige              | TB200                   |
| Incubadora        | Velp Scientifica            | FTC 90E                 |
| Balanza analítica | Mettler Toledo              | ML-204                  |
| Estufa            | Memmert                     | INB 500                 |

*Nota:* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**Tabla 5***Reactivos Utilizados en Etapa de Análisis de Laboratorio*

| <b>REACTIVO</b>        | <b>MARCA</b>      | <b>CÓDIGO</b> |
|------------------------|-------------------|---------------|
| Viáles DQO             | Hanna Instruments | HI93754-C     |
| Viáles Fósforo Total   | Hanna Instruments | HI93758V-OHR  |
| Viáles Nitrógeno Total | Hanna Instruments | HI93767B-B    |
| Reactivo Nitrato       | Hanna Instruments | HI93728-0     |
| Reactivo Nitrito       | Hanna Instruments | HI93708-0     |
| Sudan III              | -                 | -             |

*Nota:* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

### **3.3. Métodos**

#### **3.3.1. Muestreo**

Se realizó la toma de muestras de agua residual del camal municipal del cantón Mejía, se tomaron 6 alícuotas de 2L cada hora durante 6 horas la cual se homogenizo y el resultado fue una muestra compuesta de 12L de agua residual.

Para realizar el muestreo se utilizó un balde el cual tuvo un triple lavado, posteriormente se procedió a colocar el agua residual en este tratando de que no exista espacio o burbujas de aire dentro del balde, finalmente se procede a etiquetar la muestra.

#### **3.3.2. Caudal/Aforo**

Existen distintos métodos para obtener el caudal, los cuales se los explica a continuación:



Método 1: Se toma un balde o botella PET sujetados a una cuerda se procuró que el tanque se llene con el efluente de agua, se toma el tiempo durante 4 o 5 veces y se procede a obtener el caudal mediante la siguiente ecuación

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

Dónde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/día)

V= Volumen del recipiente

t: Tiempo en llenarse el recipiente.

Método 2: Se utiliza un molinete para conocer la velocidad del efluente, varios efluentes de agua residual no contienen un exceso de sólidos que puedan obstruir el medidor. Se mide la altura y el ancho del canal donde desemboca el agua residual y a continuación se colocó el molinete, con los datos obtenidos se conoció el valor de la sección transversal del canal y con la velocidad se puede conocer el caudal, este método es más utiliza en ríos con un caudal alto (Metcalf y Eddy, 1998).

### ***3.3.3. Potencial Hidrógeno y Temperatura***

Una vez tomada la muestra de agua residual se procede a poner 400 mL de la muestra en un vaso de precipitación, posteriormente se enciende el equipo y se coloca los electrodos dentro de la muestra, después de 10 a 20 segundos el resultado de los parámetros quedará estáticos siendo estos el resultado final.

### ***3.3.4. Oxígeno disuelto***

En un vaso de precipitación se vierte la muestra del agua residual, posteriormente se coloca los electrodos y se oprime el botón MEAS para que se mida el valor, aparecerá un símbolo “HOLD” y se procede a registrar e valor.

### ***3.3.5. Turbidez***

En una cubeta vacía destinada a ser el blanco se coloca 10 mL de agua destilada para encerrar en equipo, en otra cubeta se coloca 10 mL de la muestra de agua residual, se prosigue a colocar la muestra dentro del turbidímetro, este se debe posicionar bien para evitar que la luz entre e interfiera en la lectura, se preciosa la tecla “enter” y el resultado se visualiza en la pantalla en unidades NTU.

## **3.4. Métodos empleados en análisis de laboratorio**

### ***3.4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)***

Se realiza un agua de dilución o agua complementaria que es el agua agregada para mantener o diluir un sistema de lodo con agua, puede presentar características óptimas para la sobrevivencia y reproducción de los organismos usados en pruebas de toxicidad. El agua de dilución se realiza con aproximadamente 500 mL de agua destilada y 1mL de sustancias: solución de fosfato reguladoras  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$  y  $FeCl_3$ , el pH del agua de solución debe ser 7,2 y se dejó airear durante media hora.

Se vertió de 10mL a 30 mL de agua residual en el frasco winkler, se continuó llenando con agua de dilución el frasco winkler y se midió el oxígeno disuelto, se colocó en la incubadora a una temperatura de 20°C durante 5 días.

### **3.4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se preparó un vial blanco y viales para medir la DQO, a continuación, se detalla la preparación de estos:

Vial blanco: en un vial HI93754C-0 se coloca 0.2 mL de agua desionizada en un ángulo de 45°, se colocó la tapa correctamente y se invirtió el vial varias veces para homogenizar.

Vial muestras: en los viales HI93754C-0 se coloca 0.2 mL de muestra de agua residual respectivamente en un ángulo de 45°, al colocar la tapa correctamente se invierte el vial varias veces para homogenizar.

Al tener las muestras se colocan en el digestor DigiPREP CUBE previamente calentado hasta alcanzar una temperatura de 150°C, el tiempo de digestión es de dos horas, al finalizar el tiempo se apaga el digestor y al transcurrir aproximadamente 20 minutos la temperatura desciende a 120°C, se invierte los viales mientras estos estén a la temperatura anteriormente mencionada, se procede a colocar los viales en una gradilla hasta que alcance una temperatura ambiente. Utilizando el fotómetro HI83399 seleccionando el método DQO HR (16), se introduce el adaptador de vial de 16 mm, el primer vial a introducir es el blanco y se pulsa la tecla “Cero” mostrando en la pantalla -0,0- , al mostrar esto el fotómetro está listo para la medición, se procede a sacar el vial blanco y se introduce el vial de la muestra, al estar correctamente ubicado el vial en el fotómetro se presiona la tecla “Leer” dando el resultado en mg/L de Oxígeno (HANNA instruments, n.d.).

### **3.4.2. Sólidos Sedimentables**

Se coloca 1000mL de muestra de agua residual en un cono Imhoff con el fin de que los sólidos caigan por gravedad, se deja reposar durante 45 minutos, al transcurrir este tiempo se raspa las paredes del cono suavemente con una varilla de agitación finalmente se deja 15

minutos para que complete el tiempo de 60 minutos y se registra el valor de sólidos sedimentables en unidades mL.

### **3.4.3. Sólidos suspendidos Totales**

Se colocan los filtros de 45 µm en la estufa a 105°C durante una hora, transcurrida este tiempo se colocan los filtros en un desecador hasta que alcance la temperatura ambiente, en una balanza analítica se toma el peso del filtro vacío se prosigue a filtrar una muestra inicial del agua residual de 50 mL, al terminal la filtración se lleva el filtro a la estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas, después de este tiempo se lleva el filtro a un desecador durante 30 minutos hasta que alcance la temperatura ambiente, se toma el peso del filtro y se lleva este a una mufla a 550°C durante 30 minutos, al finalizar el tiempo se lleva el filtro al desecador y se toma el peso final del filtro es en unidades de mg/L.

Estos se calculan con la siguiente fórmula

$$SST = \frac{(W \text{ filtro } 105^{\circ} - W \text{ filtro}) * 100}{\text{Volumen de muestra}}$$

Donde:

W = Peso

### **3.4.4. Fósforo Total**

Se preparó un vial blanco y un vial de muestra cómo se detalla a continuación:

Vial blanco: en un vial HI93758V-0HR se añade 5mL de agua desionizada teniendo el vial en un ángulo de 45°.

Vial muestra: en un vial HI93758V-0HR se añade 5mL de muestra de agua residual teniendo el vial en un ángulo de 45°.

Posteriormente se añade el contenido de persulfato potásico (PERSULFATE/P) a cada vial , al cerrar el vial se agita suavemente hasta que se disuelva, se inserta los viales en el digestor DigiPREP CUBE durante 30 minutos a una temperatura de 150°C, al finalizar el tiempo se coloca los viales en una gradilla y se espera hasta que este a temperatura ambiente, se continua añadiendo 2 mL de solución de NaOH 1,4N HI93758C-0 en un ángulo de 45°C, se cierra correctamente los viales y se invierten varias veces para mezclar, finalmente se coloca 0,5 ml del reactivo indicador de fósforo total en rango alto B HI93763B-0 en un ángulo de 45°, se cierran correctamente y se invierten el vial varias veces para mezclar, este procedimiento se realiza a cada vial.

Para medir el fósforo total se utiliza el fotómetro HI83399, en este se selecciona el método “Fósforo total HR (R.alto) (16)”, con ayuda del adaptador de viales de 16mm se introduce el vial blanco y se presiona la tecla “Temporizador” , se debe esperar 7 minutos, al finalizar el tiempo se debe pulsar la tecla “Cero” y la pantalla mostrará “-0,0-”, cuando el equipo muestre cero está listo para la medición de fosforo total, se introduce el vial de la muestra y se pulsa la tecla “leer” dando el resultado en mg/L de Fósforo (P).

Este método también convierte el resultado a mg/L de Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) y Pentóxido de difósforo ( $\text{P}_{205}$ ), esto presionando ▲ o ▼ y luego presionando la tecla “Chem Frm” (HANNA instruments, n.d.).

#### **3.4.5. Grasas y Aceites**

En un vaso de precipitación se coloca 100 mL de muestra de agua residual, posteriormente se coloca de 4 a 5 gotas de sudan III , se mezcla y se deja reposar, después de 15 minutos las grasas y aceites se teñirán de color rojo siendo este el resultado y dando en unidades de ml/L. de

### **3.4.6. Nitrógeno Total (NTK)**

En un vaso de precipitación se vierte 100mL de muestra de agua residual, siendo necesario la preparación de un vial blanco y un vial de muestra cómo se detalla a continuación:

Vial blanco: en un vial HI93767B-B se añade un paquete de Persulfato potásico (PERSULFATE/N), posteriormente se añade 0.5 mL de agua desionizada teniendo el vial a 45°, se cierra el vial correctamente y se agita durante 30 segundos.

Vial muestra: en un vial HI93767B-B se añade un paquete de Persulfato potásico (PERSULFATE/N), posteriormente se añade 0.5 mL de muestra de agua residual teniendo el vial a 45°, se cierra el vial correctamente y se agita durante 30 segundos.

Se inserta los viales en el digestor DigiPREP CUBE durante 30 minutos a una temperatura de 105°C. Se retira la tapa de los viales para añadir el paquete de metabisulfito sódico, se cierra correctamente la tapa de cada vial y se agitan durante 15 segundos, en el fotómetro HI83399 seleccionamos el método Nitrógeno Total HR (16), se procede a añadir a los viales el reactivo de nitrógeno total HI93767-0, se cierra correctamente y se agita durante 15 segundos, se presiona la tecla “continuar”, se añade el reactivo indicador de nitrógeno total en rango alto HI93766V-0HR, posteriormente se añade 2mL de blanco digerido a uno de los viales de reactivo y 2mL de la muestra digerida al otro vial de reactivo, se deben mantener a 45°, se cierra correctamente los viales y se invierten 10 veces.

Se introduce en el fotómetro el vial blanco y se pulsa la tecla “Continuar”, al finalizar el tiempo estimado se pulsa la tecla “Cero” y la pantalla mostrará “-0,0-”, esto indica que está listo el equipo para medir el nitrógeno total, se procede a retirar el vial blanco y a insertar el vial de muestra, pulsar la tecla “Leer”, el equipo da el resultado en unidades de mg/L de nitrógeno (N).

Este método también convierte el resultado a mg/L de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (HANNA instruments, n.d.).

#### **3.4.7. Nitratos**

En el fotómetro HI83399 seleccionó el método nitrato, se procede a tomar una cubeta con 10mL de agua desionizada y se introduce en el fotómetro, se pulsa la tecla “cero” y la pantalla mostrará “-0,0-” indicó que está listo para la medición. En otra cubeta se llena 10mL de muestra de agua residual y se añade el reactivo de nitrato HI93728-0, se cierra correctamente y se agita de arriba y abajo durante 10 segundos, se ingresa la cubeta en el fotómetro y se pulsa la tecla “temporizador”, al terminar el tiempo se pulsa la tecla “leer” dando los resultados en unidades de mg/L de nitrógeno nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) (HANNA instruments, n.d.).

#### **3.4.8. Nitritos**

En el fotómetro HI83399 se seleccionó el método nitrito, se procede a tomar una cubeta con 10mL de agua desionizada y se introduce en el fotómetro, se pulsa la tecla “cero” y la pantalla mostrará “-0,0-” indicando que está listo para la medición. En otra cubeta se llena 10mL de muestra de agua residual y se añade el reactivo de nitrito (R.Alto) HI93708-0, se cierra correctamente y se agita de arriba, se ingresa la cubeta en el fotómetro y se pulsa la tecla “temporizador, al terminar el tiempo se pulsa la tecla “leer” dando los resultados en unidades de mg/L de nitrógeno nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ).

Este método también convierte el resultado a mg/L de nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y nitrito sódico ( $\text{NaNO}_2$ ) (HANNA instruments, n.d.).

### 3.5. Metodología de análisis estadístico

Dentro de este se permite determinar la probabilidad con la que algún valor se excedió o no. El valor para un 50% de probabilidad corresponde al promedio aritmético estadístico, para determinar este análisis estadístico se utilizó el método A propuesto por Romero Rojas, 2004. Este método se utiliza para un número de datos menor a 20, el procedimiento es el siguiente:

Los datos deben estar en 3 columnas, en la primera columna se coloca el número [n] de orden de cada dato [m], siempre comenzando desde el número. En la segunda columna se ordenan los datos en orden ascendente de magnitud, en la última columna la frecuencia, probabilidad o porcentaje de ocurrencia se determina con la siguiente fórmula: (Romero Rojas, 2004).

$$f = \frac{(m - 0.5) * 100}{n}$$

Donde:

f: Frecuencia

m: Número de posición del dato

n: Número de datos proporcionados.

Se grafica el valor del dato frente la frecuencia o probabilidad y se hace una regresión lineal de los datos, si los datos obtenidos son ajustables a una recta, con una buena correlación, la distribución es normal y se pueden aplicar los parámetros estadísticos de dicha distribución (Romero Rojas, 2004).

A continuación, se puede ver un ejemplo de lo descrito:



**Tabla 6***Valores para el ejemplo*

| <b>m</b> | <b>DBO, mg/L</b> | <b>f (%)</b> |
|----------|------------------|--------------|
| 1        | 400              | 6,25         |
| 2        | 450              | 18,75        |
| 3        | 520              | 31,25        |
| 4        | 630              | 43,75        |
| 5        | 700              | 56,25        |
| 6        | 730              | 68,75        |
| 7        | 860              | 81,25        |
| 8        | 1100             | 93,75        |

*Nota:* Tomado de Romero Rojas, 2004.**3.5. Diseño**

La PTAR tendrá un funcionamiento de 25 a 30 años por lo que el periodo de diseño está proyecta para el año 2047.

**3.5.1. Caudal de diseño**

El camal municipal del Cantón Mejía solo faena animales bovinos siendo un mínimo de faenamiento de 75 animales y el máximo de faenamiento 90 animales, dentro del proceso de faenamiento se utiliza  $250 \text{ L/Bovino} * \text{día}$  y trabajan 9 horas diarias.

$$Q_{AR} = N^{\circ}_{Bovinos} * Volumen_{H2O} * Cf$$

Donde:

$Q_{AR}$ : Caudal de diseño [ $\text{m}^3/\text{día}$ ]

$N^{\circ}$ : Número de bovinos faenados [Bovinos]

V: volumen de agua consumida por bovino [ $\text{L/bovino} * \text{día}$ ]

Cf: Coeficiente de seguridad [50]

Nota: el Coeficiente de seguridad es constante y se utiliza porque este tipo de industrias como son los canales están en constante crecimiento.

### **3.6. Diseño de planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados**

#### **3.6.1. Diseño de Canal de Ingreso**

Para el diseño de canal de ingreso se empleó la fórmula de Manning como se indica a continuación:

$$Q_d = A * S^{1/2} * R^{2/3} * \frac{1}{n}$$

Donde:

$Q_d$ : Caudal de diseño [ $m^3/día$ ]

A: Área [ $m^2$ ]

S: Pendiente [m/m]

R: Radio Hidráulico [m]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning [0.014]

Para conocer la altura hasta dónde llega el agua con el caudal de agua residual se utiliza la siguiente fórmula.

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q_{AR}^2}{b^2 * 9.81 \text{ m/s}^2}}$$

Donde:

$Y_c$ : Altura a la que llega el agua [m]

$Q_{ar}$ : Caudal Agua residual [ $m^3/s$ ]

b: Base [m]

Para el ancho del canal se estima los datos de la siguiente tabla.

