

DISEÑO Y ESTANDARIZACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE  
AGUA TIPO COMPACTA, EN LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

NATALIA ISABEL CASTRO OROZCO

PAULA ALEJANDRA GUTIÉRREZ MORA

Proyecto integral de grado para optar el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Director

LUIS ALBERTO FIGUEROA CASALLAS

INGENIERO QUÍMICO

Codirector

JUAN CAMILO CELY GARZÓN

INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FALCULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C.

2022

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Docente Jurado 1

---

Firma Docente Jurado 2

Bogotá, D.C., Agosto 2022.

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUÍS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

Vicerector Administrativo y Financiero

**DR. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**DR. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

Decana de la Facultad de Ingenierías

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

Director del programa de Ingeniería Química

**Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA**

## DEDICATORIA

Beni: Nunca he sido buena escribiéndote, eso siempre se te dio mejor a ti. Por aquí todo anda igual, nada que no te haya contado antes. Estoy aprendiendo a vivir sin ti, pero me he olvidado de mí, porque eras tú el que me recordaba quien era.

Siempre me dijiste que nunca me humillara ante nadie, que a mis alas no les bastaba este mundo, que soy inmenso aliento de mil generaciones, suficiente razón de cualquier barco para llegar a puerto. Dijiste que, al compás de Homero, son los sueños en los que tu estarás y me esperarás. Dijiste que ibas a buscar a los que nos dieron la gloria; Edison, Dante y Cervantes y que les hablarías de mí, de lo valiente y atrevida. Dijiste que me empeñara en tener un futuro ardiente, puro y libre. Que soy sabia, de noble corazón, que tengo la grandeza de un volcán, ser poderoso. Que estabas orgulloso de mí y que “imposible” solo era un absurdo antónimo de mi nombre.

Todo eso se me olvidó, pero no te podía fallar, prefiero fallarme a mi misma antes que a ti, así que aquí estoy, terminando algo que por un momento pensé que no lograría, todo esto es tuyo porque todo lo que hago y haré, será por ti.

Te prometo que volveré a ser tan feliz como lo era contigo, cuando cantábamos las isabeles mientras íbamos a comprar tu vino... solo dame tiempo.

Te extraña, tu lázaro.

*Natalia.*



En este momento el paisaje con las líneas desdibujadas y falta de colores, finalmente comienza a pintarse con los vívidos colores que me brindaron cada una de las personas quienes quiero dedicar este arduo trabajo. Cada que el panorama se pintaba de los fríos tonos azules y se me nublaba la vista, siempre estaban allí para envolverme con sus cálidos tonos rojizos, enseñándome una completa paleta de colores, que los tristes tonos fríos se complementan con los alegres tonos cálidos para crear una armonía, y que esa es la esencia de la vida.

A mis padres y familia quienes me dan su incondicional apoyo y paciencia.

A mi hermana quién siempre está a mi lado dándome fortaleza para no desfallecer.

A mis compañeros, por extender su mano en los momentos difíciles y su valiosa amistad que me brindan cada día.

*Paula Alejandra Gutiérrez Mora.*

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a Dios, porque su promesa en mi vida se está cumpliendo.

Quiero agradecer de manera muy especial a Luis y Harvey, por su paciencia, por su tiempo, por su entrega y por su compromiso; gracias a ellos esto es posible.

Quiero agradecer a mis papás por su eterno amor, a mi familia y a todos los que tuvieron que aguantarme en este proceso...tienen el cielo ganado.

*Natalia.*

En primer lugar, quiero agradecer a los Ingenieros Luis Figueroa y Harvey Arévalo, quienes con su conocimiento y guía nos ayudaron en el desarrollo de este proyecto.

También quiero agradecer a mi familia y compañeros, por apoyarme en esta nueva etapa que hoy llega a su culminación. En especial a mis padres y mi hermana por siempre estar ahí para brindarme un apoyo incondicional.

*Paula Alejandra Gutiérrez Mora.*



Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>22</b>
<b>1.1 Perfil del proyecto</b>	<b>22</b>
<i>1.1.1 Ubicación geográfica</i>	22
<i>1.1.2 Límites</i>	23
<i>1.1.3 Clima</i>	23
<i>1.1.4 Fuentes hidrográficas</i>	23
<i>1.1.5 Población</i>	24
<b>1.2 Marco conceptual</b>	<b>25</b>
<i>1.2.1 Aguas residuales</i>	25
<i>1.2.2 Agentes contaminante orgánicos</i>	25
<i>1.2.3 Agentes contaminantes inorgánicos</i>	25
<i>1.2.4 Cloración</i>	25
<i>1.2.5 Coagulación</i>	26
<i>1.2.6 D.B.O</i>	26
<i>1.2.7 D.Q.O</i>	26
<i>1.2.8 Floculación</i>	26
<i>1.2.9 Floc</i>	26
<i>1.2.10 Flotación</i>	26
<i>1.2.11 Lodos activados</i>	26
<i>1.2.12 Neutralización</i>	26
<i>1.2.13 Oxígeno disuelto</i>	27
<i>1.2.14 Planta de tratamiento de aguas compacta</i>	27
<i>1.2.15 Sedimentación</i>	29
<i>1.2.16 Sólidos sedimentables (SSED)</i>	29
<i>1.2.17 Sólidos suspendidos totales (SST)</i>	29
<i>1.2.18 Test de Jarras</i>	29

1.2.19	<i>Turbidez</i>	29
1.2.20	<i>Vertimiento</i>	29
<b>1.3</b>	<b>Marco teórico</b>	<b>29</b>
1.3.1	<i>Etapas de tratamiento de la PTAR</i>	29
1.3.2	<i>Tamaños y diseños de las PTAR</i>	36
1.3.3	<i>Bombeo de aguas residuales</i>	39
<b>1.4</b>	<b>Marco legal</b>	<b>40</b>
<b>2.</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES Y LOS PARÁMETROS CRITERIO EN LOS VERTIMIENTOS GENERADOS EN EL CENTRO DE PROCESOS</b>	<b>42</b>
<b>2.1</b>	<b>Características del agua residual</b>	<b>42</b>
2.1.1	<i>Características físicas</i>	42
2.1.2	<i>Características químicas</i>	43
<b>2.2</b>	<b>Sustancias a tratar en la planta de tratamiento de agua</b>	<b>43</b>
<b>3.</b>	<b>AVANCES DE LAS TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PLANTAS DE PROCESO</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Tecnologías de pretratamiento</b>	<b>47</b>
3.1.1	<i>Rejillas</i>	47
3.1.2	<i>Trampa de grasa</i>	47
<b>3.2</b>	<b>Tecnologías de tratamiento físico-químico</b>	<b>47</b>
3.2.1	<i>Decantación</i>	47
3.2.2	<i>Aireación</i>	47
<b>3.3</b>	<b>Tecnologías de tratamiento biológico</b>	<b>47</b>
3.3.1	<i>Lodos activados</i>	47
3.3.2	<i>Biorreactores de membrana</i>	48
3.3.3	<i>Reactor biológico de lecho de móvil</i>	49
3.3.4	<i>Reactor discontinuo secuencial</i>	50
<b>3.4</b>	<b>Tecnologías de tratamiento biológico aerobio basados en sistemas de contacto</b>	<b>51</b>
3.4.1	<i>Biodiscos</i>	51
3.4.2	<i>Filtro biológico aireado</i>	52
3.4.3	<i>Filtro percolador</i>	53
<b>3.5</b>	<b>Tecnologías de tratamiento biológico natural</b>	<b>54</b>