### **Tabla 7**

#### *Medidas Típicas del Ancho del Canal*

---

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Ancho del canal [cm]</b> | <b>40-50-60-80-100-125-160-180-200-225-250</b> |
|-----------------------------|--|

---

*Nota.* Tomado de Valdez y Vázquez González, 2003

Para determinar los parámetros de área y radio hidráulico se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$A = b * Y_c$$

Donde:

A: Área [ $m^2$ ]

b: Ancho del canal [m]

$Y_c$ : Altura a la que llega el agua [m]

$$P_M = (Y_c * 2) + b$$

Donde:

$P_M$ : Perímetro [m]

$Y_c$ : altura a la que llega el agua [m]

b: Ancho del canal [m]

$$R_H = \frac{A}{P_M}$$

Donde:

$R_H$ : Radio Hidráulico [m]

A: Área [m<sup>2</sup>]

$P_M$ : Perímetro [m]

$$S = \left( \frac{Q_{AR}}{A * Radio_H^{2/3} * 1/Rugosidad} \right)^2$$

Donde:

S: Pendiente [m/m]

$Q_{AR}$ : Caudal Agua Residual [m<sup>3</sup>/s]

$R_H$ : Radio [m]

R: Rugosidad [0.014]

$$Altura = \frac{A}{b}$$

Donde:

A: Área [m<sup>2</sup>]

b: Ancho del canal [m]

$$L = 3.5 * b$$

Donde:

L: Longitud [ m]

b: ancho del canal [m]

### 3.6.2. Diseño de Criba

Dentro del diseño de cribado se separa el material grueso del agua, pueden ser de limpieza manual o mecánica, dentro del tratamiento de aguas residuales generalmente estas suelen ser de acero inoxidable para proteger válvulas, bombas, tuberías, etc. Se emplearon las siguientes ecuaciones.

$$L = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{2}}{2 * g} * \left(\frac{Q_{AR}}{c * a}\right)^2}$$

Donde:

L: Largo [m]

g: Gravedad [9.81 m/s<sup>2</sup>]

Q<sub>AR</sub>: Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/seg]

c: Coeficiente de descarga [0.003]

a: Ancho de canal [m]

$$Ae: L * a$$

Donde:

Ae: Área específica [m<sup>2</sup>]

L: Largo [m]

a: Ancho [m]

$$h = \frac{L}{\sqrt{2}}$$

Donde:

h: Altura [m]

L: Largo [m]

En la siguiente tabla se especifica la característica de las rejillas de barras.

**Tabla 8**

*Características de Rejillas de Barras*

| CARACTERÍSTICAS               | DE LIMPIEZA MANUAL | DE LIMPIEZA MECÁNICA |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| Ancho de las barras           | 0,5 - 1,5 cm       | 0,5 – 1,5 cm         |
| Profundidad de las barras     | 2,5 - 7,5 cm       | 2,5 -7,5 cm          |
| Abertura o espaciamiento      | 2,5 - 5,0 cm       | 1,5 – 7,5 cm         |
| Pendiente con la vertical     | 30° - 45°          | 0° - 30°             |
| Velocidad de acercamiento     | 0,3 – 0,6 m/s      | 0,6 – 1 m/s          |
| Pérdida de energía permisible | 15 cm              | 15 cm                |

*Nota.* Tomado de Romero Rojas, 2004, p.288

Para conocer el número de barras se utiliza la siguiente fórmula

$$n = \frac{a - t}{t + b}$$

Donde:

n: Número de barras

a: Ancho del canal [m]

t: Separación entre barras [2.5 cm]

b: Ancho de barras [1.5 cm]

### 3.6.3. Diseño de Trampa de Grasa

Para el diseño de trampa de grasas se dimensiono con la siguiente fórmula

$$V_{AYG} = \frac{Q_{AR} * t_v * AyG * 2}{\rho_{AYG}}$$

Donde:

$Q_{AR}$ : Caudal de diseño [ $m^3/s$ ]

$V_{AYG}$ : Volumen trampa de grasas [ $m^3$ ]

$T_v$ : Tiempo de vaciado [Día]

$\rho_{AYG}$  : Densidad [ $g/cm^3$ ]

$$V_{AYGp} = \frac{V_{AYG}}{2}$$

Donde:

$V_{AYGp}$ : Volumen de trampa de grasa caja pequeña [ $m^3$ ]

$V_{AYG}$ : Volumen de trampa de grasas [ $m^3$ ]

Para determinar la longitud, ancho y altura se utilizó la relación longitud/ancho

$$L = 2a = 3h$$

Donde:

L: Longitud de caja grande [m]

a: Ancho de caja grande [m]

h: Altura de caja grande [m]

Se reemplaza los valores en las siguientes fórmulas.

$$L = \sqrt[3]{V_{AYG} * 6}$$

Donde:

L: Longitud caja grande [m]

$V_{AYG}$ : Volumen de trampa de grasa [m<sup>3</sup>]

$$a = \frac{L}{2}$$

Donde:

a: Ancho caja grande [m]

L: Longitud caja grande [m]

$$h = \frac{L}{3}$$

Donde:

h: Altura caja grande [m]

L: Longitud caja grande [m]

Después que se obtuvo las dimensiones de la caja grande se puede dimensionar la caja pequeña con las siguientes fórmulas.

$$m = \frac{2}{3} * h$$

Donde:



m: Altura caja pequeña [m]

h: Altura caja grande [m]

$$n = \frac{2}{3} * L$$

Donde:

n: Longitud caja pequeña [m]

L: Longitud caja grande [m]

$$o = a$$

Donde:

o: Ancho caja pequeña [m]

a: Ancho caja grande [m]

#### **3.6.4. Diseño de Sistema DAF**

Se agrega aire lo cual le permite salir a presión atmosférica y liberar el gas en exceso del de saturación, logra reducir la densidad de los materiales en suspensión principalmente grasas y aceites por el contacto con gotas pequeñas de aire, para determinar este se toma en cuenta los parámetros de diseño que se encuentran en el libro de Romero Rojas páginas 353 – 357 y aplicamos las siguientes fórmulas.

$$C' = C \left( \frac{P' - P_V}{760 - P_V} \right)$$

Donde:

C': Solubilidad del aire en agua, a la presión absoluta P' [mL aire/L de agua]

P': Presión absoluta del aire [mm de Hg]

C: Solubilidad del aire en agua [mL aire/ L de agua]

P<sub>v</sub>: Presión de vapor del agua [mm Hg]

$$C_T - C_L = C \left[ \frac{F(P_T - P_V) - (P_L - P_V)}{760 - P_V} \right]$$

Donde:

C<sub>T</sub>: Solubilidad de saturación del aire a la presión de operación del tanque [mL aire/L]

C<sub>L</sub>: Solubilidad de saturación del aire a l presión local atmosférica [mL aire/L]

P<sub>T</sub>: Presión de operación del tanque [mm de Hg]

P<sub>L</sub>: Presión local atmosférica [mm de Hg]

C: solubilidad de saturación de aire a una atmósfera de presión [mL aire / L de agua]

P<sub>v</sub>: Presión de vapor del agua a la temperatura del ensayo [mm de Hg]

f: Fracción de saturación alcanzada en el tanque de presurización [0,5 a 0,8]

### **3.6.5. Diseño de Sedimentador Primario**

Se utiliza la sedimentación primaria para remover los sólidos sedimentables y material flotante que contiene las aguas residuales, teniendo como fin la reducción de los sólidos suspendidos, para dimensionar el sedimentador primario se utilizan las fórmulas descritas a continuación.

$$V_s = Q_r * t_r$$

Donde:

$V_s$ : Volumen sedimentador [ $m^3$ ]

$Q_r$ : Caudal de diseño [ $m^3/s$ ]

$t_r$ : Tiempo de retención [90 min]

Nota: el tiempo de retención fue tomando del libro de Romero Rojas de la tabla de estándares de diseño de sedimentadores primarios.

Para obtener las dimensiones de altura, ancho y longitud se utiliza la siguiente relación de longitud/ancho

$$5h = 2a = L$$

Donde:

$h$ : Altura [m]

$a$ : Ancho [m]

$L$ : Longitud [m]

Los valores se reemplazan en las siguientes fórmulas.

$$L_s = \sqrt[3]{10 * V_s}$$

Donde:

$L_s$ : Longitud sedimentador primario [m]

$V_s$ : Volumen sedimentador primario [m]

$$as = \frac{Ls}{2}$$

Donde:

as: Ancho Sedimentador Primario [m]

Ls: Longitud Sedimentador Primario [m]

$$h_s = \frac{L_s}{5}$$

Donde:

hs: Altura sedimentador primario [m]

Ls: Longitud sedimentador primario [m]

La tolva se encuentra en la parte inferior del desarenador, para el dimensionamiento se utilizaron las siguientes fórmulas.

$$M = L_s * \tan(10)$$

Donde:

M: Lado de tolva [m]

Ls: Longitud sedimentador primario [m]

Tan (10): ángulo de inclinación

$$V_t = \frac{as * M * L_s}{3}$$

Donde:

Vt: Volumen tolva [m<sup>3</sup>]

as: Ancho sedimentador primario [m]

M: Lado de tolva [m]

L<sub>s</sub>: Longitud de sedimentador primario [m]

$$Q_s = Q_{AR} * ST$$

Donde:

Q<sub>s</sub>: Caudal de agua residual que contiene sólidos [m<sup>3</sup>/día]

Q<sub>AR</sub>: Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/día]

ST: Sólidos totales [g/L]

$$t_v = \frac{V_t}{Q_s}$$

Donde:

T<sub>v</sub>: Tiempo de vaciado de tolva [día]

V<sub>t</sub>: Volumen tolva [m<sup>3</sup>]

Q<sub>s</sub>: Caudal de agua residual que contiene sólidos [m<sup>3</sup>/día]

### ***3.6.6. Diseño de Sedimentador Secundario***

La profundidad del sedimentador secundario va a depender de varias variables, mientras sea más profundo la eficiencia va a ser mejor, mientras la cantidad de lodos activados sea mayor esta mejora la concentración del mismo y disminuye los requerimientos de recirculación, existen varios criterios para el diseño de tanques de sedimentación secundaria que se detallan a continuación.

**Tabla 9***Parámetros de Diseño de Sedimentador Secundario*

| Tipo de tratamiento  | Carga superficial |                | Carga de sólidos   |             | Profundidad m |
|--|-------------------|----------------|--------------------|-------------|---------------|
|  | m/d               |                | kg/dm <sup>2</sup> |             |               |
|  | Caudal Promedio   | Caudal Pico    | Caudal Promedio    | Caudal Pico |               |
| Sedimentación secundaria   | 16 – 28<br><34    | 40 – 65<br><65 | 100 - 150          | 245         | 3,7 – 4,6     |
| Sedimentación secundaria   | 8 – 33            | 24 – 49        | 23 – 164           | 164 – 234   | 3 – 6         |
| Sedimentación después de filtro percolador                                 | 16 – 24           | 41 – 49        | -                  | -           | 3 – 3,7       |
| Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada) | 16 – 32           | 41 – 49        | 98 – 147           | 245         | 3,7 – 4,6     |
| Sedimentación después de aireación prolongada                              | 8 - 16            | 32             | 98 – 147           | 245         | 3,7 – 4,6     |

*Nota.* Tomado de Romero Rojas, 2004, p.644

Para el dimensionamiento del sedimentador secundario se utilizaron las fórmulas detalladas a continuación.

$$A = \frac{Q_{AR}}{Q_{CS}}$$

Donde:

A: Área del sedimentador secundario [m<sup>2</sup>]

Q<sub>AR</sub>: Caudal de Diseño [m<sup>3</sup>/día]

Q<sub>CS</sub>: Caudal Promedio [m/Día]. El valor referencial utilizado 29[m/día]

$$Q_{pc} = (2 + 1) * Q_{AR}$$

Donde:

Q<sub>pc</sub>: Caudal pico del afluente al sedimentador secundario [m<sup>3</sup>/día]

Q<sub>AR</sub>: Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/día]

$$A_{SS} = \frac{Q_{pc}}{Q_{pcs}}$$

Donde:

A<sub>SS</sub>: Área sedimentador secundario [m<sup>2</sup>]

Q<sub>pc</sub>: Caudal pico del afluente al sedimentador secundario [m<sup>3</sup>/día]

Q<sub>pcs</sub>: Caudal pico [m/día]. El valor referencial utilizado 60 [m<sup>3</sup>/día]

Nota: El caudal pico se tomo del libro de Romero Rojas de la tabla parámetros de diseño de sedimentadores secundarios.

$$Q_{PS} = Q_{pc} * X$$

Donde:

Q<sub>PS</sub>: Flujo pico de sólidos [kg/día]

Q<sub>pc</sub>: Caudal pico del afluente al sedimentador secundario [m<sup>3</sup>/día]

X: Concentración de SSV [mg/L]

$$A = \frac{Q_{ps}}{C_{ps}}$$

Donde:

A= Área de sedimentación requerida por carga de sólidos [m<sup>2</sup>]

Q<sub>ps</sub>: Flujo pico de sólidos [kg/día]

C<sub>ps</sub>: Carga Pico de sólidos [kg/día\*m<sup>2</sup>]. El valor referencial utilizado 245 [kg/d\*m<sup>2</sup>]

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 * A_{SS}}{\pi}}$$

Donde:

Ø: Diámetro de cilindro [m]

A<sub>SS</sub>: Área sedimentador secundario [m<sup>2</sup>]

$$V = A_{SS} * h$$

Donde:

V: Volumen sedimentador [m<sup>3</sup>]

A<sub>SS</sub>: Área sedimentador secundario [m<sup>2</sup>]

h: Profundidad del cilindro [m]. El valor referencial utilizado 3[m]

$$C_V = \frac{Q_{pc} * 1000}{\pi * \varnothing * 86400}$$



Donde:

$C_v$ : Carga de rebose [L/sm]

$Q_{pc}$ : Caudal pico del afluente al sedimentador secundario [m<sup>3</sup>/día]

$\emptyset$ : Diámetro de cilindro [m]

$$\theta = \frac{V * 24}{Q_{AR}}$$

Donde:

$\theta$ : Tiempo de retención [día]

$V$ : Volumen sedimentador [m<sup>3</sup>]

$Q_{AR}$ : Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/día]

### **3.6.7. Diseño Sistema de Aireación**

Para determinar el sistema de aireación se lo hace en función al caudal de aire necesario y consumo de oxígeno utilizando el valor de DQO, a partir de este se obtiene la potencia requerida de compresores, número de blowers y número de aireadores.

$$Consumo = Q_{AR} * DQO$$

Donde:

Consumo: Consumo de oxígeno [kg/día]

$Q_{AR}$ : Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s]

DQO: Valor de DQO [kg/m<sup>3</sup>]

Para el consumo de aire se utiliza la densidad del aire y eficiencia de la burbuja según lo establecido en Romero Rojas, 2004

$$C_{aire} = \frac{Consumo}{d_{aire} * O_2 * \varepsilon}$$

Donde:

$C_{aire}$ : Suministro de aire requerido [ $m^3/día$ ]

Consumo: Consumo de oxígeno [ $kg/día$ ]

$d_{aire}$ : Densidad aire [ $0.1 kg/m^3$ ]

$O_2$ : Porcentaje de oxígeno en el aire [0.21]

$\varepsilon$ : Eficiencia de transferencia de oxígeno burbuja fina [1.2]

Para determinar el número de aireadores se necesita saber el caudal de aire en unidades de [ $m^3/día$ ] y se reemplaa en la fórmula detallada a continuación.

$$Número\ Aireadores = \frac{C_{aire}}{Q_{aire}}$$

Donde:

$C_{aire}$ : Suministro de aire requerido [ $m^3/día$ ]

$Q_{aire}$ : Caudal de aireador [ $m^3/h$ ]

$$W = \frac{\text{Consumo}}{O_2 * \varepsilon}$$

Donde:

W: Caudal de aire en peso

Consumo: Consumo de oxígeno [kg/día]

O<sub>2</sub>: Porcentaje de oxígeno en el aire

ε: Eficiencia de transferencia de oxígeno burbuja fina

Para determinar el número de blowers se utilizan las fórmulas detalladas a continuación.

$$P_w = \frac{w * R * T_1}{8.41 * n * \varepsilon_c} * \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

Donde:

P<sub>w</sub>: Potencia requerida para cada blower [hp]

W: Peso del flujo de aire [lb/s]

R: Constante de gas para aire [53.3 ft\*lb/lb air\*°R]

T<sub>1</sub>: Temperatura del lugar [°R]

n: 0.283 [aire]

ε<sub>c</sub>: Eficiencia del compresor [0.8]

P<sub>2</sub>: Presión absoluta en la salida [lb/in<sup>2</sup>]

P<sub>1</sub>: Presión absoluta en la entrada [lb/in<sup>2</sup>]

$$\text{Número de blowers} = \frac{P_w}{P_{Blower}}$$

Donde:

$P_w$ : Potencia del blower a utilizar [hp]

$P_{Blower}$ : Potencia requerida por los compresores [hp]

### 3.6.8. Diseño Tanque Aireador

Para determinar las medidas del diseño del tanque aireador se utilizan las fórmulas detalladas a continuación.

$$V = \frac{Y * Q_{AR} * \theta_c * (S_o - S_e)}{X(1 + K_d * \theta_c)}$$

Donde:

V: Volumen reactor [m<sup>3</sup>]

Y: Coeficiencia de producción de crecimiento o relación de masa [mg SSV/ mg DQO]

$Q_{AR}$ : Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/día]

$\theta_c$ : Tiempo de retención celular [día]

$S_o$ : Concentración del afluente [mgDQO/L]

$S_e$ : Concentración del efluente [mgDQO/L]

X: Concentración de biomasa en el reactor [mgSSV/L]

$K_d$ : Coeficiente de declinación endógena [día<sup>-1</sup>]

Para el dimensionamiento se utiliza la relación L:2a:3h la cual es despejada como se detalla en las siguientes fórmulas.

$$L = \sqrt[3]{6 * V}$$

Donde:

L: Longitud [m]

V: Volumen de reactor [m<sup>3</sup>]

$$h = \frac{L}{3}$$

Donde:

h: Altura [m]

L: Longitud [m]

$$a = \frac{L}{2}$$

Donde:

a: Ancho [m]

L: Longitud [m]

$$t_R = \frac{V}{Q_{AR}}$$

Donde:

t<sub>R</sub>: Tiempo de retención [día]

V: volumen de reactor [m<sup>3</sup>]

Q<sub>AR</sub>: Caudal de diseño [m<sup>3</sup>/día]

### 3.6.9. Tasa de Lodos Activados

El lodo activado consiste en masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos, estos adsorben material coloidal y suspendidos dando el nombre de “activados”, el resultado final del método de lodos activados es materia orgánica convertida en compuestos inorgánicos.

Para la determinación se necesita conocer el caudal, DBO, sólidos suspendidos totales y volátiles, DQO, NTK, P, pH, alcalinidad y acidez, grasas y aceites. A continuación se presenta un ejemplo para un reactor de lodos activados.

**Tabla 10**

*Datos para ejemplo*

| <b>Experiencia</b> | <b>DQO<br/>Afluente<br/>[S<sub>0</sub> mg/L]</b> | <b>DQO<br/>Efluente<br/>[S mg/L]</b> | <b>θ<br/>[d]</b> | <b>θ<sub>c</sub><br/>[d]</b> | <b>X<br/>[mg SSV/L]</b> |
|--------------------|--|--------------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1                  | 250  | 17                                   | 0,5              | 10                           | 2279                    |
| 2                  | 237  | 22                                   | 0,5              | 8                            | 1487                    |
| 3                  | 246  | 37                                   | 0,5              | 5                            | 1067                    |
| 4                  | 237  | 49                                   | 0,5              | 3                            | 846                     |
| 5                  | 250  | 77                                   | 0,5              | 2                            | 479                     |

*Nota.* Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se elabora una tabla con los siguientes datos correspondientes:

**Tabla 11**

*Calculos para ejemplo*

| $\frac{1}{\theta} [d^{-1}]$ | $\frac{S_0 - S}{X\theta} [d^{-1}]$ | $\frac{X\theta}{S_0 - S} [d]$ | $\frac{1}{S} [mg/L]^{-1}$ |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 0,100                       | 0,204                              | 4,891                         | 0,059                     |
| 0,125                       | 0,289                              | 3,460                         | 0,045                     |
| 0,200                       | 0,392                              | 2,551                         | 0,027                     |
| 0,333                       | 0,444                              | 2,252                         | 0,020                     |
| 0,500                       | 0,722                              | 1,385                         | 0,013                     |

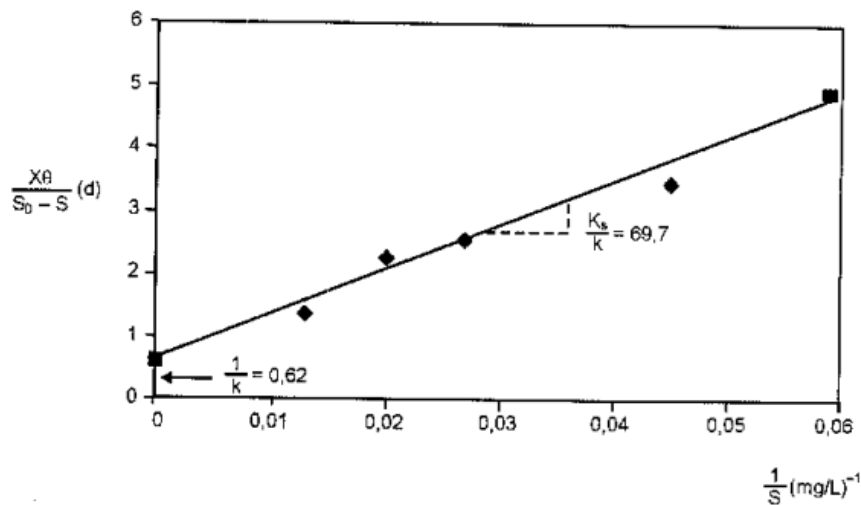
*Nota.* Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se elabora un gráfico  $\frac{X\theta}{S_0 - S}$  en la ordenada y  $\frac{1}{S}$  en la abscisa, esto corresponde a:

$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{kS} + \frac{1}{k}$$

**Figura 3**

*Gráfico para la obtención de K y Ks.*



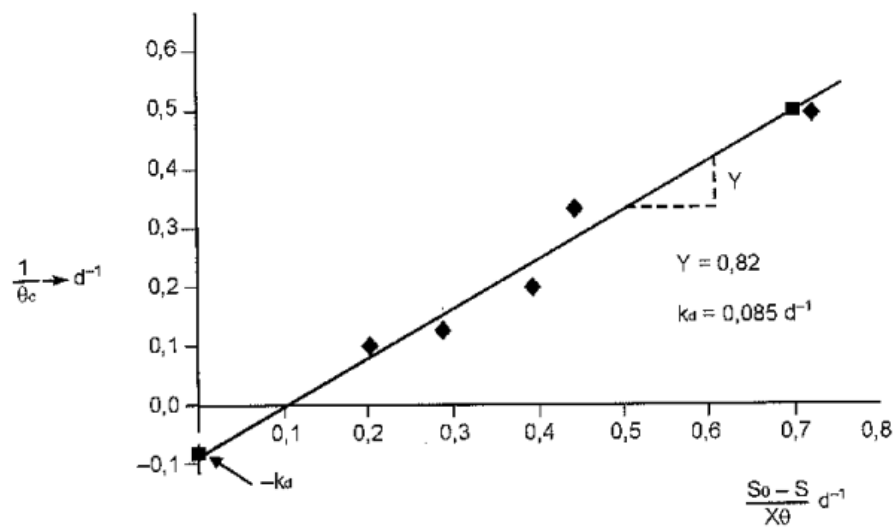
*Nota.* Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se elabora un gráfico de  $\frac{1}{\theta_c}$  contra  $\frac{S_0 - S}{X\theta}$ , se obtiene una recta cuya pendiente es igual a

Y y la ordenada en el origen es igual a  $K_d$ .

#### Figura 4

Gráfico para la obtención de  $K_d$  y Y.



Nota. Tomado del libro Romero Rojas, 2004.

Se determinó la tasa de producción de lodos activados con recirculación mediante la ecuación que se detalla a continuación.

$$P_X = \frac{Y * Q * (S_0 - S_e)}{1 + K_d * \theta_c}$$

Donde:

$P_x$ : Tasa de producción de lodos activados [g/día]

$\theta_c$ : Edad de lodos [día]

$S_0$ : Concentración del afluente [ DQO mg/L]

$S_e$ : Concentración del efluente [ DQO mg/L]



$K_d$ : Coeficiente de declinación endógena [ $\text{día}^{-1}$ ]

$Y$ : Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa [SSV mg/ mg DQO]

$Q$ : Caudal de diseño [ $\text{m}^3/\text{día}$ ]

### **3.6.10. Diseño de Lecho de Secado**

Para poder determinar el área de lecho de secado se necesitan conocer parametros como la radiación solar, temperatura del lugar y temperatura de ebullición del agua, para esto se utilizo la siguiente fórmula.

$$A_{ls} = P_x * 0.45 * (T_e - T) * R_s * 2$$

Donde:

$A_{LS}$ : Área lecho de secado [ $\text{m}^2$ ]

$P_x$ : Tasa de produccion de lodos activados [ $\text{g}/\text{día}$ ]

$T_e$ : Temperatura de ebullicion [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T$ : Temperatura de lugar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R_s$ : Radiación solar del lugar

Existen varios criterios para realizar el diseño de lecho de secado que se detalla a continuación.

**Tabla 12***Criterios Para el Diseño de Lecho de Secado*

| <b>Características</b>                        | <b>Criterio</b>                              |
|---|--|
| <b>Área requerida per cápita</b>              |  |
| Lodo primario                                 | 0.09 m <sup>2</sup> /c                       |
| Lodo primario y filtro percolador             | 0.15 m <sup>2</sup> /c                       |
| Lodo primario y lodos activados               | 0.28 m <sup>2</sup> /c                       |
| Lodo precipitado químicamente                 | 0.18 m <sup>2</sup> /c                       |
| Otros lodos                                   | 0.1 – 0.25 m <sup>2</sup> /c                 |
| <b>Carga de sólidos Secos</b>                 |  |
| Lodo primario                                 | 134 kg/m <sup>2</sup> *año                   |
| Lodo primario y filtro percolador             | 110 kg/m <sup>2</sup> *año                   |
| Lodo primario y lodos activados               | 73 kg/m <sup>2</sup> *año                    |
| Lodo precipitado químicamente                 | 110 kg/m <sup>2</sup> *año                   |
| Altura sobre la arena                         | 0.5 – 0.9 m                                  |
| Diámetro tubería de drenaje principal         | >0.10 m                                      |
| Pendiente tubería de drenaje principal        | > 1%   |
| Distancia entre drenajes principales          | 2.5 – 6 m                                    |
| Distancia entre tuberías laterales de drenaje | 2.5 – 3 m                                    |
| Espesor de grava                              | 20 – 46 cm                                   |
| Tamaño de grava                               | 3 – 25 mm                                    |
| Profundidad de arena                          | 20 – 46 cm                                   |
| Coeficiente de uniformidad de la arena        | <4   |
| Tamaño efectivo de la arena                   | 0.3 – 0.75 mm                                |
| Ancho del lecho para limpieza manual          | 7.5 m  |
| Longitud del lecho de secado                  | <60m   |
| Decantadores                                  | Se recomienda sobre el perímetro 0.9 x 0.9   |
| Placa de salpicamiento                        | x 0.1 m para control de erosión de la arena. |
| Rampas de acceso en concreto                  |  |

|                           |   |
|---------------------------|---|
|                           | A lo largo del eje central de los lechos para remoción de la pasta con volquetas.   |
| Cobertura                 | En plástico reforzado con fibra de vidrio 20 – 40 cm. Debe producir una carga óptima de 10 a 15 kg/m <sup>2</sup> .   |
| Profundidad de aplicación |   |
| Operación                 | Para remoción manual la pasta debe contener un 30 a 40% de sólidos. Se puede palear con rastrillo tipo pala con varias puntas separadas 2.5 cm entre sí.  |
| Control                   | Para control de moscas se atacan las larvas con boraz y borato de calcio, los cuales no son peligrosos para el hombre ni para animales domésticos, rociando el lodo, especialmente entre grietas. |

---

*Nota.* Tomado de Romero Rojas, 2004,p. 833.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

Los resultados obtenidos mediante los respectivos análisis realizados en el laboratorio y cálculos de dimensiones para el diseño de la PTAR van a ser presentados a continuación respectivamente con las unidades

#### 4.1.1. Resultados de Análisis de Calidad de Agua

##### 4.1.1.1. Parámetros Básicos.

**Tabla 13**

*Resultados de Análisis de Calidad de Agua*

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
|------------------|--------------|---------------|
| pH               | 7.42         | -             |
| Turbidez         | 50           | [NTU]         |
| OD               | 0.50         | [mg/L]        |
| T                | 16.8         | [°C]          |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En cuanto a los valores obtenidos se determinó que el pH y temperatura del agua residual del camal se encuentran en valores adecuados para poder desarrollar la prueba de lodos activados.

#### 4.1.1.2. Parámetros Físicos.

**Tabla 14**

*Resultados Análisis Físicos*

| <b>Parámetro</b>              | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| Sólidos sedimentables         | 98           | [mL/L]        |
| Sólidos suspendidos totales   | 692          | [mg/L]        |
| Sólidos suspendidos volátiles | 342          | [mg/L]        |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.1.3. Parámetros Químicos.

**Tabla 15**

*Resultados Análisis Químico*

| <b>Parámetro</b>                        | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
|---|--------------|---------------|
| DQO                                     | 1490         | [mg/L]        |
| DBO <sub>5</sub>                        | 1080         | [mg/L]        |
| Nitrato [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] | 121          | [mg/L]        |
| Nitrito [NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ] | 1.0          | [mg/L]        |
| Nitrógeno total [NTK]                   | 96.49        | [mg/L]        |
| Fósforo total [P]                       | 10.0         | [mg/l]        |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

Conociendo los parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> se puede determinar el índice de biodegradabilidad dando como resultado 0.72 [DBO<sub>5</sub>/ DQO].

**Tabla 16***Resultados Análisis Aceites y Grasas*

| <b>Parámetro</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
|------------------|--------------|---------------|
| Aceites y grasas | 0.1          | [mL/L]        |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**4.1.2. Resultados de Dimensionamiento**

El diseño realizado de la PTAR mediante lodos activados se realizó para una proyección para el año 2047 con un funcionamiento de 25 años.

**4.1.2.1. Dimensionamiento Canal de ingreso.****Tabla 17***Dimensionamiento del Canal de Ingreso*

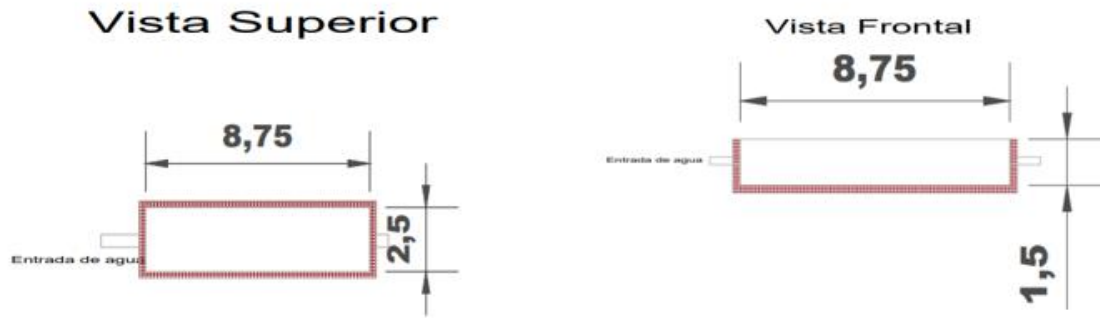
| <b>Descripción</b> | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> |
|--------------------|--------------|-----------------|
| Largo [L]          | 8.75         | [m]             |
| Ancho [b]          | 2.5          | [m]             |
| Altura [h]         | 1.5          | [m]             |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 5 se puede observar el diseño del canal de ingreso.

**Figura 5**

*Canal de Ingreso*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.2. Dimensionamiento de Criba.

**Tabla 18**

*Dimensionamiento Criba*

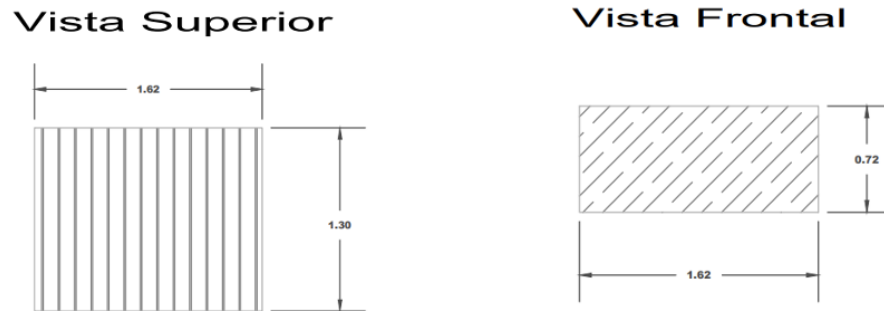
| Descripción               | Valor | Unidades  |
|---------------------------|-------|-----------|
| Largo [L]                 | 1.62  | [m]       |
| Ancho [a]                 | 1.5   | [m]       |
| Altura [h]                | 1.14  | [m]       |
| Área específica [ $A_e$ ] | 2.43  | [ $m^2$ ] |
| Número de barras [n]      | 13    | -         |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 6 se puede observar el diseño de la criba

**Figura 6**

*Criba*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.3. Dimensionamiento de trampa de grasas.