3.5.1	<i>Sistema de lagunaje</i>	54
3.5.2	<i>Humedales artificiales</i>	54
3.5.3	<i>Microalgas</i>	55
<b>3.6</b>	<b>Tecnologías de tratamiento de oxidación avanzada</b>	<b>55</b>
3.6.1	<i>Ozonización</i>	55
3.6.2	<i>Radiación ultravioleta</i>	55
3.6.3	<i>Fenton</i>	56
<b>3.7</b>	<b>Tecnologías de tratamiento de pulido</b>	<b>56</b>
3.7.1	<i>Filtración en lecho granular</i>	56
3.7.2	<i>Ósmosis inversa</i>	57
3.7.3	<i>Electrodesionización inversa</i>	57
<b>4.</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Caudal de diseño</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>Consideraciones del balance de masa</b>	<b>60</b>
<b>4.3</b>	<b>Balance de masa por equipo y del laboratorio del centro de procesos para su recepción a la PTAR</b>	<b>65</b>
<b>5.</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA</b>	<b>74</b>
<b>5.1</b>	<b>Consideraciones generales de diseño</b>	<b>74</b>
<b>5.2</b>	<b>Secuenciamiento de operaciones y equipos</b>	<b>75</b>
5.2.1	<i>Pretratamiento</i>	75
5.2.2	<i>Neutralización</i>	81
5.2.3	<i>Tratamiento primario</i>	85
5.2.4	<i>Tratamiento secundario</i>	91
5.2.5	<i>Tratamiento terciario</i>	101
5.2.6	<i>Tratamiento de lodos</i>	108
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>115</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>116</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>131</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1. Ubicación fundación universidad de américa, campus los cerros</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2. Clima bogotá</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3. Mapa fuentes hidrográficas</b>	<b>24</b>
<b>Figura 4. Pirámide poblacional la candelaria 2022. % población grupos de edad</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5. Tanque vertical subterráneo</b>	<b>37</b>
<b>Figura 6. Tanques horizontales y verticales en superficie</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7. Tanque horizontal subterráneo</b>	<b>38</b>
<b>Figura 8. Clasificación de la naturaleza de las sustancias</b>	<b>46</b>
<b>Figura 9. Lodos activados</b>	<b>48</b>
<b>Figura 10. Biorreactores de membrana</b>	<b>49</b>
<b>Figura 11. Reactor biológico de lecho móvil</b>	<b>50</b>
<b>Figura 12. Reactor discontinuo secuencial</b>	<b>51</b>
<b>Figura 13. Esquema biodiscos</b>	<b>52</b>
<b>Figura 14. Filtro biológico aireado</b>	<b>53</b>
<b>Figura 15. Filtro percolador</b>	<b>53</b>
<b>Figura 16. Sistema de lagunaje</b>	<b>54</b>
<b>Figura 17. Humedales artificiales</b>	<b>55</b>
<b>Figura 18. Radiación ultravioleta</b>	<b>56</b>
<b>Figura 19. Ósmosis inversa</b>	<b>57</b>
<b>Figura 20. Electrodesionización inversa</b>	<b>58</b>
<b>Figura 21. Selección del tratamiento por naturaleza de sustancias</b>	<b>62</b>
<b>Figura 22. Etapas de tratamiento de la planta</b>	<b>64</b>
<b>Figura 23. Tipos de rejillas usadas en el tratamiento de aguas</b>	<b>76</b>
<b>Figura 24. Clasificación de rejillas finas</b>	<b>77</b>
<b>Figura 25. Sección transversal de una trampa de grasas</b>	<b>79</b>
<b>Figura 26. Sistema de control de ph en lazo cerrado</b>	<b>84</b>
<b>Figura 27. Sistema daf con recirculación</b>	<b>88</b>
<b>Figura 28. Proceso del tratamiento biológico</b>	<b>92</b>
<b>Figura 29. Proceso convencional de lodos activados</b>	<b>93</b>

<b>Figura 30. Datos de entrada del simulador</b>	<b>98</b>
<b>Figura 31. Factor alfa vs mlss concentraciones</b>	<b>99</b>
<b>Figura 32. Sección transversal de un medio multimedia</b>	<b>108</b>
<b>Figura 33. Manejo de lodos</b>	<b>112</b>
<b>Figura 34. Diagrama propuesto PTAR</b>	<b>114</b>
<b>Figura 35. Estructura caroteno <math>\alpha</math> y <math>\beta</math></b>	<b>138</b>
<b>Figura 36. Estructura ácidos carboxílicos</b>	<b>144</b>
<b>Figura 37. Saponificables</b>	<b>145</b>
<b>Figura 38. Reacción de esterificación</b>	<b>146</b>
<b>Figura 39. Tipos de catalizadores sólidos</b>	<b>147</b>
<b>Figura 40. Estructura de los polímeros</b>	<b>148</b>
<b>Figura 41. Tipos de arenas</b>	<b>153</b>
<b>Figura 42. Funcionamiento de una enzima</b>	<b>156</b>
<b>Figura 43. Ph de la lluvia en bogotá</b>	<b>159</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1. Etapas del tratamiento de agua residual</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2. Condiciones de diseño cribado</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 3. Condiciones de diseño de la trampa de grasas</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 4. Parámetros de diseño sedimentador secundario</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 5. Parámetros de diseño lodos activados</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 6. Tipos de bombas y usos</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límite máximos permisibles</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 8. Listado de sustancias a tratar en la PTAR</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 9. Listado de sustancias por equipo</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 10. Capacidad de los equipos del CEPIIS</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 11. Caudales adicionales</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 12. Máximo caudal</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 13. Caracterización del efluente de refinación de aceites</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 14. Caracterización del efluente de aceite de palma</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 15. Caracterización del efluente de aguas de producción de jabón</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 16. Caracterización del efluente de aguas de producción de cerveza</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 17. Caracterización del efluente de aguas de producción de zumo de manzana</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 18. Caracterización del efluente de aguas de producción de lácteos</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 19. Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la refinación de aceites</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 20. Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de jabón</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 21. Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de cerveza</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 22. Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de zumo de manzana</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 23. Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la industria láctea</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 24. Balance de masa propuesto para el tratamiento de las aguas provenientes del CEPIIS</b>	<b>72</b>

<b>Tabla 25. Comparación del agua tratada con la normatividad</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 26. Consideraciones de diseño de la rejilla</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 27. Consideraciones de diseño de la trampa de grasas</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 28. Agentes reguladores de pH</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 29. Consideraciones para ajustar pH</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 30. Consideraciones de operación Coagulación y floculación</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 31. Solubilidad del aire</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 32. Consideraciones de diseño del DAF</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 33. Consideraciones de diseño del reactor biológico</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 34. Parámetros de diseño clarificador</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 35. Consideraciones de operación de la desinfección con cloro</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 36. Comparaciones de los principales tipos de filtro de medio granular</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 37. Consideraciones de diseño del filtro granular.</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 38 Características de los lodos</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 39. Concentraciones típicas de sólidos y de DBO en procesos de tratamiento de lodos</b>	<b>110</b>
<b>Tabla 40. Consideraciones de diseño del filtro prensa</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 41. Tipos de clorofila</b>	<b>139</b>
<b>Tabla 42. Ácidos carboxílicos saturados comunes</b>	<b>146</b>
<b>Tabla 43. Propiedades de algunos polímeros</b>	<b>149</b>
<b>Tabla 44. Grupos más comunes de algas</b>	<b>155</b>
<b>Tabla 45. Aminoácidos esenciales y no esenciales</b>	<b>156</b>
<b>Tabla 46. Indicadores ácido-base</b>	<b>158</b>
<b>Tabla 47. Principales ácidos grasos en los triglicéridos</b>	<b>159</b>



## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1. tiempo de retención</b>	<b>79</b>
<b>Ecuación 2. Área de flotación</b>	<b>80</b>
<b>Ecuación 3. Velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite</b>	<b>80</b>
<b>Ecuación 4. Relación aire-sólidos</b>	<b>89</b>
<b>Ecuación 5. Área superficial</b>	<b>90</b>
<b>Ecuación 6. Tiempo de retención hidráulica</b>	<b>96</b>
<b>Ecuación 7. Carga orgánica</b>	<b>96</b>
<b>Ecuación 8. Carga orgánica volumétrica</b>	<b>97</b>
<b>Ecuación 9. Relación alimento/ microorganismos</b>	<b>97</b>
<b>Ecuación 10. Área del sedimentador para caudal promedio</b>	<b>100</b>
<b>Ecuación 11. Flujo pico de sólidos</b>	<b>101</b>
<b>Ecuación 12. Área de sedimentación requerida por carga de sólidos</b>	<b>101</b>
<b>Ecuación 13. Tiempo de retención</b>	<b>101</b>

## RESUMEN

En el proyecto de grado “DISEÑO Y ESTANDARIZACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUA TIPO COMPACTA, EN LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA”. Se realiza un análisis de las sustancias que se planean utilizar en el CEPIIS (Centro de procesos e innovación para la industria sostenible), las cuales tendrán que ser tratadas en la planta compacta de tratamiento; estas sustancias se agrupan por naturaleza química, lo que permite generar un posible tratamiento. Al tener la evaluación de las sustancias, se realiza un proceso investigativo de los avances de la tecnología y cómo se pueden incorporar en la propuesta a realizar. Al tener una serie de posibilidades, se desarrolla un diagrama de decisión que permite esquematizar las etapas y tratamientos de la planta. Con lo anterior, se procede a realizar un balance de masa, estipulando el caudal y las concentraciones a manejar, garantizando el cumplimiento del artículo N° 15 de la resolución 0631 de 2015 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Al no contar con la caracterización real del agua, se recopila información de plantas en funcionamiento, con un enfoque similar y se realiza un estudio en distintas fuentes bibliográficas. El balance permite realizar un dimensionamiento básico de los equipos y consideraciones de diseño, esto con el fin de determinar si el área ya preestablecida es apta para la construcción del proyecto.

**Palabras clave:** tratamiento de agua, agua residual, parámetros de calidad del agua, operaciones unitarias.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el tratamiento de aguas residuales es esencial para todas las actividades humanas, ya que el proceso tiene como objetivo eliminar los contaminantes del agua de diversas fuentes, tanto industriales como domésticas, para poder ser vertidas con menos carga, evitando así cambios en el ecosistema tratado y evitando enfermedades relacionadas a la comunidad.

En Colombia el 96% de las aguas residuales, ya sean domésticas o industriales, no son tratadas correctamente y esto conlleva a un impacto negativo, tanto a los cuerpos de agua donde se hace el vertimiento, como al ambiente que lo rodea [1]

La Fundación Universidad de América busca la creación de un espacio en donde los estudiantes tengan la oportunidad de realizar distintas prácticas a escala de laboratorio sin la necesidad de recurrir a una visita industrial. Para ello, se plantea la construcción del CEPIIS (Centro de procesos e innovación para la industria sostenible), el cual tiene como objetivo acercar a los estudiantes a los equipos usados en la industria, y de esta manera, tener la posibilidad de poner en práctica el conocimiento teórico adquirido.

Debido a que los efluentes de las distintas prácticas contienen una carga de contaminantes no admisible para vertimiento o reúso, debido a las restricciones de la universidad, se establece la necesidad de incorporar una planta compacta de tratamiento de agua residual, la cual se especifica con un caudal de funcionamiento de  $1\text{m}^3/\text{d}$  o  $0,25\text{ m}^3/\text{h}$ .

El uso de una planta compacta de tratamiento de agua residual es una aplicación de la planta de tratamiento de aguas residuales en una escala mucho menor, al incluir todos los procesos y operaciones unitarias en una sola unidad, obteniendo agua tratada de excelente calidad.

Al implementar una planta de tratamiento de aguas en la universidad traerá beneficios como:

1. Protección a la salud del medio ambiente y la sostenibilidad. La universidad al ubicarse en un Ecocampus, el principal objetivo es la convivencia y protección del medio ambiente.
2. El tratamiento de aguas residuales constituye un modo de reducir los residuos generados. La universidad tiene el compromiso de realizar un consumo y desecho responsable, incitando a diferentes entes educativos, cuerpo estudiantil, trabajadores y demás a un uso consciente de nuestros recursos e invitando a contribuir con la economía circular.

3. Es un gran instrumento de aprendizaje y de valor para los estudiantes. Además, le brinda la posibilidad a la Universidad de conseguir la acreditación en Alta calidad, puesto que este proyecto es el resultado de un arduo esfuerzo y es el reflejo del compromiso que tiene la Universidad con todo su cuerpo estudiantil.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar una propuesta de secuenciamiento de la planta para el tratamiento de aguas del CEPIIS, para ello, el documento está estructurado en cinco (5) capítulos. El primero contempla las generalidades de las plantas de tratamiento de aguas; el segundo aborda el análisis de los contaminantes y los parámetros criterios en los vertimientos generados en el centro de procesos; el tercero corresponde a una investigación de los avances de las técnicas y tecnologías para el tratamiento de las aguas de la planta; el cuarto abarca el balance de masa del proceso y el último propone un secuenciamiento óptimo, según las limitaciones, de la planta de tratamiento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño conceptual e integración de una planta piloto de tratamiento de aguas para el centro de procesos de ingeniería en la Universidad de América.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los principales contaminantes y los parámetros criterio en los vertimientos generados en el centro de procesos.
- Revisar el estado de avance de las técnicas y tecnologías para el tratamiento de aguas en plantas de procesos.
- Integrar el balance de masa y esquema hidráulico para cada uno de los equipos y laboratorios del centro de procesos para su recepción en la PTAR.
- Diseñar el secuenciamiento de etapas de tratamiento de la PTAR del centro de procesos de ingeniería según principios de sostenibilidad.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 Perfil del proyecto

### 1.1.1 Ubicación geográfica

El proyecto se realiza en la sede del ecocampus de los Cerros de la Fundación Universidad de América, ubicada en la Avenida circunvalar N° 20 – 53, barrio Las Aguas en la ciudad de Bogotá, Colombia.