**Tabla 19**

*Dimensionamiento Trampa de Grasas*

| Descripción             | Valor | Unidades |
|-------------------------|-------|----------|
| Ancho caja grande [a]   | 0.42  | [m]      |
| Altura caja grande [h]  | 0.28  | [m]      |
| Largo caja grande [L]   | 0.83  | [m]      |
| Ancho caja pequeña [o]  | 0.42  | [m]      |
| Altura caja pequeña [m] | 0.19  | [m]      |
| Largo caja pequeña [n]  | 0.56  | [m]      |

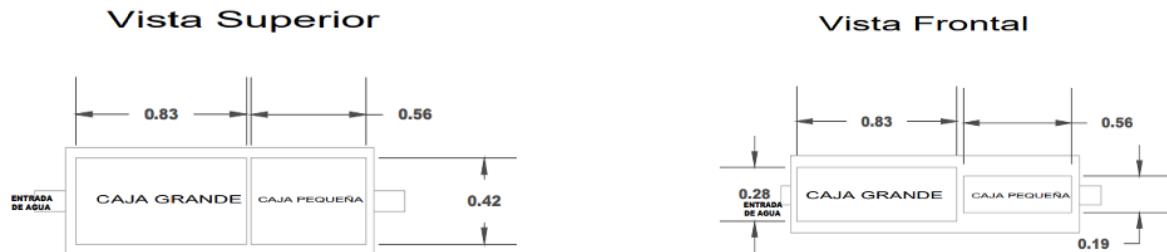
*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 7 se puede observar el diseño de la trampa de grasas y aceites.



**Figura 7**

*Trampa de Grasas y Aceites*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.4. Dimensionamiento sistema DAF

**Tabla 20**

*Dimensionamiento del Sistema DAF*

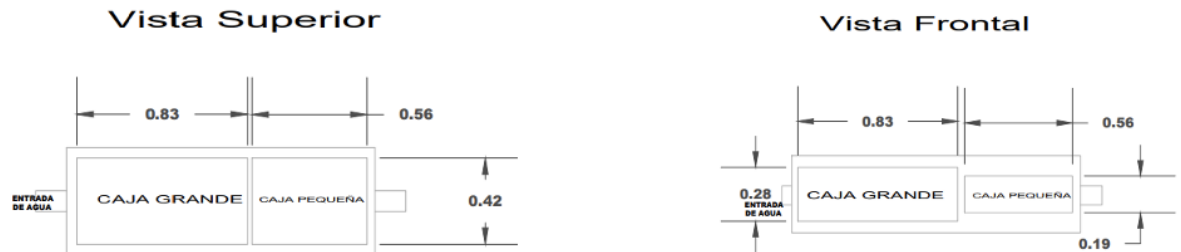
| Descripción | Valor | Unidades          |
|-------------|-------|-------------------|
| Largo [L]   | 8.12  | [m]               |
| Ancho [a]   | 2.10  | [m]               |
| Altura [h]  | 2.1   | [m <sup>2</sup> ] |
| Volumen [V] | 33.2  | [m <sup>3</sup> ] |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 8 se puede observar el diseño del sistema DAF

**Figura 8**

*Sistema DAF*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.5. Dimensionamiento de Sedimentador Primario.

**Tabla 21**

*Dimensionamiento Sedimentador Primario*

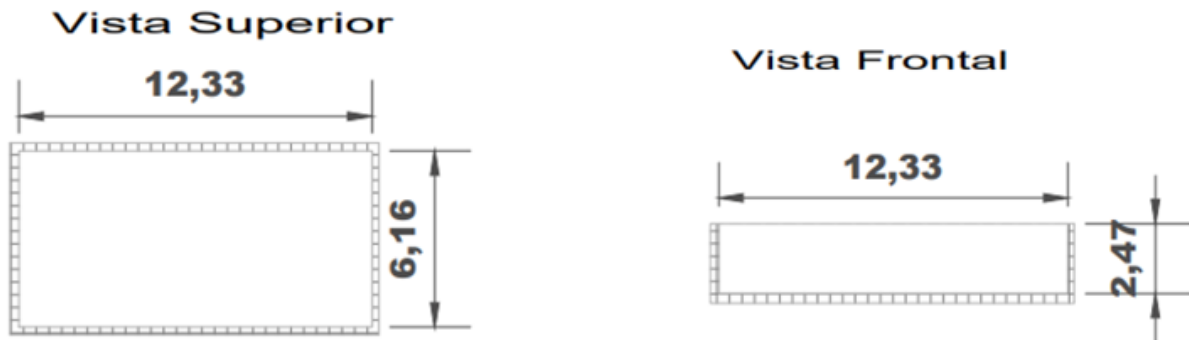
| Descripción                         | Valor  | Unidades          |
|-------------------------------------|--------|-------------------|
| Largo [L]                           | 12.33  | [m]               |
| Ancho [a]                           | 6.16   | [m]               |
| Altura [h]                          | 2.47   | [m]               |
| Volumen [V]                         | 187.38 | [m <sup>3</sup> ] |
| Lado de tolva [M]                   | 2.17   | [m]               |
| Volumen primordial [Vp]             | 55.07  | [m <sup>3</sup> ] |
| Tiempo de vaciado [t <sub>v</sub> ] | 4.64   | [Día]             |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 9 se puede observar el diseño del sedimentador primario.

**Figura 9**

*Sedimentador Primario*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.6. Dimensionamiento de Sedimentador Secundario.

**Tabla 22**

*Dimensionamiento Sedimentador Secundario*

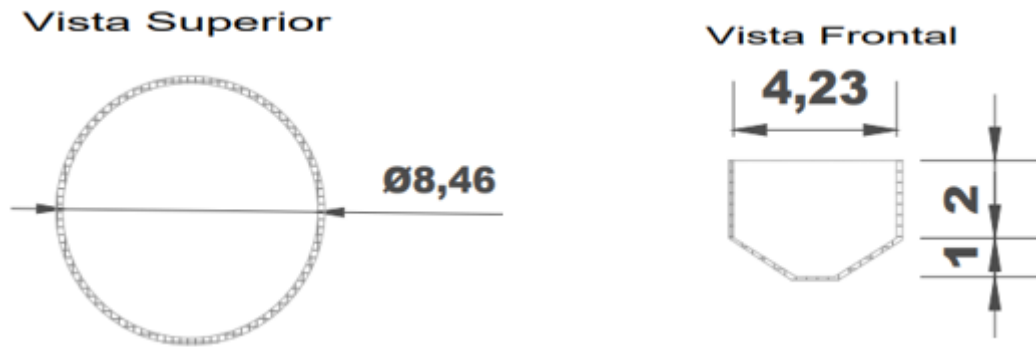
| Descripción                           | Valor  | Unidades |
|---------------------------------------|--------|----------|
| Altura [h]                            | 3      | [m]      |
| Diámetro [Ø]                          | 8.46   | [m]      |
| Volumen sedimentador [V]              | 168.75 | [m]      |
| Tiempo de retención [t <sub>r</sub> ] | 3.6    | [hora]   |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 10 se puede observar el diseño del sedimentador secundario.

**Figura 10**

*Sedimentador Secundario*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### 4.1.2.7. Dimensionamiento del Sistema de Aireación y Tanque Aireador

**Tabla 23**

*Dimensionamiento Tanque Aireador*

| Descripción              | Valor  | Unidades          |
|--------------------------|--------|-------------------|
| Altura [h]               | 5.79   | [m]               |
| Ancho [a]                | 8.68   | [m]               |
| Largo [L]                | 17.36  | [m]               |
| Volumen [V]              | 872.57 | [m <sup>3</sup> ] |
| Tiempo de retención [tr] | 0.77   | [día]             |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**Tabla 24**

*Dimensionamiento Sistema de Aireación*

| <b>Descripción</b>   | <b>Valor</b> | <b>Unidades</b> |
|----------------------|--------------|-----------------|
| Potencia de blower   | 15.94        | HP              |
| Número de blower     | 1            | -               |
| Número de aireadores | 24           | -               |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 11 se puede observar el sistema de aireación y tanque aireador.

**Figura 11**

*Sistema de Aireación*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**4.1.3. Determinación de Tasa de Lodos Activados**

Para el diseño de tratamiento del tanque de aireación y lecho de secado se determinó la tasa de lodos activados utilizan la metodología de Romero Rojas, 2004., p.490 – 499 “Diseño de un Proceso de Lodos Activados”.

Los datos obtenidos se detallan en las siguientes tablas.

**Tabla 25***Tasa de Lodos Activados*

| Experiencia | DQO<br>afluente<br>$S_0$ [mg/L] | DQO<br>efluente<br>$S$ [mg/L] | Tiempo de<br>retencion<br>$\theta$ [d] | Tiempo de<br>retencion<br>celular $\theta_c$ [d] | X<br>SSLM<br>[mg/L] |
|-------------|---------------------------------|-------------------------------|--|--|---------------------|
| 1           | 1490                            | 860                           | 1                                      | 13.1   | 4                   |
| 2           | 1490                            | 406                           | 1                                      | 7.21   | 10                  |
| 3           | 1490                            | 120                           | 1                                      | 6.58   | 38                  |
| 4           | 1490                            | 55                            | 1                                      | 6.99   | 65                  |
| 5           | 1490                            | 19                            | 1                                      | 7.24   | 98                  |

**Nota.** Elaborado por Quinatoa Nathaly, 2022**Tabla 26***Determinación de Tasa de Lodos Activados*

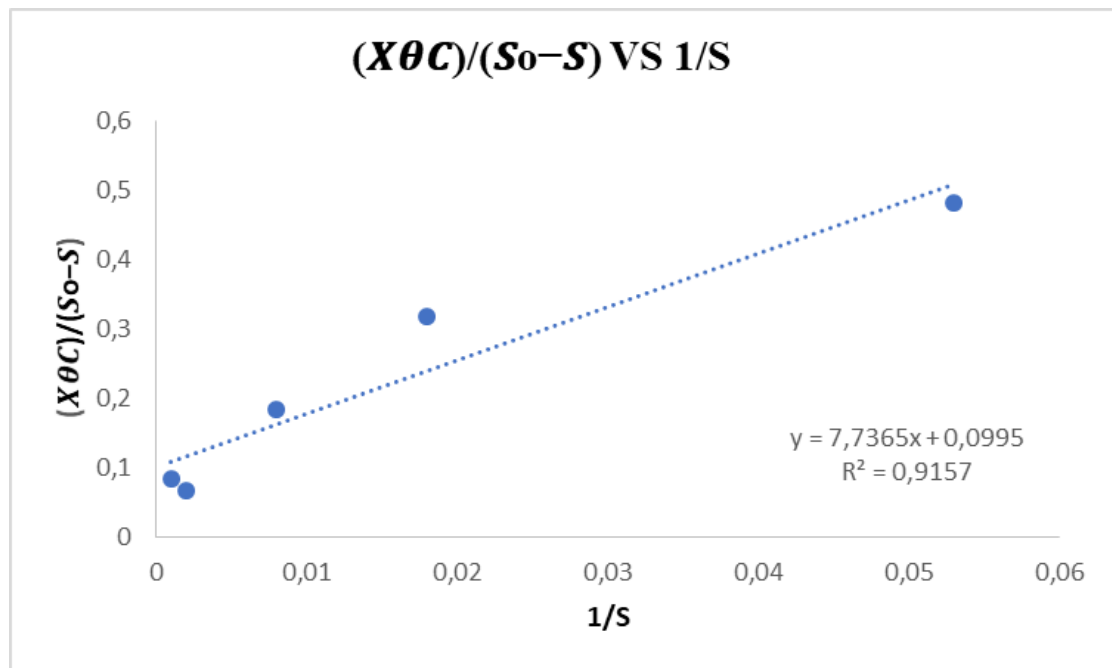
| $\frac{1}{\theta_c}$ [d <sup>-1</sup> ] | $\frac{S_0 - S}{X\theta_c}$ [d <sup>-1</sup> ] | $\frac{X\theta_c}{S_0 - S}$ [d] | $\frac{1}{S}$ [mg/L] <sup>-1</sup> |
|---|--|---------------------------------|------------------------------------|
| 0.03                                    | 2,07   | 0.083                           | 0.001                              |
| 0.05                                    | 3,158  | 0.067                           | 0.002                              |
| 0.08                                    | 5,479  | 0.183                           | 0.008                              |
| 0.15                                    | 15,035   | 0.317                           | 0.018                              |
| 0.14                                    | 12,023   | 0.482                           | 0.053                              |

**Nota.** Elaborado por Quinatoa Nathaly, 2022

Se elaboró una gráfica con los valores de  $(X\theta_c)/(S_0 - S)$  VS  $1/S$  obtenidos en la tasa de lodos activados.

**Figura 12**

Gráfica de  $(X\theta C)/(S_0-S)$  VS  $1/S$



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022).

Se realiza una regresión lineal de la Figura 12 para obtener los valores detallados en la siguiente tabla.

**Tabla 27**

*Regresión Lineal*

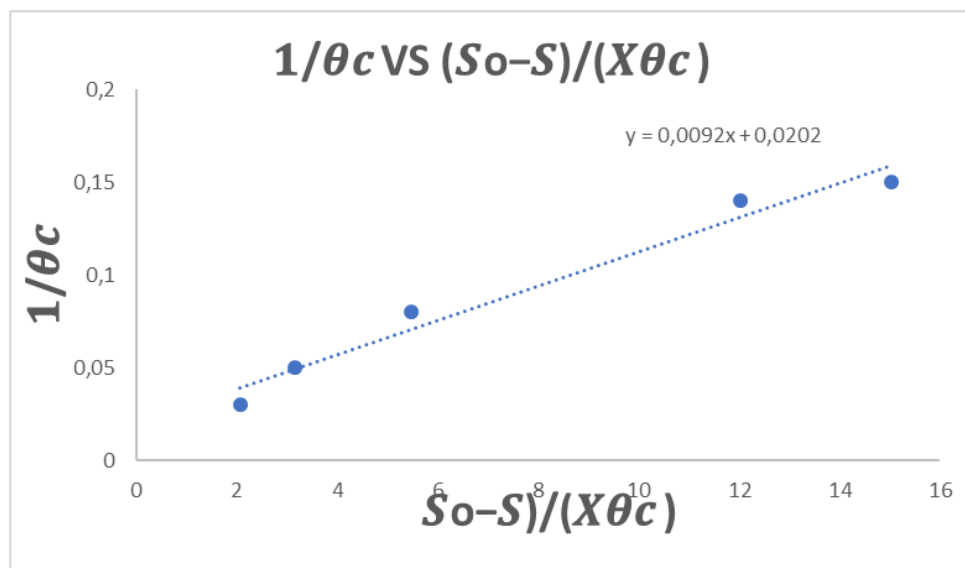
|             |         |
|-------------|---------|
| <b>1/K</b>  | 0.0995  |
| <b>Ks/K</b> | 7.7365  |
| <b>Ks</b>   | 77.7518 |
| <b>K</b>    | 10.050  |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, 2022

Después de elaborar la Tabla 27, se genera una nueva ilustración con valores de  $1/\theta_c$  VS  $(S_0-S)/(X\theta_c)$  obtenidos en la tasa de lodos activados.

**Figura 13**

*Gráfica de  $1/\theta_c$  VS  $(S_0-S)/(X\theta_c)$*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

Al obtener la Figura 13 se determinan los valores que se detallan a continuación.

**Tabla 28**

*Valores de Coeficientes*

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| <b>Kd</b> | 0.02 [d <sup>-1</sup> ]  |
| <b>Y</b>  | 0.18 [mg SSV/mg DQO]     |
| <b>μm</b> | 1.809 [d <sup>-1</sup> ] |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)



#### 4.1.3.1. Dimensionamiento de Lecho de Secado de Lodos

El sedimentador primario y secundario deriva los lodos al lecho de secado en donde estos se deshidratan.

**Tabla 29**

*Dimensionamiento Lecho de Secado*

| Descripción   | Valor | Unidades |
|---------------|-------|----------|
| Ancho [a]     | 1.62  | [m]      |
| Altura [h]    | 0.5   | [m]      |
| Largo [L]     | 3.23  | [m]      |
| Capa de Arena | 0.30  | [m]      |
| Capa de Grava | 0.45  | [m]      |

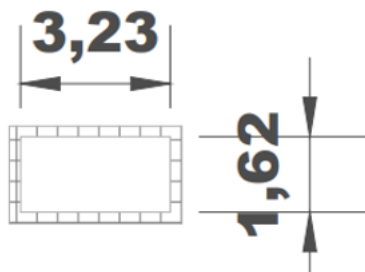
*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En la Figura 14 se puede observar el diseño de lecho de secado.

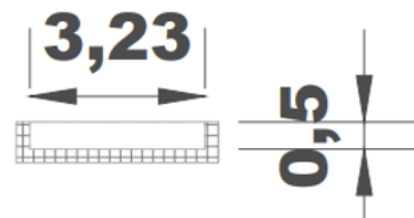
**Figura 14**

*Lecho de Secado*

**Vista Superior**



**Vista Frontal**



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### **4.1.4. Resultados de Análisis Estadístico**

Se realizó refiriéndose al análisis estadístico del método de Henry según Romero Rojas, con los datos obtenidos de DQO y Sólidos Sedimentables, aplicando el método establecido, garantiza un 90% de funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua residual.

Las gráficas elaboradas permiten determinar la probabilidad con que un valor sea excedido o no, así como el valor de un parámetro para una determinada probabilidad

**Tabla 30**

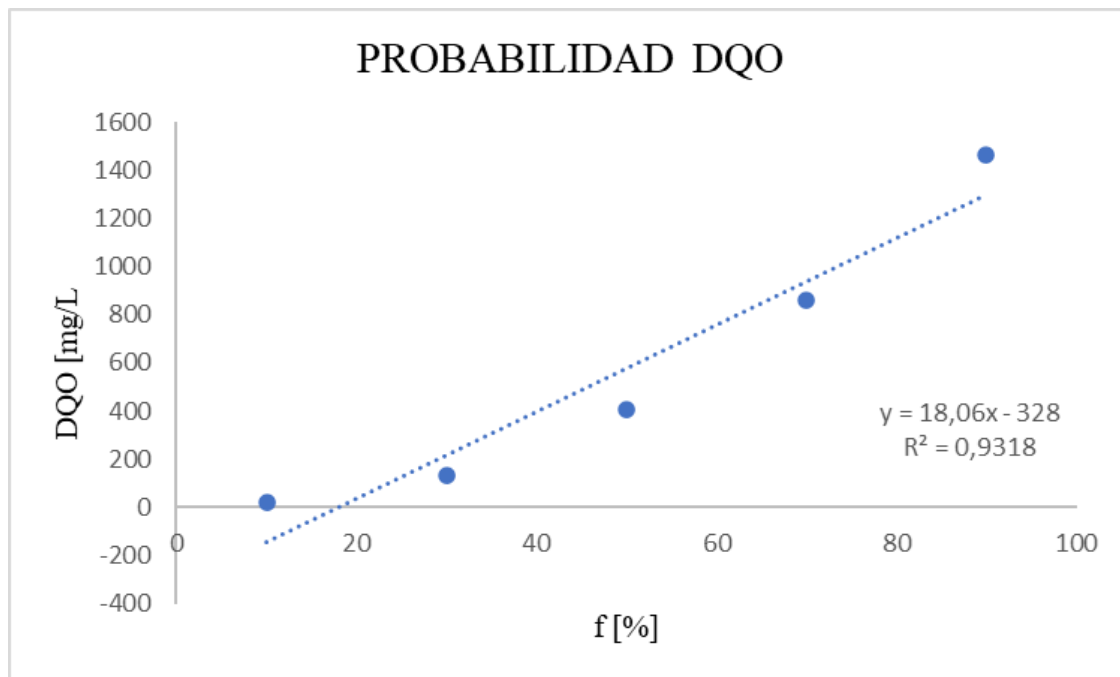
#### *Análisis Estadístico DQO*

| m        | DQO [mg/L] | Frecuencia, f(%) |
|----------|------------|------------------|
| <b>1</b> | 19         | 10               |
| <b>2</b> | 120        | 30               |
| <b>3</b> | 406        | 50               |
| <b>4</b> | 860        | 70               |
| <b>5</b> | 1490       | 90               |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**Figura 15**

*Gráfica de Probabilidad DQO*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022).

**Tabla 31**

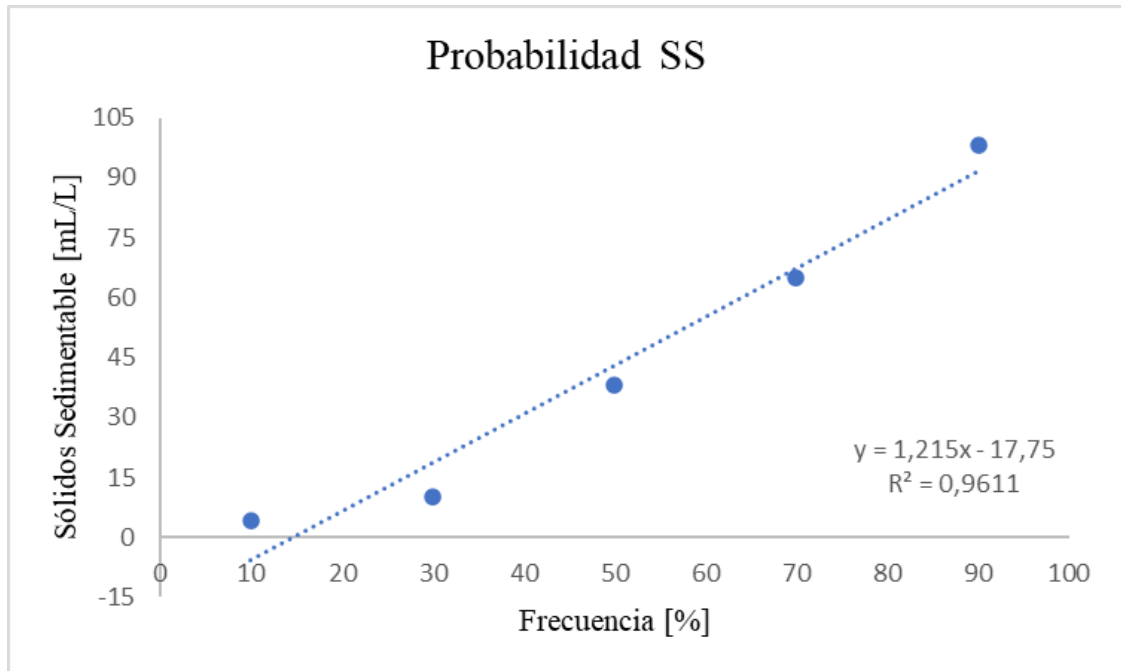
*Análisis Estadístico de Sólidos Sedimentables*

| m | SSed [mL/L] | Frecuencia , f(%) |
|---|-------------|-------------------|
| 1 | 4           | 10                |
| 2 | 10          | 30                |
| 3 | 38          | 50                |
| 4 | 65          | 70                |
| 5 | 98          | 90                |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

**Figura 16**

*Gráfica de Probabilidad de Sólidos Sedimentables*



*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### **4.1.5. Estudio Técnico y Económico**

Para implementar el diseño de la PTAR dentro del Camal Municipal del Cantón Mejía se necesita realizar un estudio económico para la construcción y operación de la planta, se debe tener el valor de las unidades del dimensionamiento realizado, costo del material, finalmente se calcula el costo estimado en unidades de [USD/m<sup>3</sup>].

##### **4.1.5.1. Costo referencial por unidad de tratamiento y equipos**

A continuación, se presenta el costo referencial de cada unidad de tratamiento, la referencia de los precios se toma de los valores dados por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable (EPMAPS, n.d.) . y del documento “Evaluación Hidráulico – Sanitario de la

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Metropolitano de Quito” (Quishpe & Eduardo, 2016). A continuación se presenta en la Tabla 32, los costos.

**Tabla 32**

*Costos referenciales de construcción*

| <b>Unidad de Tratamiento</b>           | <b>Volumen de Estructura [m<sup>3</sup>]</b> | <b>Costo de Hormigón [USD/m<sup>3</sup>]</b> | <b>Costo Referencial [USD]</b> |
|--|--|--|--------------------------------|
| Canal de Ingreso                       | 32.81  | 126,65                                       | 4155,38                        |
| Criba                                  | 2.77   | 126,65                                       | 350,82                         |
| DAF                                    | 33.2   | 126.65                                       | 139.598                        |
| Sedimentador Primario                  | 75.95  | 126,65                                       | 9619,06                        |
| Trampa de Grasas y Aceite              | 1.5  | 126,65                                       | 189,97                         |
| Sistema de Aireación y Tanque Aireador | 150.68                                       | 126,65                                       | 19083,62                       |
| Sedimentador Secundario                | 12.69  | 126,65                                       | 1607,18                        |
| Lecho de Secado                        | 2.61   | 126,65                                       | 330,55                         |
| <b>Total</b>                           |  |  | <b>174.934,58</b>              |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

En cuanto a los costos de adquisición de los equipos a utilizar se detalla en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Costos referenciales de adquisición de equipos*

| <b>Equipo</b>    | <b>Cantidad</b> | <b>Costo Unitario</b><br>[USD] | <b>Costo Total</b><br>[USD] |
|------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Aireadores       | 24              | 60                             | 1440                        |
| Blower 20 HP     | 1               | 1200                           | 1200                        |
| Bomba Sumergible | 1               | 3900                           | 3900                        |
| <b>Total</b>     |                 |                                | <b>6540</b>                 |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

#### **4.1.5.2. Costos Referenciales de Operación y Mantenimiento**

Dentro de este se establecen los costos de energía eléctrica que utiliza los equipos, la referencia que fue tomada es de 0.092 [USD/kWh] establecida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR). A continuación, en la Tabla 34, se presenta los costos referenciales del consumo energético.

**Tabla 34**

*Costo Referencial de Consumo Energético de Equipos*

| <b>Equipo</b>    | <b>Potencia [kW]</b> | <b>Tiempo [h]</b> | <b>Consumo</b><br>[kWh] | <b>Costo [USD]</b> |
|------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Blower 20 HP     | 14.91                | 24                | 357.84                  | 32.92              |
| Bomba Sumergible | 1.12                 | 0.5               | 0.62                    | 0.057              |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

Para el mantenimiento y operación de la PTAR se necesitará 3 operadores, una persona para realizar el mantenimiento de los equipos y dos personas para que realicen la limpieza, a su vez se requerirá de un técnico. A continuación, en **la Tabla 35**, se presentan los costos referenciales de operación y mantenimiento.

**Tabla 35**

*Costo Referencial de Operación y Mantenimiento*

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b> | <b>Costo Fijo</b><br>[USD/mes] | <b>Costo Total</b><br>[USD/mes] |
|-----------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>3</b>        | Operadores         | 500                            | 1500                            |
| <b>1</b>        | Técnico            | 650                            | 650                             |
| <b>Total</b>    |                    |                                | <b>2150</b>                     |

*Nota.* Elaborado por Quinatoa Nathaly, (2022)

## 4.2. Discusión

Los parámetros analizados en el laboratorio de acuerdo con Metcalf & Eddy ( 1998), Romero Rojas, (2004) y según lo requerido para el diseño de una planta de tratamiento de agua residual constan de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos, nitrógeno Kjeldahl total, fósforo total, aceites y grasas, nitritos, nitratos.

Los resultados obtenidos para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados para el Camal Municipal del Cantón Mejía, fue determinada como indica Romero Rojas, (2004). De acuerdo con Espinoza Peralta, (2017) el sistema de lodos activados es una masa activa de microorganismos que estabiliza la materia orgánica aerobicamente mediante difusores o aireadores, la materia organica se remueve del agua residual dándonos una remoción del 80% a 95%, el agua residual del camal al ser tratada con lodos activados mediante una pecera y un sistema de aireación se determinó que la DQO inicial fue de 1490 [mg/L], disminuyendo a 19 [mg/L], para la obtención de estos resultados se añadió 300 [mL] de lodos activados en 3 [L] de agua residual del Camal Municipal y sometidos a aireación, como resultado se obtuvo una remoción del 90% de materia orgánica demostrando que el sistema de lodos activados es factible para el agua residual del Camal Municipal.

Para generar un diseño mediante lodos activados se procedió a generar las tasas de lodo siendo un dato importante para el dimensionamiento del tanque aireador, en cuanto al dimensionamiento del tanque aireador concuerda con las medidas según lo indicado por, Romero Rojas, (2004)

Los cálculos para una planta de tratamiento de aguas residuales por un sistema de lodos activados consta de canal de diseño, criba, trampa de grasas, sedimentador primario,



sedimentador secundario, sistema de aireación, tanque aireador y lecho de secados, coincidiendo con Gonzales Pizarro, (2013) en los calculos de potencia de blower, retención hidráulica, volumen de reactor, que se detallan en los resultados del trabajo de investigación.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

El dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de lodos activados se realizó basándose en el caudal de 1125 [m<sup>3</sup>/día] y en los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio del agua residual del camal, el dato del caudal se obtiene del valor que se utiliza diariamente en el faenamiento de un animal bovino y del número máximo de animales faenados al día. Los resultados de los análisis del agua residual permiten conocer la calidad de esta, contiene una concentración alta de sólidos sedimentables, dentro de estos análisis de calidad se obtuvo la DQO inicial un valor de 1490 [mg/L], aplicando el sistema de lodos activados a escala de laboratorio con aireación prolongada durante los 5 días de prueba siendo un factor importante ya que promueve el mejor desarrollo de la población microbiana facilitando la remoción de materia orgánica que se encuentra en el agua, se llegó a una DQO final de 19 [mg/L], deduciendo que el tratamiento aplicado es factible ya que la DQO final se encuentra bajo el límite máximo permisible en el acuerdo ministerial 097, Libro VI, anexo 1, este establece un valor máximo de la DQO de 500 [mg/L].

El funcionamiento de la PTAR consta principalmente de criba, la cual retiene cierta cantidad de los sólidos del agua residual mediante las rejillas, sistema DAF el cual reduce la densidad de los materiales suspendidos y aceites y grasas, en cuanto al sedimentador primario genera una separación mediante gravedad lo que genera que una partícula tenga una trayectoria descendente, colocándose al final de este sedimentador, al ser un sedimentador secundario este separa partículas densas y grandes, siguiendo con la trampa de grasa y aceites, esta retarda el flujo del agua residual logrando que grasas y aceites se ubiquen en la parte superior y los sólidos más densos precipitaran al fondo logrando clarificar el agua, el sistema aireador proporciona oxígeno y lo mezcla con el agua residual, la aireación promueve la proliferación microbiana

alimentándose de materia orgánica, en el sedimentador secundario se generan movimientos ligeros los cuales hacen que el lodo decante en el fondo y el agua residual clarificado permanece en la superficie, para finalizar el lecho de secado de lodos consiste en deshidratar los lodos y facilitar su manejo

La PTAR está diseñada hasta el año 2047 y consta con diseño de entrada con largo 8.75 [m], ancho 2.5 [m] y altura 1.5 [m], criba con largo 1.62 [m], ancho 1.5 [3], alto 1.14 [m], número de barras 13, sistema DAF con largo 8.12 [m], ancho 2.10 [m] y altura 2.1 [m], trampa de grasas y aceites largo caja grande 0.83 [m], altura caja grande 0.28 [m], ancho caja grande 0.42 [m], ancho caja pequeña 0.42 [m], altura caja pequeña 0.19 [m], largo caja pequeña 0.56 [m], sedimentador primario largo 12.33 [m], ancho 6.16 [m], altura 2.47 [m], sedimentador secundario altura 3 [m], diámetro 8.46 [m], tanque aireador altura 5.79 [m], ancho 8.68 [m], largo 17.36 [m], y lecho de secado ancho 1.62 [m], altura 0.5 [m], largo 3.23 [m], con las medidas mencionadas se realizó el estudio técnico y económico, sus resultados en cuanto a la construcción de esta tendrá un valor de 174.934,58 [USD] y los equipos a utilizar con aireadores, blower 20 HP y bamba sumergible, tienen un valor de 6.540 [USD], para la operación y mantenimiento se necesitará 3 operadores y 1 técnico dando como resultado 2150 [USD/mes]

En cuanto a las tasas de lodos obtenidas para el agua residual del Camal Municipal del Cantón Mejía fueron las siguientes:  $Y = 0.41$  [mg SSV/mg DQO],  $K_d = 0.04$  [d<sup>-1</sup>],  $K = 10.050$  [día<sup>-1</sup>],  $K_s = 77.75$  [mg/L].