**Figura 1.**

*Ubicación Fundación Universidad de América, campus Los Cerros*



**Nota.** La figura representa la ubicación geográfica de la Universidad de América. Tomado de: Bogotá. Colombia. Gobierno Nacional de Colombia, “Mapa Bogotá” [En línea]. Disponible: <https://mapas.bogota.gov.co/>

### 1.1.2 Límites

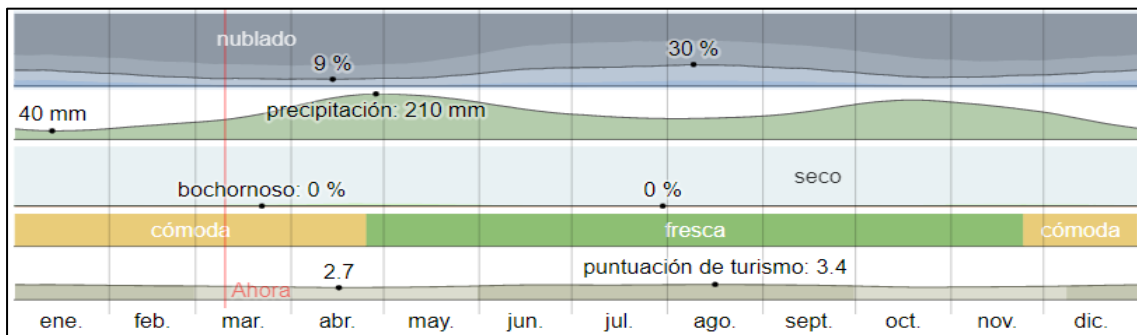
El ecocampus de La Fundación Universidad de América limita al norte con La carrera primera, al oriente con el Centro Las Gaviotas, al sur con la Avenida Circunvalar y al occidente con el Centro Deportivo Uniandes La Gata Golosa.

### 1.1.3 Clima

Ya que la ciudad de Bogotá se encuentra a una altura de 2.640 m sobre el nivel del mar, su clima está clasificado como clima templado, con una temperatura que varía entre los 7°C a los 19°C durante todo el año. Tiene dos temporadas lluviosas que se dan de marzo a mayo y de septiembre a noviembre. [2]

**Figura 2.**

*Clima Bogotá.*



**Nota.** La figura representa el clima de la ciudad de Bogotá. Tomado de: Weather spark, «El tiempo durante todo el año en cualquier parte del mundo»[En línea]. Disponible, <https://es.weatherspark.com/>

### 1.1.4 Fuentes hidrográficas

La Fundación Universidad de América colinda con el río San Francisco, al cual se le unen dos quebradas, la quebrada de Las Brujas y la quebrada de Santo Domingo.

**Figura 3.**

*Mapa fuentes hidrográficas.*



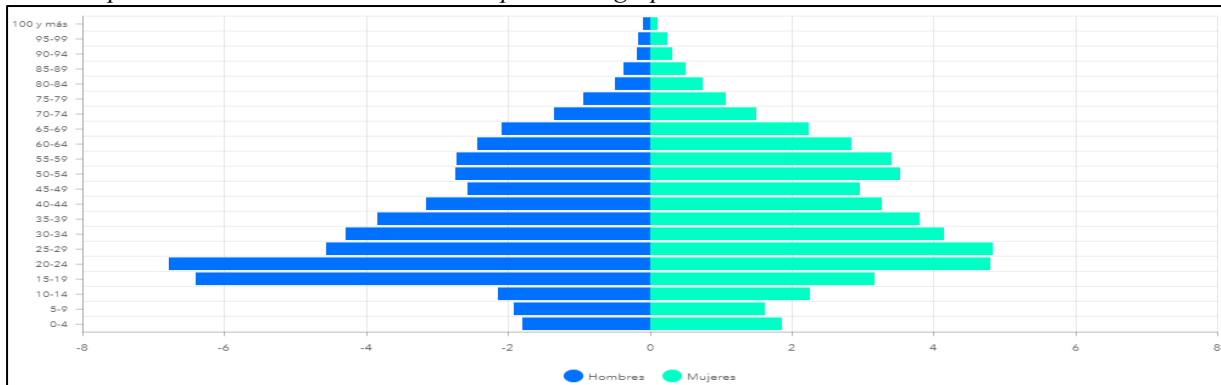
**Nota.** La figura representa las fuentes hídricas cercanas a la Universidad de América. Tomado de: Bogotá. Colombia. Gobierno Nacional de Colombia, “Mapa Bogotá” [En línea]. Disponible: <https://mapas.bogota.gov.co/>

### 1.1.5 Población

La población en la localidad de La Candelaria se representa en el siguiente gráfico:

**Figura 4. Pirámide poblacional La Candelaria 2022. % población grupos de edad**

*Pirámide poblacional La Candelaria 2022. % población grupos de edad.*



**Nota.** La figura representa pirámide poblacional de la candelaria 2022. Tomado de: Secretaría Distrital de Planeación. Bogotá, [En línea]. Disponible:

<https://sdpbogota.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=baabe888c3ab42c6bb3d10d4eea993c5>



La mayor parte de la población de esta localidad son los hombres y mujeres entre los 20 - 24 años, ya que es una zona de residencias universitarias.

## **1.2 Marco conceptual**

### ***1.2.1 Aguas residuales***

Este tipo de aguas tiene diferentes características en calidad y volumen en que se maneja. El efluente suele contener sustancias disueltas y suspendidas, como son las aguas provenientes de los procesos de manufacturación, mantenimiento y otro tipo de actividades llevadas a cabo en la industria. La naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas residuales industriales depende del tipo de actividad que se desarrolle. [3]

### ***1.2.2 Agentes contaminante orgánicos***

Agrupan una gran cantidad de compuestos químicos que en su composición está presente el carbono. Estos también se encuentran disueltos en aguas que provienen de usos domésticos, industriales y de la erosión del suelo. Estos contaminantes son los que consumen el oxígeno que se encuentra en los cuerpos de agua afectando la biota del ecosistema. [4]

### ***1.2.3 Agentes contaminantes inorgánicos***

Los contaminantes inorgánicos son una de las principales clases de contaminantes vertidos por las industrias químicas. Los metales pesados y otros contaminantes inorgánicos, como los oligoelementos, los ácidos minerales, los metales, los compuestos metálicos, las sales inorgánicas, los metales con compuestos orgánicos como complejos, los sulfatos y los cianuros; con una concentración superior a los límites permitidos, pueden contaminar las aguas. [5]

### ***1.2.4 Cloración***

El cloro ha sido usado durante muchos años como un desinfectante de aguas, el cual busca eliminar enfermedades transmitidas por el agua, como la fiebre tifoidea y la disentería. La cloración se realiza cuando se añade cierta cantidad de cloro al agua para asegurar la eliminación de virus bacterias. El cloro es agregado como un último paso en el tratamiento de aguas, normalmente seguido de una filtración. [6]

### **1.2.5 Coagulación**

La coagulación es un tratamiento que desestabiliza las cargas de las partículas en suspensión que se encuentran en el agua residual. [7]

### **1.2.6 D.B.O**

Oxígeno utilizado para satisfacer las necesidades metabólicas de los microorganismos aeróbicos en aguas ricas en materia orgánica. [8]

### **1.2.7 D.Q.O**

Cantidad de materiales químicamente oxidables presentes en las aguas residuales. [8]