## **5.2. Recomendaciones**

Al ser una propuesta de implementación para el Camal Municipal del Cantón Mejía se recomienda guiarse o tomar como referencia el presente documento ya que beneficiará a que las aguas residuales sean tratadas y puedan ser vertidas al sistema de alcantarillado.

Se debe utilizar un coeficiente de seguridad para realizar el diseño de la PTAR ya que esta industria del faenamiento animal está en constante crecimiento.

Tendrá un funcionamiento de 25 años y una vez realizada la PTAR debe estar en constante mantenimiento para que los valores de eficiencia sean los indicados y cumpla el límite máximo permisible de vertido.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Nacional. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Batista, N. (2015). *PRETRATAMIENTO PLANTAS DE AGUAS RESIDUALES*.  
[https://www.academia.edu/31991740/Pre\\_Tratamiento\\_y\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.academia.edu/31991740/Pre_Tratamiento_y_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)
- Castillo Reinoso, A. M., Criollo Quizphi, E. C., & Oñate Oñate, M. P. (2020). Diseño e implementación de una PTAR por lodos activos a escala de laboratorio, Facultad de Ciencias Epoch. *Ciencia Digital*, 4(1), 385–406.  
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1119>
- César Valdez, E., y Vázquez González, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*.  
[https://www.academia.edu/31205529/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_los\\_sistemas\\_de\\_tratamiento\\_y\\_disposici%C3%B3n\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.academia.edu/31205529/Ingenier%C3%ADa_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposici%C3%B3n_de_aguas_residuales)
- Chacha Chacha, I. J. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CAMAL MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MACAS CANTON MORONA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO*.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6512/1/96T00368.PDF>
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (2008). In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). <https://www.cosede.gob.ec/wp-content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf>

EPMAPS. (n.d.). *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Sanaemiento*.

EPMRQ. (2003). *Ley de Mataderos*. <http://www.epmrq.gob.ec/images/lotaip/leyes/lm.pdf>

Fúquene, D. M., Yate-Segura, A., Alejandro, D., Carlos, P., Duque, M., Juan, C., Chiriví, S., Christian, S., Valderrama, F., Víctor, L., & Forero, F. (n.d.). *Tratamiento de aguas residuales*. Retrieved June 16, 2022, from <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/view/3123/3132>

HANNA instruments. (n.d.). *Manual de Instrucciones*. Retrieved June 16, 2022, from [https://issuu.com/hannainst/docs/serie\\_hi833xx\\_baja-3](https://issuu.com/hannainst/docs/serie_hi833xx_baja-3)

Lozano-Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. <https://www.researchgate.net/publication/298354134>

MAATE. (n.d.). *Libro-VI-Calidad-Ambiental*. Retrieved June 16, 2022, from <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI-Calidad-Ambiental.pdf>

Metcalf, y Eddy. (1998). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACIÓN*.

Quishpe, L., y Eduardo, J. (2016). *EVALUACIÓN HIDRÁULICO-SANITARIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL METROPOLITANO DE QUITO*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6934/1/T-UCE-0011-227.pdf>

Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales. III*.

Ruiz Dávila, S. D. (2011). *PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DEL CAMAL  
DEL CANTÓN ANTONIO ANTE.*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3743/1/CD-3437.pdf>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

*Toma de Muestras de Agua Residual*



### Anexo 2

*Análisis de Grasas y Aceites*





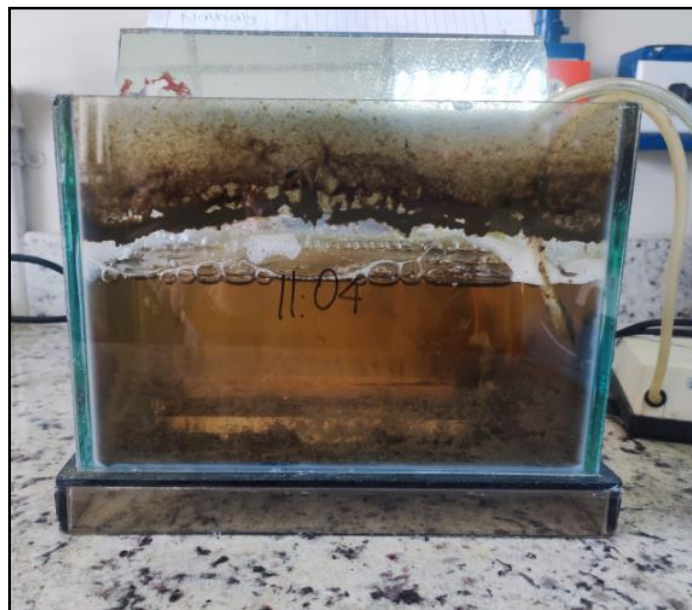
### Anexo 3

*Vial para Medir DQO*



### Anexo 4

*Prueba de Lodos Activados a Escala de Laboratorio*



## Anexo 5

### Medición de SSLM y Prueba de lodos Activados



## Anexo 6

### Medición de Nitrato

**8.45. NITRATO**

**ESPECIFICACIONES**

Rango 0,0 a 30,00 mg/l (como NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)  
 Resolución 0,1 mg/l  
 Precisión ±0,5 mg/l ±10% de lectura a 25 °C  
 Fuente de luz LED con filtro de interferencias de banda estrecha @ 525 nm  
 Método Adaptación del método de reducción por cadmio.

**REACTIVOS NECESARIOS**

| Código    | Descripción                   | Cantidad  |
|-----------|-------------------------------|-----------|
| HI93728-0 | Reactivo indicador de nitrato | 1 paquete |

**LOTES DE REACTIVOS**

HI93728-01 Reactivos para 100 tests  
 HI93728-03 Reactivos para 300 tests  
 Para otros accesorios, ver página 251.

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

- Seleccione el método Nitrato usando el procedimiento descrito en la sección Selección del método (ver página 19).
- Llene la cubeta con 10 ml de muestra (hasta la marca) y ponga la tapa.
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse la tecla **Zero**. La pantalla mostrará "-0,0-" cuando el instrumento esté a cero y listo para la medición.

• Retire la cubeta y añada el contenido de un paquete de Reactivo indicador de nitrato HI93728-0.

• Ponga la tapa y agite vigorosamente, arriba y abajo, durante exactamente 10 segundos. Continúe mezclando, invirtiendo la cubeta suavemente durante 50 segundos, teniendo cuidado de no provocar burbujas de aire. El polvo no se disolverá completamente. El tiempo y la forma de agitación podrían afectar sensiblemente a la medición.

*Nota: El método es sensible a la técnica. Ver procedimiento en la página 21 Preparación de la cubeta para una técnica correcta de mezcla.*

• Vuelva a colocar la cubeta en el medidor y cierre la tapa.

• Pulse **Timer** (Temporizador) y se mostrará en pantalla la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 4 minutos y 30 segundos y pulse **Read** (Leer). Cuando la cuenta atrás finalice, el instrumento realizará la lectura. El instrumento muestra los resultados en mg/l de nitrógeno nitrato (NO<sub>3</sub>-N).

• Pulse ▲ o ▼ para acceder al segundo nivel de funciones.

## Anexo 7

### Medición de Nitrito HR (R.Alto)

#### 8.49. NITRITO HR (R. ALTO)

**ESPECIFICACIONES**

Rango 0 a 150 mg/l (como NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)  
 Resolución 1 mg/l  
 Precisión ± 4 g/l ± 4% de lectura a 25 °C  
 Fuente de luz LED con filtro de interferencias de banda estrecha @ 575 nm  
 Método Adaptación del método del sulfato ferroso.

**REACTIVOS NECESARIOS**


| Código    | Descripción                                 | Cantidad  |
|-----------|---|-----------|
| HI93708-0 | Reactivo indicador de nitrito en rango alto | 1 paquete |

**LOTES DE REACTIVOS**

HI93708-01 Reactivos para 100 tests  
 HI93708-03 Reactivos para 300 tests  
 Para otros accesorios, ver página 251.

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

- Seleccione el método Nitrito HR (R. alto) usando el procedimiento descrito en la sección Selección del método (ver página 19).
- Llene la cubeta con 10 ml de muestra sin tratar (hasta la marca) y ponga la tapa.
- Introduzca la cubeta en la célula de medición y cierre la tapa.
- Pulse la tecla **Zero**. La pantalla mostrará "-0,0-" cuando el instrumento esté a cero y listo para la medición.
- Retire la cubeta.



- Añada el contenido de un paquete de Reactivo indicador de nitrito (R. alto) HI93708-0. Ponga la tapa y agite vigorosamente hasta su completa disolución.
- Vuelva a colocar la cubeta en el medidor y cierre la tapa.
- Pulse **Timer** (Temporizador) y se mostrará en pantalla la cuenta atrás previa a la medición o, como alternativa, espere 10 minutos y pulse **Read** (Leer). Cuando la cuenta atrás finalice, el instrumento realizará la lectura. El instrumento muestra la concentración en **mg/l de nitrógeno nítrico (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**.
- Pulse **▲** o **▼** para acceder al segundo nivel de funciones.
- Pulse la tecla **Chem Frm** para convertir el resultado a **mg/l de - nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)** y **nitrito sódico (NaNO<sub>2</sub>)**.
- Pulse **▲** o **▼** para volver a la pantalla de medición.

07:52:48 RH1

-0,0- mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Zero Timer Read

07:52:41 RH1

ZERO

- - - mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

07:52:48 RH1

-0,0- mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Zero Timer Read

07:52:48 RH1

-0,0- mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Zero Timer Read

Reaction time

10min

09:59

Stop

07:53:59 RH1

READ

- - - mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

07:54:54 RH1

106 mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Zero Timer Read

07:55:44 RH1

32 mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Chem Frm

07:56:25 RH1

106 mg/L

Nitrite HR (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Chem Frm

07:56:03 RH1

159 mg/L

Nitrite HR (NaNO<sub>2</sub>)

Chem Frm

# Anexo 8

## Medición de Fósforo Total (R.Alto)

**8.66. FÓSFORO TOTAL LR (R. ALTO) (VIAL DE 16MM)**

**ESPECIFICACIONES**  
 Rango 0,0 a 32,6 mg/l (como P)  
 Resolución 0,1 mg/l  
 Precisión  $\pm 0,5$  mg/l o  $\pm 5\%$  de lectura a 25 °C, lo que represente el mayor valor  
 Fuente de luz LED con filtro de interferencias de banda estrecha @ 420 nm  
 Método Adaptación del método del ácido vanadomolibdofosfórico 4500-P C del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20ª edición.

**REACTIVOS NECESARIOS**

| Código       | Descripción                                     | Cantidad   |
|--------------|---|------------|
| HY9750V-OHR* | Vial de Reactivo indicador de fósforo           | 2 vial     |
| HY9750C-0    | Solución de NaOH 1,54N                          | 4 ml       |
| HY9763B-0    | Reactivo indicador de fósforo total (R. alto) B | 1 ml       |
| DEIONIZED120 | Agua desionizada                                | 5 ml       |
| PERSULFATE/P | Persulfato potásico                             | 2 paquetes |


\* Identificación del vial de reactivo P HR, según este

*Nota: Guardar los viales no utilizados en su empaque en un lugar fresco y seco.*


**LOTES DE REACTIVOS**  
 HY9763B-50 Reactivos para 49 tests  
 Para otros accesorios, ver página 251.

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**


Antes de usar el kit de reactivos, lee cuidadosamente todas las instrucciones y las fichas de seguridad. Preste especial atención a todos los advertencias, avisos y notas. De lo contrario, pueden provocarse graves lesiones al operario.

 Corrección del blanco del reactivo: Este método precisa de corrección del blanco del reactivo. Puede utilizarse un único vial de blanco más de una vez. El vial de blanco permanece estable durante un día a temperatura ambiente.


- Precaliente el reactor HANNA® HI839300 a 150 °C. Se recomienda encarecidamente usar la pantalla de seguridad opcional HI740217.
- NO USE UN HORNO TRADICIONAL O MICROONDAS.** las muestras pueden detonar y generar una atmósfera corrosiva y potencialmente explosiva.
- Seleccione el método Fósforo total HR (R. alto) (14) usando el procedimiento descrito en la sección Selección del método (ver página 19).
- Inserte el adaptador de vial de 14 mm usando el procedimiento descrito en la sección Uso del adaptador de vial de 16 mm (ver página 22).
- Retire la tapa del vial y añada 2,0 ml de la solución de NaOH 1,54N HY9750C-0 a cada vial mientras los mantiene en un ángulo de 45 grados. Tape bien los viales e invuélvalos varias veces para mezclar.



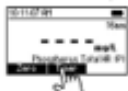
- Retire la tapa de los viales y añada 0,5 ml del Reactivo indicador de fósforo total en rango alto B HY9763B-0 a cada vial mientras los mantiene en un ángulo de 45 grados. Vuelva a poner la tapa e insértelos varias veces para mezclar.





- Introduzca el vial del blanco (#1) en la celda de medición.




- Pulse **Timer** (Temporizador) y se mostrará en pantalla la cuenta atrás: pruebe a la medición o, como alternativa, espere 7 minutos y pulse **Read** (Leer). La pantalla mostrará "0,0-" cuando el instrumento esté a cero y listo para la medición.



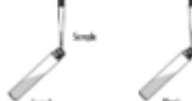





- Retire la tapa de los viales de Reactivo indicador de fósforo HY9750V-OHR.



- Añada 5 ml de agua desionizada al primer vial (#1) y 5 ml de muestra al segundo vial (#2), mientras mantiene los viales en un ángulo de 45 grados.





- Añada el contenido de un paquete de Persulfato potásico PERSULFATE/P a cada vial. Vuelva a poner la tapa y agite suavemente hasta su completa disolución.




- Inserte los viales en el reactor y colómbelos durante 30 minutos a 150°C.
- Al final del periodo de digestión, coloque los viales en el gradillo con cuidado y déjelos enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente.


**ADVERTENCIA:** Los viales están todavía calientes, tenga cuidado al manipularlos.






- Retire el vial del blanco.
- Introduzca el vial de la muestra (#2) en la celda de medición.
- Pulse la tecla **Zero**. El instrumento muestra los resultados en **mg/l de fósforo (P)**.










*Nota: El método detecta formas inorgánicas libres (ortofosfato) y condensadas (meta, piro y otros polifosfatos) y formas orgánicas de fosfatos presentes en la muestra.*

- Pulse  $\blacktriangle$  o  $\blacktriangledown$  para acceder al segundo nivel de funciones y luego pulse la tecla **Chem Fm** para convertir el resultado a **mg/l de fosfato (PO<sub>4</sub>)** y **pentóxido de dióxido de (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**.





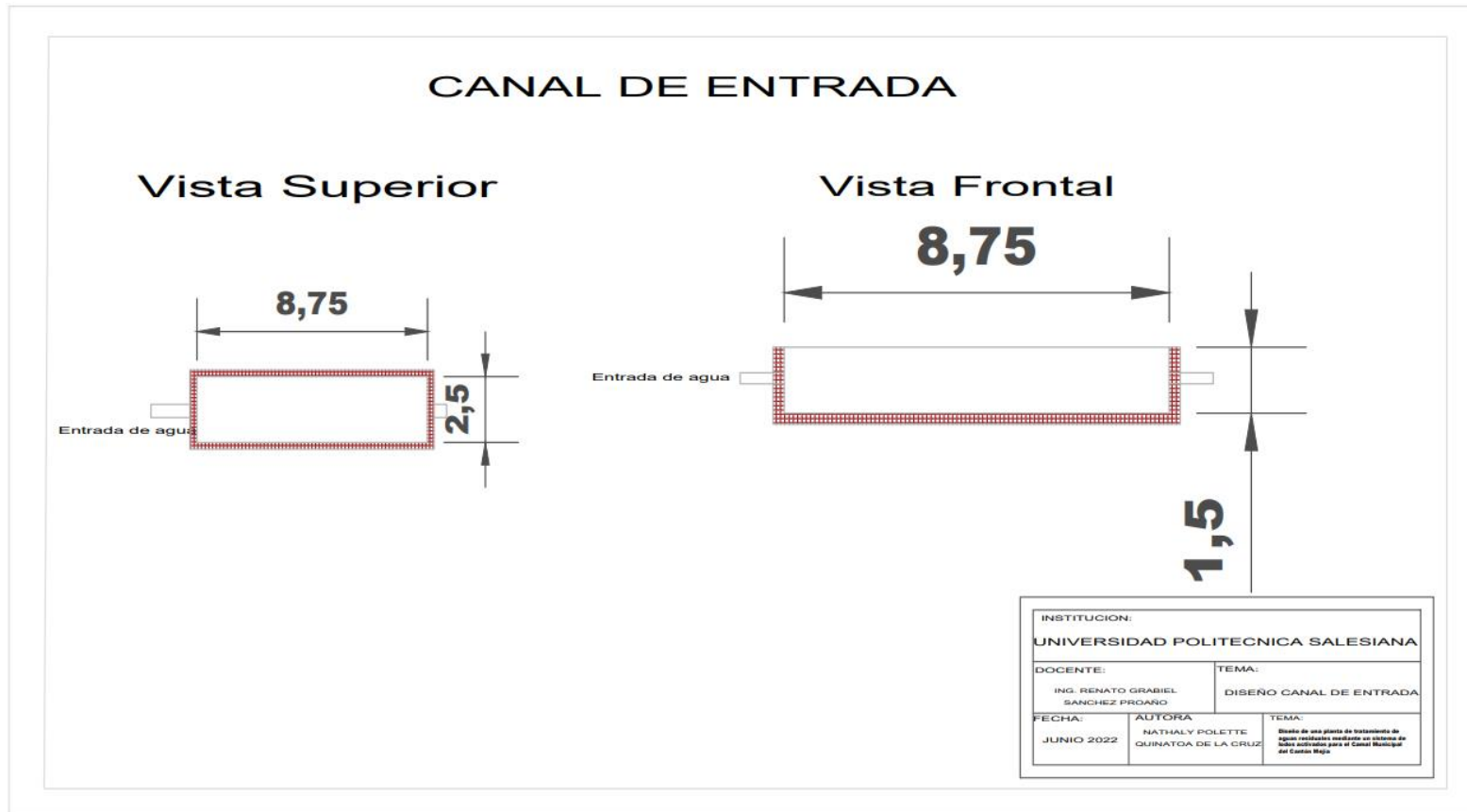


- Pulse  $\blacktriangle$  o  $\blacktriangledown$  para volver a la pantalla de medición.