### **1.2.8 Floculación**

La floculación es un tratamiento que una vez desestabilizadas las cargas de las partículas, éstas se aglomeran progresivamente para formar flóculos más grandes. [9]

### **1.2.9 Floc**

Sólidos que se unen para formar partículas más grandes. [8]

### **1.2.10 Flotación**

La flotación es un tratamiento que usa microburbujas de aire; estas son añadidas al agua residual y generan que el floc se adhiera a ellas y sea transportado hasta la superficie del agua. [10]

### **1.2.11 Lodos activados**

Los lodos son un subproducto del tratamiento de aguas residuales, estos se obtienen a lo largo de las tres etapas del proceso; se obtienen lodos con diferentes cargas de contaminantes. Su fundamento está en la utilización de microorganismos, lo más comunes son bacterias, estas crecen en el agua residual al alimentarse de la materia orgánica disuelta. [11]

### **1.2.12 Neutralización**

La neutralización es el proceso por el cual el agua a tratar se lleva a un rango de pH óptimo, el cual permite que el coagulante y/o floculante trabajen de una manera eficiente. Esto se realiza añadiendo hidróxido de sodio o ácido sulfúrico según se requiera. [8]

### 1.2.13 Oxígeno disuelto

Oxígeno disuelto es añadido en la aireación para ayudar en el proceso de oxidación ya que provee el oxígeno necesario a los microorganismos aerobios para que puedan transformar la materia orgánica en productos inorgánicos. [12]

### 1.2.14 Planta de tratamiento de aguas compacta

Una planta compacta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es la aplicación de una planta de tratamiento de agua, pero en una sola unidad compacta. En esta unidad se busca tratar el agua residual no doméstica (ARnD) que contiene residuos provenientes de procesos industriales. En esta unidad se lleva a cabo la separación de sólidos, grasas, lodos, tratamiento anaerobio, aerobio, clarificación. Estas operaciones y procesos unitarios se separan en cuatro etapas [8]

**Tabla 1.**

*Etapas del tratamiento de agua residual.*

<b>Etapa</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Operación y/o proceso unitario</b>
Pretratamiento	Eliminar sólidos gruesos sedimentables y flotantes para evitar daños a los equipos	Trampa de sólidos	Físico
Tratamiento primario	Eliminación de grasas y lodos	Cámara de decantación y desengrasado	Físico
Tratamiento secundario	Eliminar materia orgánica soluble, patógenos y otros contaminantes	Cámara aeróbica y/o anaeróbica Cámara de decantación de secundaria y recirculación de sólidos	Físico, químico y/o biológico

		Cámara de clarificación	
Tratamiento terciario	Reducción de materia orgánica y contaminantes no eliminados en la etapa anterior	Filtro vertical	Físico-químico

*Nota.* Etapas del tratamiento de agua residual. Tomado de: F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida: Lewis Publishers, 2003.

Cada una de estas etapas buscan acondicionar el agua para que pueda ser reutilizada o vertida a cuerpos de agua sin generar impactos negativos a la biota acuática, cumpliendo con los parámetros máximos establecidos por el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia en la resolución 0631 de 2015 para el vertimiento de aguas puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. [13], [14]

El funcionamiento de estas plantas compactas inicia en la recepción de las aguas residuales en la unidad de pretratamiento, lugar donde se realiza la remoción de los grandes sólidos sedimentables o en suspensión que acompañan el agua; este procedimiento se realiza mediante rejillas de limpieza manual o mecánica; en seguida se pasa a la primera cámara, donde por sedimentación se separan tanto los lodos como las grasas; una vez separados estos contaminantes se pasa a la siguiente cámara, en donde se busca eliminar la materia orgánica soluble y los patógenos, por medio de degradación biológica usando bacterias anaeróbicas; posterior se pasa a una cámara aerobia con lodos activados, para eliminar los malos olores y contaminantes, acelerando la oxidación con ayuda del oxígeno disuelto en el agua,; luego se pasa a la cámara de decantación secundaria el agua circula por un panel lamelar para recolectar sólidos en suspensión más pequeños, después el agua ya clarificada se lleva a una cámara de clarificación para ser bombeada a la última unidad donde se adiciona cloro para asegurar la durabilidad y calidad del agua, y floculantes para adherir sólidos en suspensión de menor tamaño para así eliminarlos en el filtro vertical. [15]. Todo lo anterior depende de la caracterización del agua y del tipo de tratamiento que se necesita, el procedimiento descrito no es apto en todos los casos.

### ***1.2.15 Sedimentación***

La sedimentación se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para separar los sólidos en suspensión de las aguas residuales. La eliminación por sedimentación se basa en la diferencia de gravedad específica entre las partículas sólidas y la masa del líquido, lo que da lugar a la sedimentación de los sólidos en suspensión. [16]

### ***1.2.16 Sólidos sedimentables (SSED)***

Es la medida del peso seco del material sólido que, durante una hora, se sedimentará en el fondo del tanque. [8]

### ***1.2.17 Sólidos suspendidos totales (SST)***

Es la medida de partículas que se encuentran flotando en el agua, su valor está relacionado con la turbidez. [17]

### ***1.2.18 Test de Jarras***

Los ensayos de jarras se utilizan ampliamente en la industria, en particular en el tratamiento del agua, para operaciones de coagulación y floculación. Se realiza con el fin de determinar la dosis óptima de químico. [18]

### ***1.2.19 Turbidez***

La turbidez es causada por los sólidos suspendidos que son usualmente invisibles al ojo humano, estas partículas son de varios tamaños, algunas son lo suficientemente pesadas para precipitarse por la fuerza de gravedad. Las partículas más pequeñas que no sedimentan son las causantes de la turbidez del agua. [19]

### ***1.2.20 Vertimiento***

Es la descarga de las aguas tratadas a cuerpos de agua o al alcantarillado de la ciudad. [20]

## **1.3 Marco teórico**

### ***1.3.1 Etapas de tratamiento de la PTAR***

### 1.3.1.a Tratamiento preliminar

1.3.1.a.i Decantador. El decantador tiene como función separar la gran cantidad de lodos y otros sólidos decantables y suspendidos por fuerza de gravedad. Se constituye de un tanque de balance hídrico, un fondo cónico para compactado rápido de lodos y un sistema de canaleta colectora (Vertedero). Su índice de remoción se estima en un 30 a 35% en la Carga de DBO. [21], [22]

1.3.1.a.ii Cribado. El cribado corresponde a una rejilla de tamaño uniforme y corresponde a una operación unitaria física. No representa ninguna eficiencia para eliminar cargas orgánicas; su principal objetivo es retener sólidos gruesos presentes en el agua (troncos, pañales, plásticos, entre otros residuos) con el fin de evitar obstrucciones en las siguientes fases del tratamiento. [21], [22]

#### Ventajas y desventajas del cribado.

- El cribado se utiliza en unidades compactas y convencionales, para evitar obstrucciones e inconvenientes técnicos y operativos.
- la unidad genera pérdidas de carga considerables, se ve necesario que en su diseño y construcción tengan en cuenta variables hidráulicas y de operación (Caudal máximo y mínima, velocidad de flujo, frecuencia de limpieza y tipos de residuos a retener).

#### Condiciones de Operación.

Se requiere efectuar una limpieza manual de las rejillas en forma permanente, especialmente en momentos de menor caudal. Es necesario ubicar y disponer estos residuos en un contenedor dispuesto para tal fin.

**Tabla 2.**

*Condiciones de diseño cribado*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Und</b>
Perdida de carga		m
Rejillas gruesas - Abertura	0,64 = >	cm
Rejillas finas – Abertura	0,64 <	cm
Ancho de las barras	0,5 – 1,5	cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5	cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0	cm

Pendiente con la vertical	30° - 45°	cm
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6	m/s
Perdida de energía admisible	15	cm

*Nota.* Condiciones de diseño cribado. Tomado de: Melcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, EEUU,1996. P.232 (2) Romero, Jairo Alberto. Tratamiento de agua residual. Colombia, 2002.

1.3.1.a.iii Trampa de grasas. La trampa de grasas es una cámara de flotación, en la cual las grasas y aceites ascienden por su baja densidad mientras el agua abandona la unidad, cuenta con pantallas laterales para brindar las condiciones de velocidad requeridas para que se lleve a cabo este proceso. El agua ingresa por la parte inferior para evitar resaltos hidráulicos. Usada en aguas residuales domésticas e industriales con alto contenido de grasas (Restaurante, lavaderos de vehículos, mataderos, industrias de alimentos, entre otras). [21], [22]

Ventajas y desventajas.

- Estas unidades evitan la obstrucción de grasas y aceites en las fases posteriores, mejorando las condiciones de operación de la unidad.
- Diseñada para retener grasas no emulsionadas, en el momento que el afluente contenga otro tipo de grasas es recomendable utilizar otro tipo de mecanismos (Flotación por aire disuelto, Oil skimmer).
- Requiere de actividades de limpieza permanente, para evitar la presencia de vectores y olores indeseables.

Condiciones de Operación.

- Evacuar el material flotante acumulado, por medio de dispositivo de remoción manual y/o desnatador si las condiciones hidráulicas lo permiten; como parte esencial de su operación.
- Ubicar el material retirado en un contenedor para su posterior disposición final.
- Diseñar el sistema para condiciones extremas de operación, debido a que el aumento de caudal y cargas pueden afectar el funcionamiento hidráulico de la unidad.

**Tabla 3.**

*Condiciones de diseño de la trampa de grasas*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Und</b>
------------------	--------------	------------

Carga superficial	> 0,25	LPS/m <sup>2</sup>
	0,86 – 3,78	LPS/m <sup>2</sup>
Relación ancho/longitud	1:4 – 1:18	-
Velocidad ascendente mínima	4	mm/s
Diámetro mínimo entrada	50	mm
Diámetro mínimo salida	100	mm
Tiempo de retención recomendados	15 - 30	Min
Tiempo de retención para sistemas 2 – 9 LPS para agua residual doméstica	3	Min
Tiempo de retención para sistemas 10 – 19 LPS para agua residual doméstica	4	Min
Tiempo de retención para sistemas 20 o más LPS para agua residual doméstica	5	cm

**Nota.** Condiciones de diseño trampa de grasas. Tomado de: Romero, Jairo Alberto. Tratamiento de agua residual. Colombia, 2002. P.278-288/ Ministerio de desarrollo, Reglamento de agua potable y saneamiento básico, Colombia, 2000, Capítulo 4.

### 1.3.1.b Tratamiento secundario

1.3.1.b.i Cámara anaeróbica. En el tratamiento anaerobio la digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. [21], [22]

1.3.1.b.ii Cámara aerobia. En el tratamiento aerobio se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, éste requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es



convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. [21], [22]

1.3.1.b.iii Sedimentador secundario. El sedimentador secundario se encuentra después del tratamiento biológico y su función es la precipitación del lodo; su forma geométrica (Troncocónico o piramidal) permite la acumulación de lodo en la parte inferior. [21], [22]

Ventajas y desventajas.

- Los sedimentadores secundarios aumentan la eficiencia del proceso y permiten la recirculación del lodo a la unidad.
- Al utilizar esta unidad mejora la clarificación del efluente tratado.
- Las desventajas de esta unidad se encuentran ligadas a la mala operación del sistema.

Condiciones de Operación

Para su óptimo funcionamiento se recomienda efectuar una limpieza general y revisión del mecanismo de retorno y evacuación de lodos periódicamente.

**Tabla 4.**

*Parámetros de diseño sedimentador secundario*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Und</b>
Carga superficial	16 – 32	m/d
	0,5	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hr
Carga de sólidos	98 - 147	Kg/dm <sup>2</sup>
Profundidad	3,7 – 4,6	m

**Nota.** Condiciones de diseño sedimentador secundario. Tomado de:  
Romero, Jairo Alberto. Tratamiento de agua residual. Colombia, 2002.

1.3.1.b.iv Lodos activados. El sistema de lodos activados es utilizado para el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, su principio se basa en el contacto del afluente con floc biológico formado en un tanque de aireación; en el cual los microorganismos aeróbicos puedan transformar la materia orgánica biodegradable, requiere el suministro de energía eléctrica para los equipos de

aireación, además cuenta con difusores de aire para incrementar y homogenizar la transferencia de oxígeno.

Este proceso genera lodos activados los cuales se retiran periódicamente para un tratamiento de deshidratación, además se establece un porcentaje de retorno de lodos para mantener la eficiencia del sistema, el cual se obtiene de la fase de sedimentación donde se genera una precipitación del lodo biológico. [21], [22]

### Ventajas y desventajas

- El sistema es eficiente en la remoción de cargas biológicas y puede ser instalado en condiciones climáticas variables; además los lodos generados pueden ser aprovechados en la agricultura por su alto contenido orgánico, lo que permite cerrar el ciclo de tratamiento.
- La unidad requiere del suministro continuo de energía eléctrica, para el funcionamiento de los equipos mecánicos.
- Los microorganismos presentes son sensibles a modificaciones de cargas contaminantes.
- El sistema necesita un periodo de arranque y estabilización, para lograr la eficiencia requerida.
- El efluente tratado puede ser adaptable a tratamientos terciarios (filtración, intercambio iónico y precipitación química); en los procesos de reutilización del recurso.

### Condiciones de Operación.

Para el funcionamiento óptimo del sistema se debe garantizar el control de variables biológicas, técnicas y operativas como se detalla a continuación:

- Biológicas. Debido a que el tratamiento lo efectúa principalmente los microorganismos; se debe garantizar el suministro de nutrientes, porcentaje de retorno de lodos.
- Técnicas. Las unidades mecánicas requieren un mantenimiento preventivo y un control temporizado de su funcionamiento. Se deben tener en cuenta las variables operativas del sistema tales como caudal, velocidad, índice volumétrico de lodos, relación F/M, remoción de carga, caracterización microbiana, transferencia de oxígeno, caracterización del agua residual y estudio de eficiencia. Operativas. Es importante programar y realizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo. Tanto a los equipos mecánicos, eléctricos, como a las instalaciones hidráulicas.