**INTERFERENCIAS**  
 Aniónico  
 pH: la muestra debería tener un pH neutro  
 Temperatura: el método es sensible a la temperatura.  
 Se recomienda añadir el Reactivo de melibionato y realizar las mediciones a T = 20 ± 25 °C  
 T < 20 °C provoca un error negativo  
 T > 25 °C provoca un error positivo  
 La turbidez y la materia en suspensión en gran cantidad pueden provocar interferencia porque las condiciones fuertemente ácidas de la reacción pueden disolver la materia en suspensión o provocar la desorción de los fosfatos en las partículas. Previamente a la medición, debería eliminarse la turbidez o la materia en suspensión mediante el tratamiento con carbón activo y filtración previa.

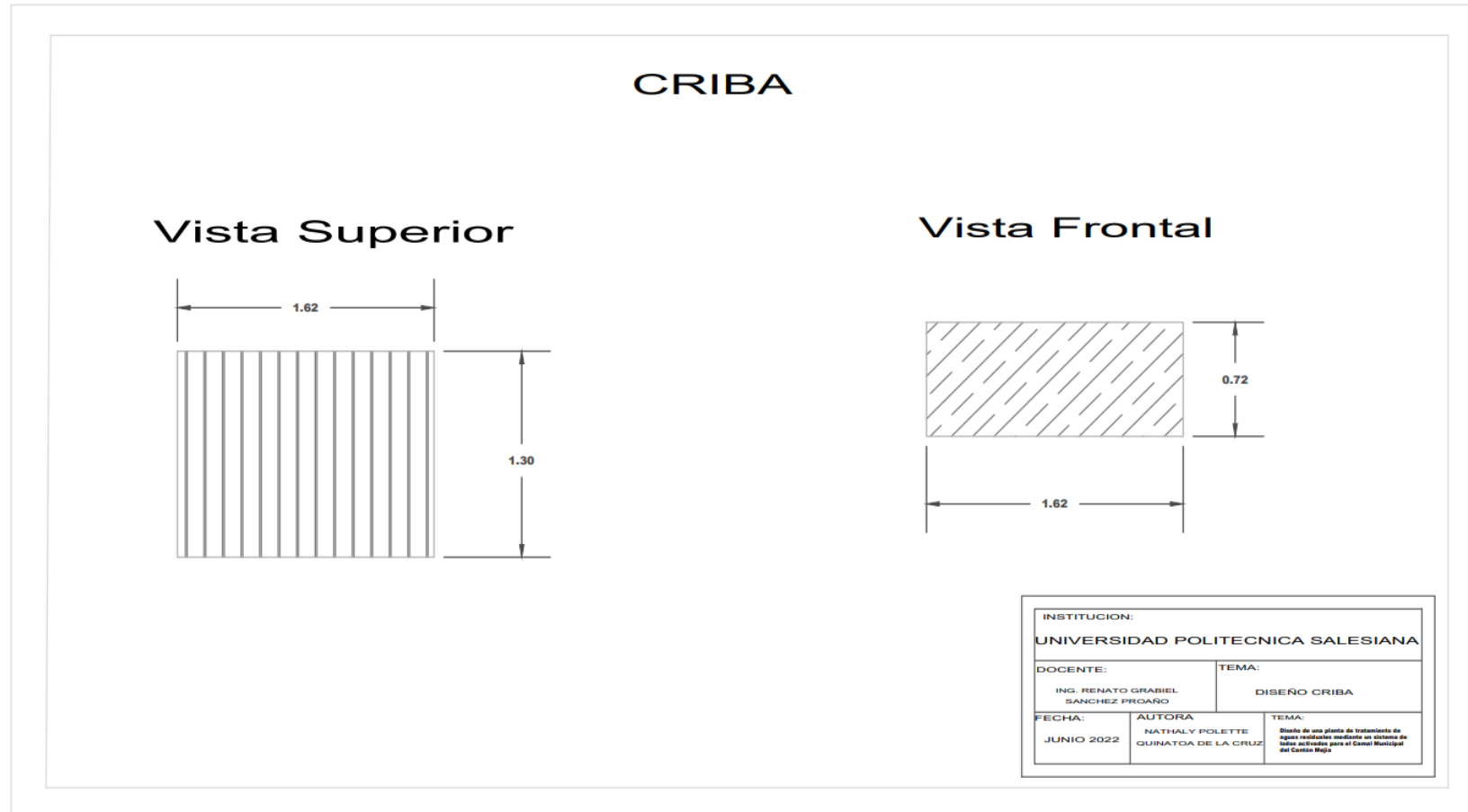
## Anexo 9

### Diseño de Canal de Ingreso



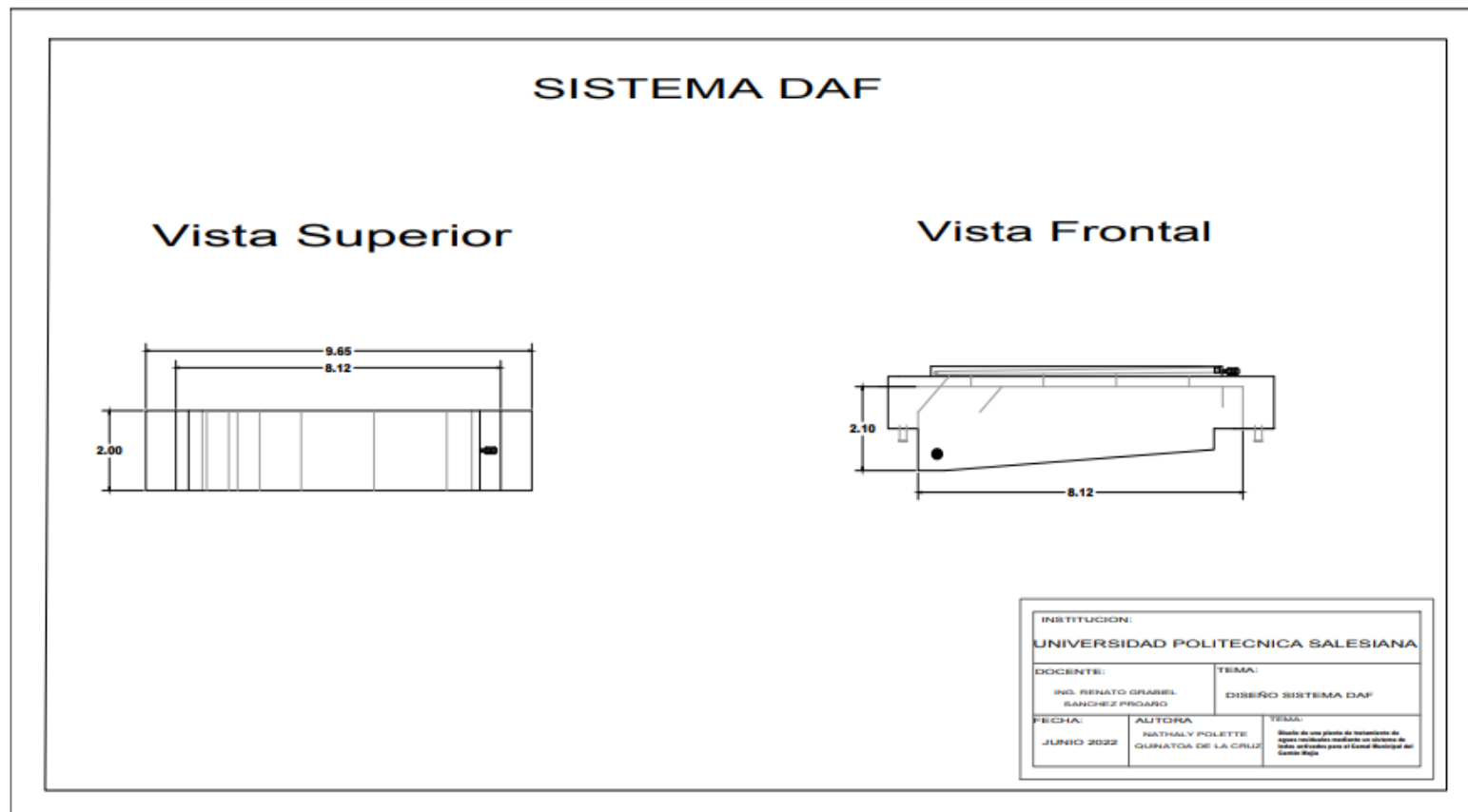
# Anexo 10

## Diseño de Criba



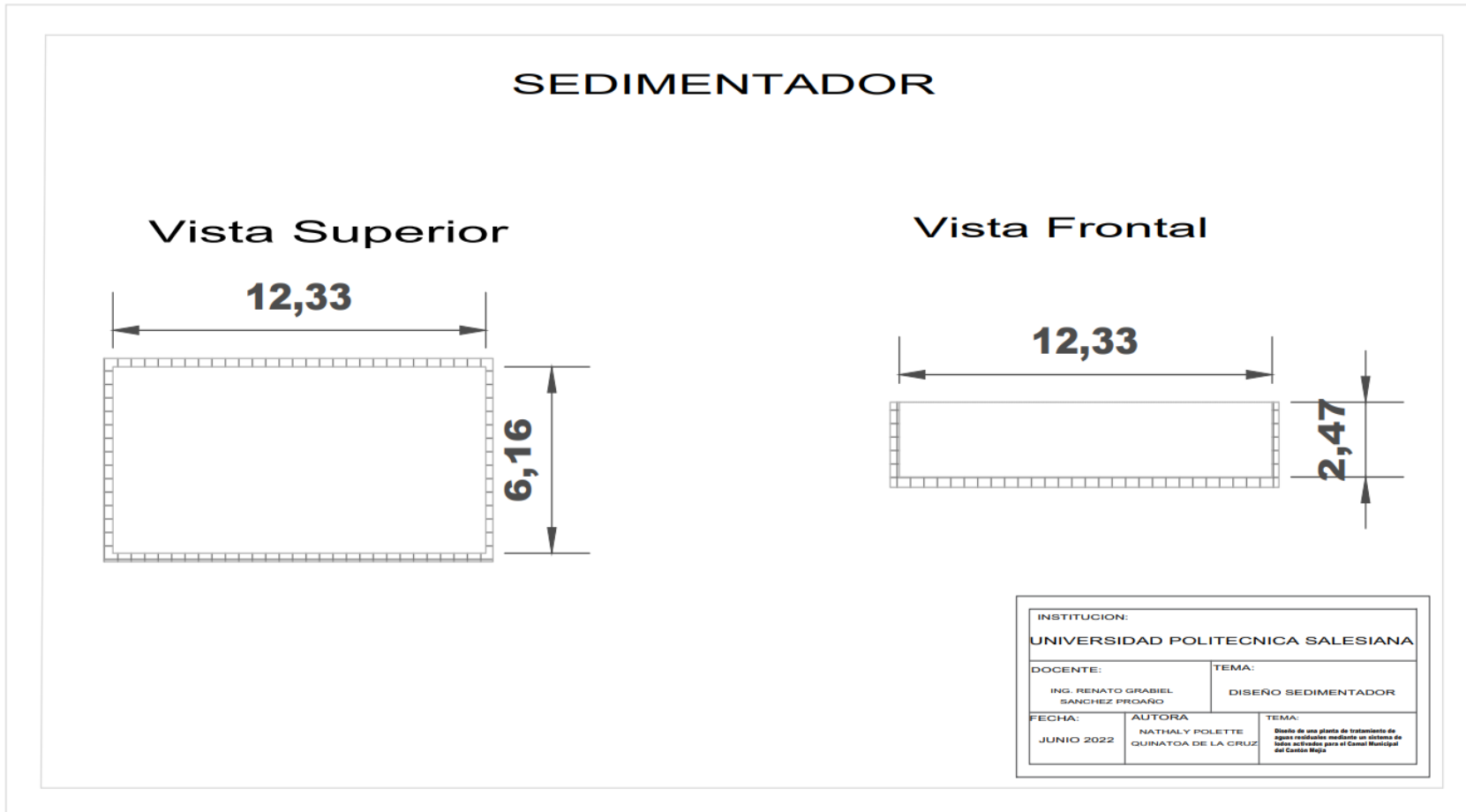
## Anexo 11

### Diseño del sistema DAF



## Anexo 12

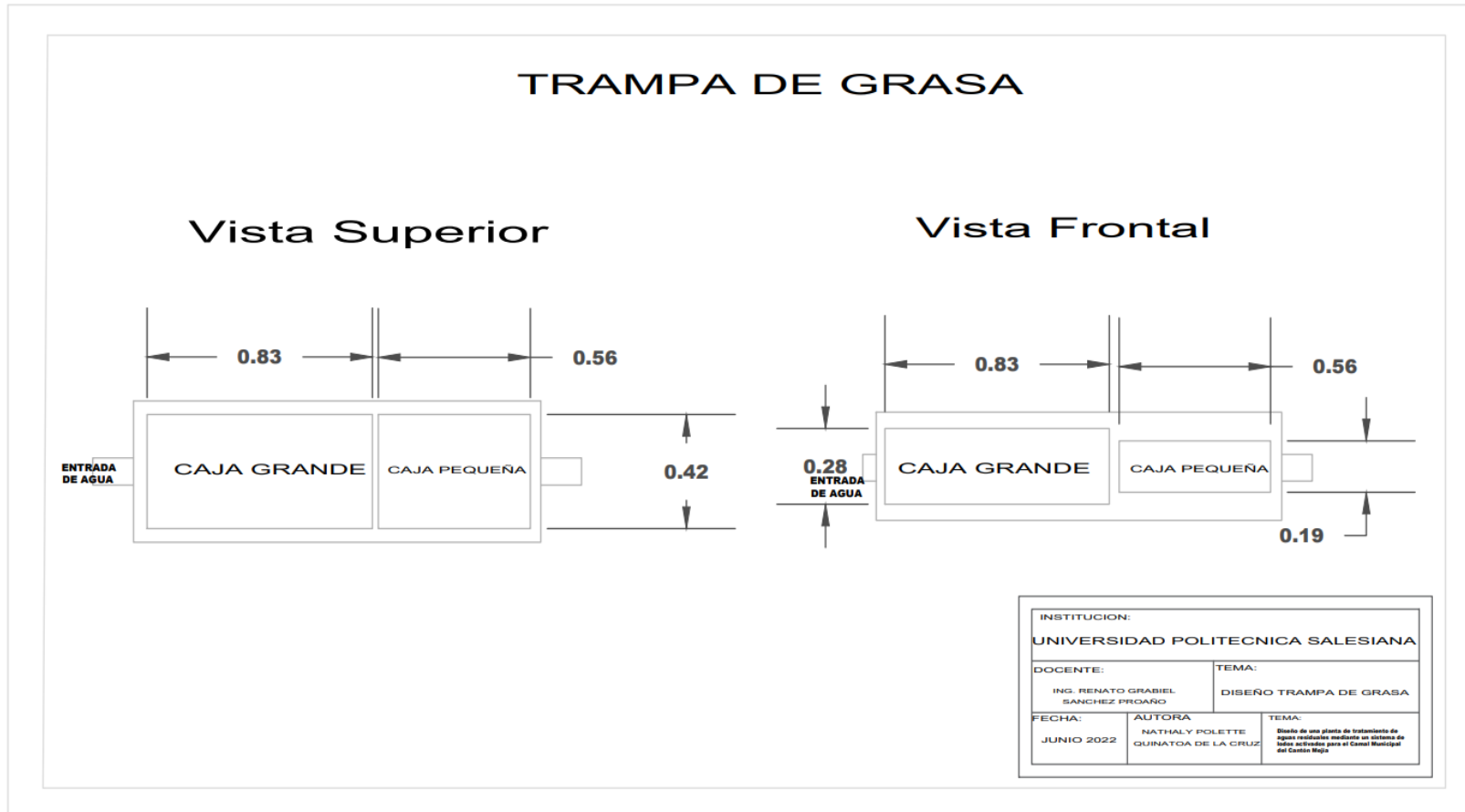
### Diseño de Sedimentador Primario





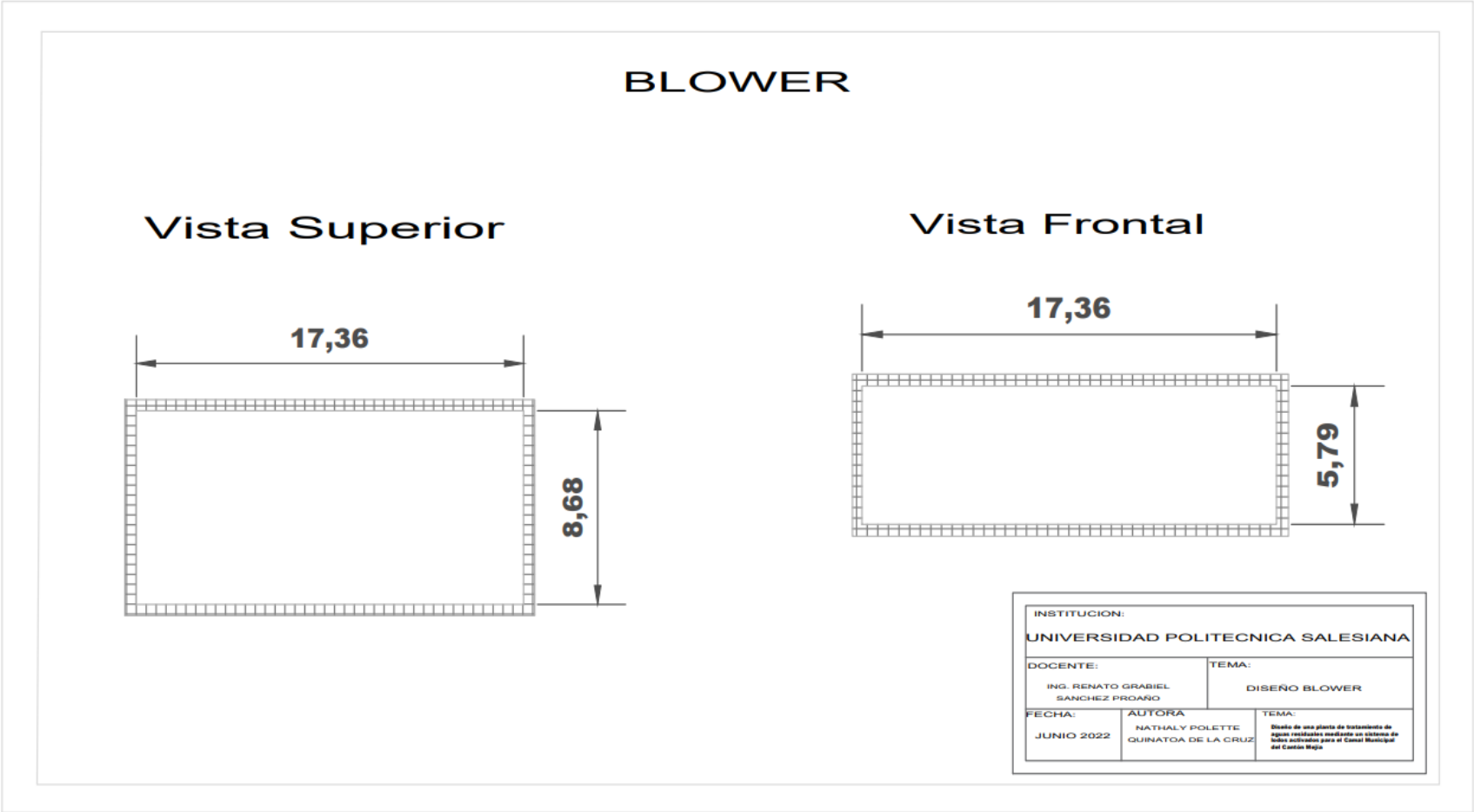
# Anexo 13

## Diseño de Trampa de Grasa



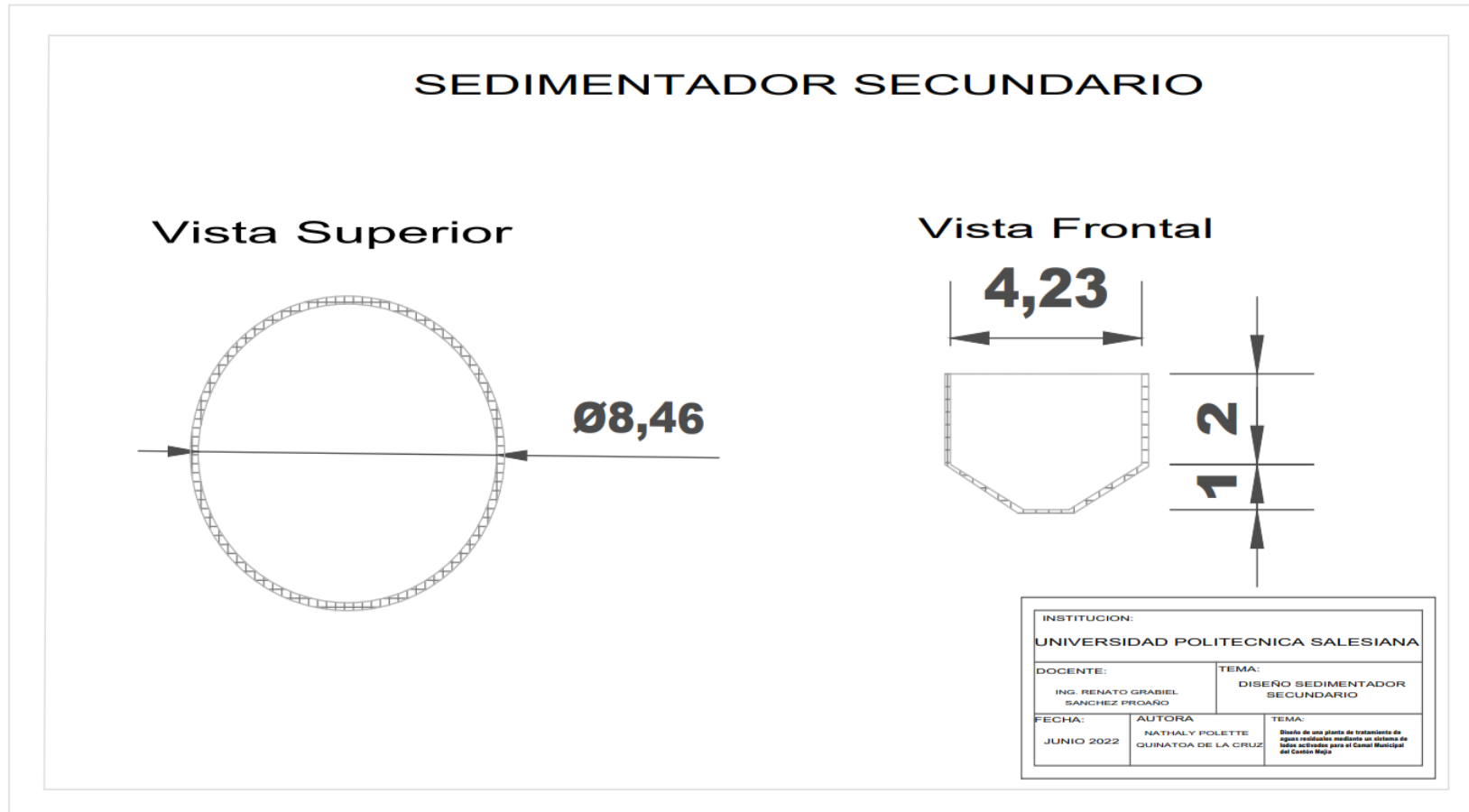
**Anexo 14**

*Diseño de Sistema de Aireación*



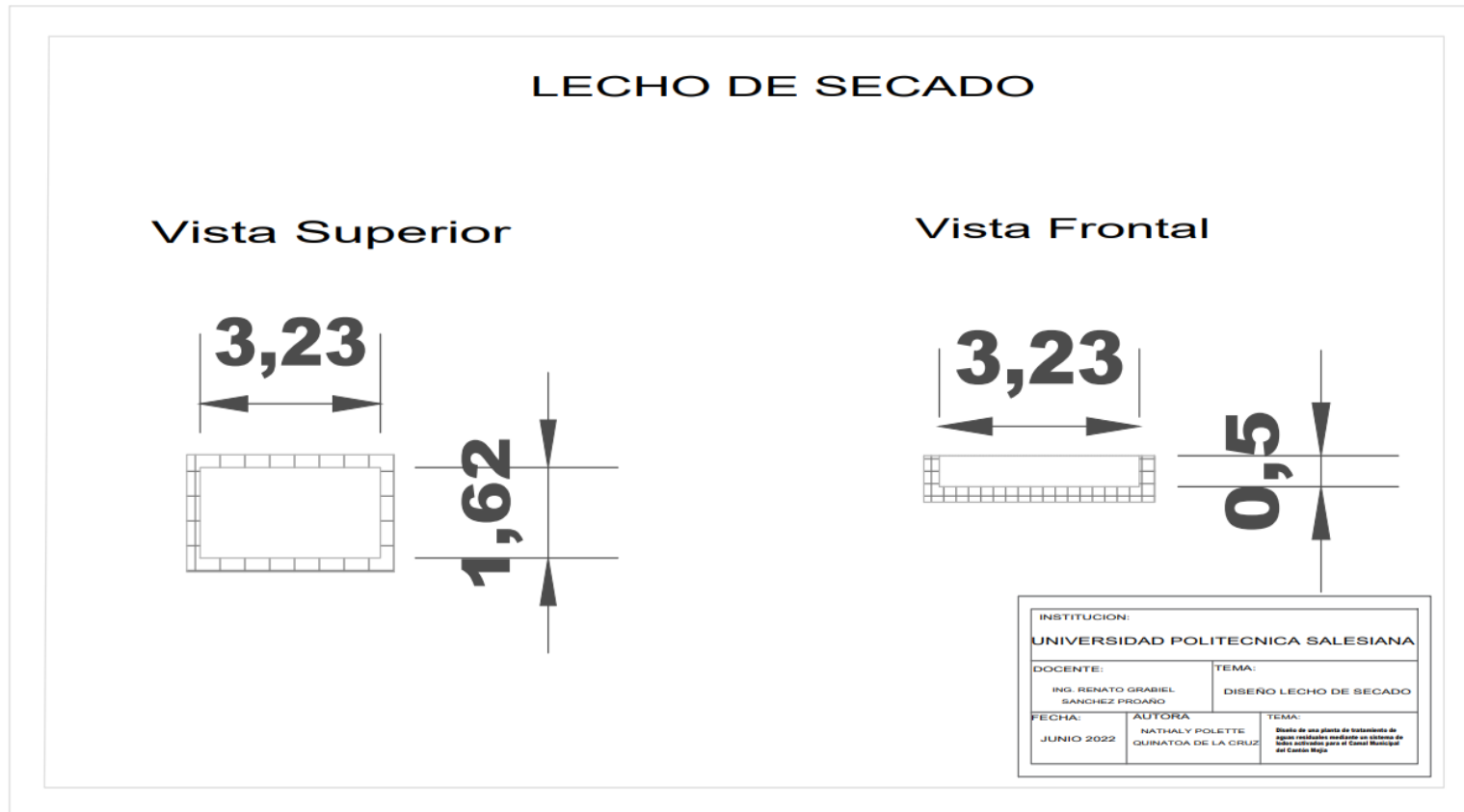
## Anexo 15

### Dieño de Sedimentador Secundario



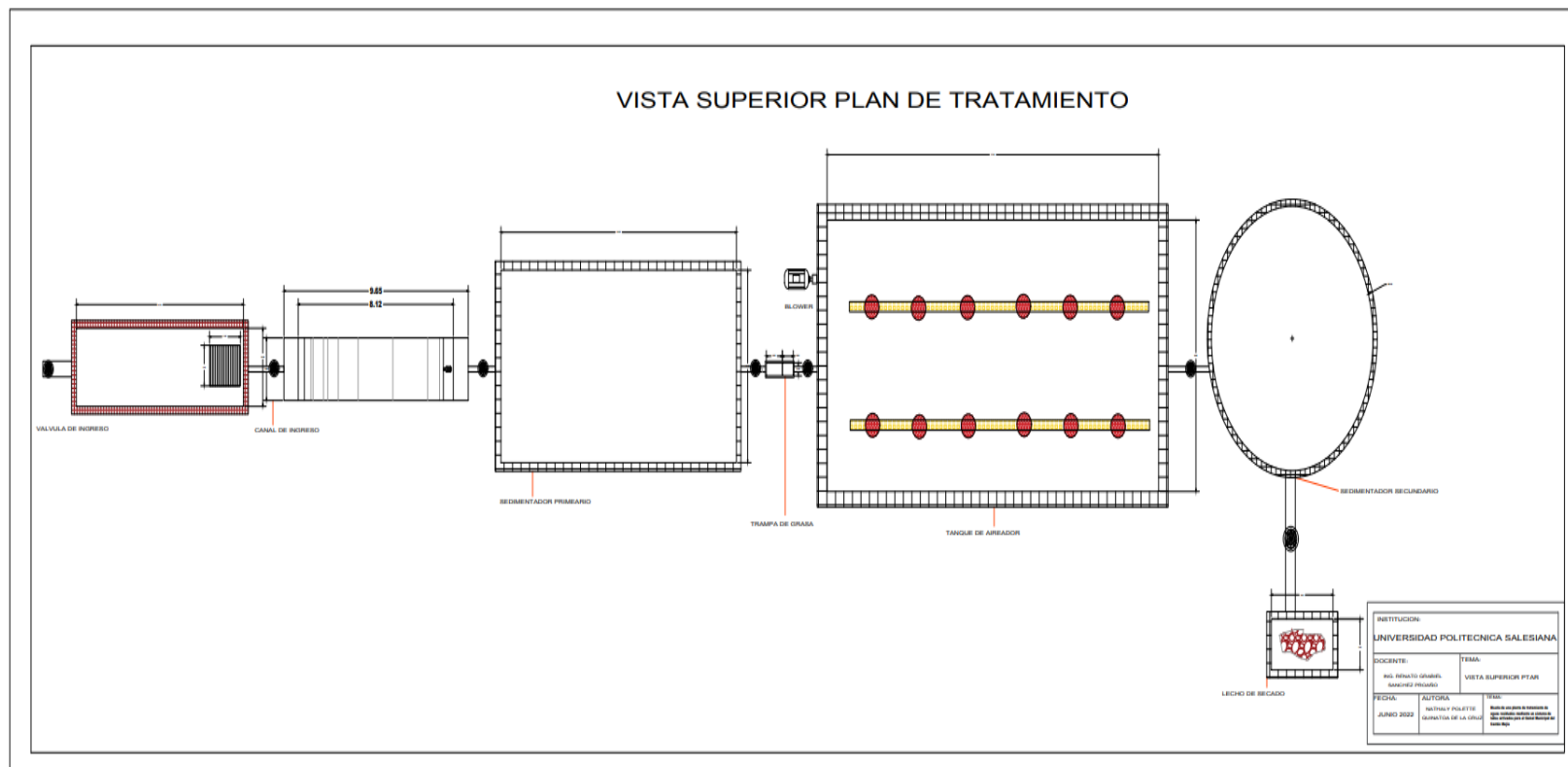
# Anexo 16

## Diseño de Lecho de Secado



# Anexo 17

## Diseño de PTAR Vista Superior



# Anexo 18

## Diseño de PTAR Vista Lateral