**Tabla 5.***Parámetros de diseño lodos activados*

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Tipo de sistema		
OD mínimo suministrado en todo el tanque	0,5	mg/L
OD suministrado	2	mg/L
Velocidad en el fonde del tanque	15 – 30	cm/s
Requerimientos de nutrientes	100 : 5: 1	DBO:N:P
Borde libre	< 0,4	m
Relación Radio – profundidad	Menor 5	
Carga orgánica	0,2 – 0,5	Kg DBO/Kg SSLM-día
Carga volumétrica	0,3 – 1,0	Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>
Periodo de aireación	4 – 8	Hr
Edad del lodo	5 – 15	Días
Recirculación	25 – 75	%
Eficiencia en DBO	85 – 95	%
Oxígeno requerido	1,1 – 1,3	KgO <sub>2</sub> KgDBO
Lodo generado	0,5 – 0,8	Kg/Kg DBO (removida)

#### **Requerimientos**

Sedimentador primario (40m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -día)	SS> 200	mg/L
Trampa de grasas	AyG> 100	mg/L
Neutralización	9 > pH < 5	
Variación de la carga	< 3	

**Nota.** Condiciones de diseño sedimentador secundario. Tomado de: J. A. Romero.

Tratamiento de agua residual. Colombia, 2002. Disponible:

[https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

1.3.1.c Tratamiento terciario. El tratamiento terciario (también denominado "tratamiento avanzado de aguas residuales") consiste en procesos diseñados para lograr una mayor calidad del efluente que los tratamientos secundarios convencionales. [16]

Tipos de tratamiento terciario:

- Eliminación de sólidos en suspensión
- adsorción de carbono (eliminación orgánica)
- intercambio iónico
- ósmosis inversa
- electrodiálisis
- oxidación química (cloración y ozonización)
- métodos de eliminación de nutrientes (eliminación de nitrógeno y fósforo)
- proceso de depuración de aguas residuales por ozono.

### **1.3.2 Tamaños y diseños de las PTAR**

1.3.2.a Planta de tratamiento de 0.10 hasta 0.30 LPS. Esta configuración permite depurar efluentes pequeños, desde 8 a 26 m<sup>3</sup>/día. Solo posee un tanque reactor dividido en 4 compartimentos con procesos biológicos complementados con filtración y desinfección por cloro. [23]

1.3.2.b Planta de tratamiento volúmenes medianos. Comprende volúmenes desde 35 hasta 172 m<sup>3</sup>/días depurados en una sola línea de tratamiento. Esta configuración se acompaña de un decantador primario, un tanque reactor con proceso biológico y tratamiento terciario. [23]

1.3.2.c Planta de tratamiento grandes volúmenes. Se pueden instalar desde 2 líneas de tratamiento en paralelo. Pueden tratar volúmenes desde 3 LPS en adelante. Se instalan procesos de Decantación primaria, Procesos Biológicos, físicos y químicos. [23]

1.3.2.d Diseños. Las plantas compactas de tratamiento de aguas residuales se presentan en diferentes diseños y tamaños según los proveedores y las necesidades del cliente. [24], [25]

Los diseños que se comercializan son los siguientes:

**Figura 5.**

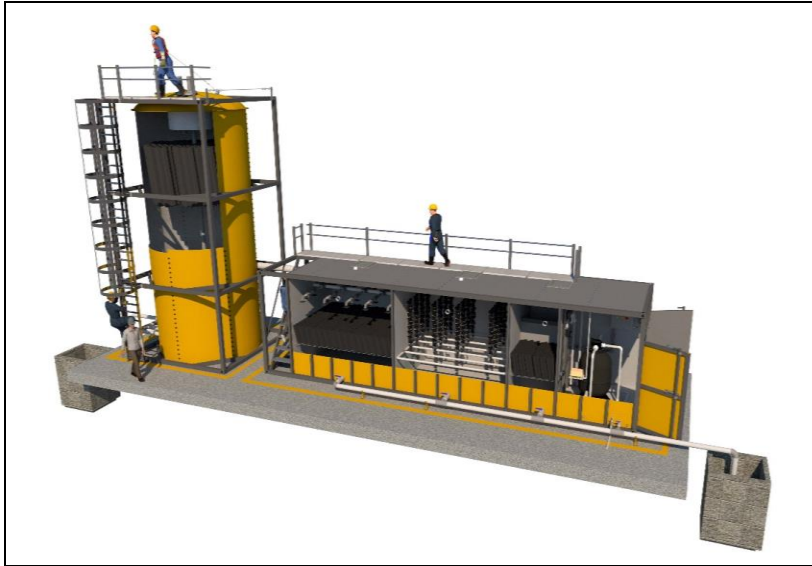
*Tanque vertical subterráneo.*



**Nota.** Tanque Vertical Subterráneo. Tomado de: Avántika Lab & Process. Sistemas de tratamiento de aguas residuales, [En línea]. Disponible: <https://avantika.com.co/wp-content/uploads/2018/11/Sistemas-Peque%C3%83os-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR.pdf>

**Figura 6.**

*Tanques horizontales y verticales en superficie.*



**Nota.** Tanque vertical y horizontal en superficie SYNERTECH. Planta de aguas residuales, [En línea]. Disponible:

<https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/ptar>.

**Figura 7.**

*Tanque horizontal subterráneo.*



**Nota.** Tanque horizontal subterráneo. SYNERTECH. Planta de aguas residuales, [En línea]. Disponible: <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/ptar>.

### 1.3.3 Bombeo de aguas residuales

Al bombear agua, la consideración principal es garantizar que el equipo de bombeo funcione correctamente, que el servicio de suministro esté disponible y que el equipo de bombeo esté bien mantenido. [8]

Al bombear aguas residuales, muchas de las consideraciones son las mismas que para bombear agua. Sin embargo, la consideración principal al bombear aguas residuales es la tendencia de la bomba a obstruirse. Las bombas centrífugas para aguas residuales (es decir, agua con sólidos grandes) siempre deben ser del tipo de succión simple con impulsores abiertos que no se obstruyan. (Nota: Las bombas de succión doble son propensas a obstruirse porque los trapos se enganchan y envuelven alrededor del eje que se extiende a través del ojo del impulsor). la bomba puede reducir aún más la obstrucción.

La cantidad de bombas utilizadas en una instalación de aguas residuales depende en gran medida de la demanda esperada, la capacidad de la bomba y los criterios de diseño para la operación de respaldo. La cantidad de bombas y sus capacidades deben poder manejar el flujo máximo con una bomba en el conjunto que está fuera de servicio. [8]

**Tabla 6.**

*Tipos de bombas y usos*

<b>Clasificación principal</b>	<b>Tipo de bomba</b>	<b>Principales aplicaciones de bombeo</b>
<b>Cinético</b>	<b>Centrífuga</b>	<b>Efluentes de agua cruda y aguas residuales, retorno y desperdicio de lodos secundarios, lodos primarios sedimentados y espesados</b>
	<b>Periférico</b>	<b>Arenas, lodos y aguas residuales</b>
	<b>Rotativo</b>	<b>Aceites lubricantes, motores de gas, soluciones químicas, pequeños flujos de agua y aguas residuales</b>
<b>Desplazamiento positivo</b>	<b>Tornillo</b>	<b>Arena, lodos primarios y secundarios sedimentados, lodos espesados</b>
	<b>Diafragma</b>	<b>Soluciones químicas</b>

<b>Émbolo</b>	<b>Fangos y lodos primarios y secundarios soluciones químicas</b>
<b>Aire comprimido</b>	<b>Circulación y desperdicio de lodos secundarios</b>
<b>Eyector neumático</b>	<b>Aguas residuales en instalaciones pequeñas (de 100 a 600 L/min)</b>

*Nota.* Tipos de bombas y usos. Tomado de: F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida: Lewis Publishers, 2003.

#### **1.4 Marco legal**

En Colombia se han expedido varios documentos para orientar y articular la gestión ambiental, específicamente en el tema de aguas residuales, el país cuenta con un amplio desarrollo de documentos de política, y estos han logrado acciones e impulsado procesos con las entidades que tienen que ver con el tema. El marco de política aplicable al tema comprende documentos relacionados con el manejo del recurso hídrico, espacios oceánicos y zonas costeras, y prevención y atención de desastres.

**Conpes 3177 de 2022:** “Este documento somete a consideración del CONPES las acciones prioritarias y los lineamientos para la formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales (PMAR) con el fin de promover el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico de la Nación.” [26]

**Conpes 3146 de 2001:** Este documento para la prevención y atención de desastres, incluye el tema de contaminación del agua. Así mismo, el Plan Nacional de Desarrollo 2002 –2006, en la estrategia de Sostenibilidad ambiental, programa Manejo integral del agua, se plantean acciones relacionadas con descontaminación hídrica a través de la implementación del PMAR, armonización del marco normativo, y desarrollo de una política integral del recurso hídrico [27].

**Ley 1333 de 2019:** “Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.” [28]

**Resolución 0330 de 2017:** “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y saneamiento Básico”. [29]



**Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015:** Expedido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la ciudad de Bogotá D.C, se encuentran los parámetros de calidad del agua con sus respectivos valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de agua superficiales. En el Capítulo VIII, artículo 15 se establecen los valores de los parámetros fisicoquímicos que se van a tomar como referencia para evaluar la calidad del agua tratada en la planta de tratamiento de agua residual del CEPIIS [13].

**Tabla 7.**

*Parámetros fisicoquímicos y sus valores límite máximos permisibles*

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
pH	Unidades de pH	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	150,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	50,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1,00
Grasas y aceites	mg/L	10,00

**Nota.** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límite máximos posibles Tomado de: Ministerio de Ambiente y desarrollo. Resolución 0631 del 17 de marzo de 2015[En línea]. Disponible:

<https://laboratoriodeanalisis.lasalle.edu.co/wcm/connect/LIAC/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lMo5Mpt>

## 2. ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES Y LOS PARÁMETROS CRITERIO EN LOS VERTIMIENTOS GENERADOS EN EL CENTRO DE PROCESOS

### 2.1 Características del agua residual

Las aguas residuales se caracterizan en función de sus características físicas, químicas y biológicas. El agua contiene diferentes sustancias que pueden utilizarse para caracterizarla. Las sustancias específicas y las cantidades o concentraciones de cada una de ellas varían en función de la fuente [8]

#### 2.1.1 Características físicas

Las características físicas de las aguas residuales se basan en el color, el olor, la temperatura y el caudal.

- **Color:** Las aguas residuales frescas suelen tener un color gris pardo claro. Sin embargo, las aguas residuales típicas son grises y tienen un aspecto turbio. La turbidez se debe fuertes tienen una mayor turbidez. [16] El CEPIIS, contempla residuos de lodos de pardeamiento marrón, lo que permite que el agua se torne de color oscuro, sin embargo, no significa que se estén tratando aguas sépticas.
- **Olor:** Los olores de las aguas residuales a tratar tienen un olor aceitoso y en ocasiones desagradable. [16] No se debe percibir olores pútridos, ya que no se tienen aguas residuales viejas o productos en descomposición.
- **Temperatura:** La temperatura estipulada para la operación de la planta es de 18-30°C. Se contempla la temperatura promedio de Bogotá y un escenario en donde se presenten aguas a mayor temperatura provenientes del CEPIIS. La temperatura de las aguas residuales tiene un efecto significativo sobre la actividad microbológica, la capacidad de tratamiento, la solubilidad de los gases, la densidad y la viscosidad. [16]
- **Caudal:** Se expresa en m<sup>3</sup>/día. Se contemplan la capacidad de cada equipo y del laboratorio del CEPISS.

### 2.1.2 Características químicas

Las características químicas del agua están orientadas a DBO, demanda química de oxígeno (DQO), gases disueltos, compuestos de nitrógeno, pH, fósforo, y sólidos (sólidos orgánicos, inorgánicos, suspendidos y disueltos) [8]

### 2.2 Sustancias a tratar en la planta de tratamiento de agua

Como primera instancia, se realiza una recopilación de información de las sustancias a tratar con el líder del proyecto del CEPIIS. Se elabora una lista de las posibles sustancias que puede tener el efluente que ingresa a la planta de tratamiento. Actualmente, no se tiene información de las prácticas a realizar, ya que cada semestre se propondrán proyectos de investigación o del sector industrial, y con respecto a estos se tendrá una característica de agua diferente.

**Tabla 8.** Listado de sustancias a tratar en la PTAR

*Listado de sustancias a tratar en la PTAR*

<b>Sustancias</b>
Agua
Metanol
Etanol
Aminas
Etilenglicol
Aceites y grasas vegetales
Carotenos
Clorofila
Hidróxido de sodio
Ácido sulfúrico
Ácido nítrico
Butanol
Zeolitas
Grupo carboxilatos
Saponificados
Esterificación

polímeros
Aguas con aminas
Lechada de cal
Carbonato de calcio en dilución
Almidones
Partículas de tubería por corrosión como óxido de hierro
Diesel
Tierra
Arena
Barro
Lodos de agua de proceso de la torre de enfriamiento
Algas
Lodos pardeamiento marrón
Proteínas
Enzimas
Indicadores ácido base
Material orgánico vivo

**Nota.** Listado de sustancias posibles a tratar en la PTAR.

**Tabla 9.**

*Listado de sustancias por equipo*

<b>Unidad /Centro</b>	<b>Sustancia/Compuesto</b>
Banco de reactores	Aceites, hidrocarburos, catalizadores sólidos, aminas, alcoholes, cetonas, aldehídos, ésteres, ácidos carboxílicos, halógenos, fenoles, éteres, alquenos, sales orgánicas e inorgánicas.

Planta de absorción de gases	Partículas sólidas, aceites lubricantes, purgas de agua, etanol, benceno, solventes orgánicos tipo (MDEA, DEA, DGA DIPA, TEA), butadieno, aminas en general, ácido fosfórico.
Planta de destilación continua (control manual)	Solventes orgánicos (alifáticos, aminas, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, alcoholes, cetonas y ésteres), ácido carbónico, ácido acético, ácidos inorgánicos, aceites, alquenos.
Planta de extracción sólido líquido y líquido - líquido	Aceites esenciales, Solventes orgánicos (alifáticos, aminas, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, alcoholes, acetaldehídos, cetonas y ésteres), ácido carbónico, ácidos carboxílicos, ácido acético, ácidos inorgánicos, sales orgánicas e inorgánicas, alquenos.
Secador de bandejas	Residuos de biomasa, residuos de alimentos.
Tren de evaporadores (control manual)	Residuos de biomasa, residuos de alimentos. cloruro de sodio, soda caustica, glicerina, sales orgánicas e inorgánicas.
Filtro Prensa	Carbonato de calcio, cal, residuos de alimentos, materias primas agroalimentarias.

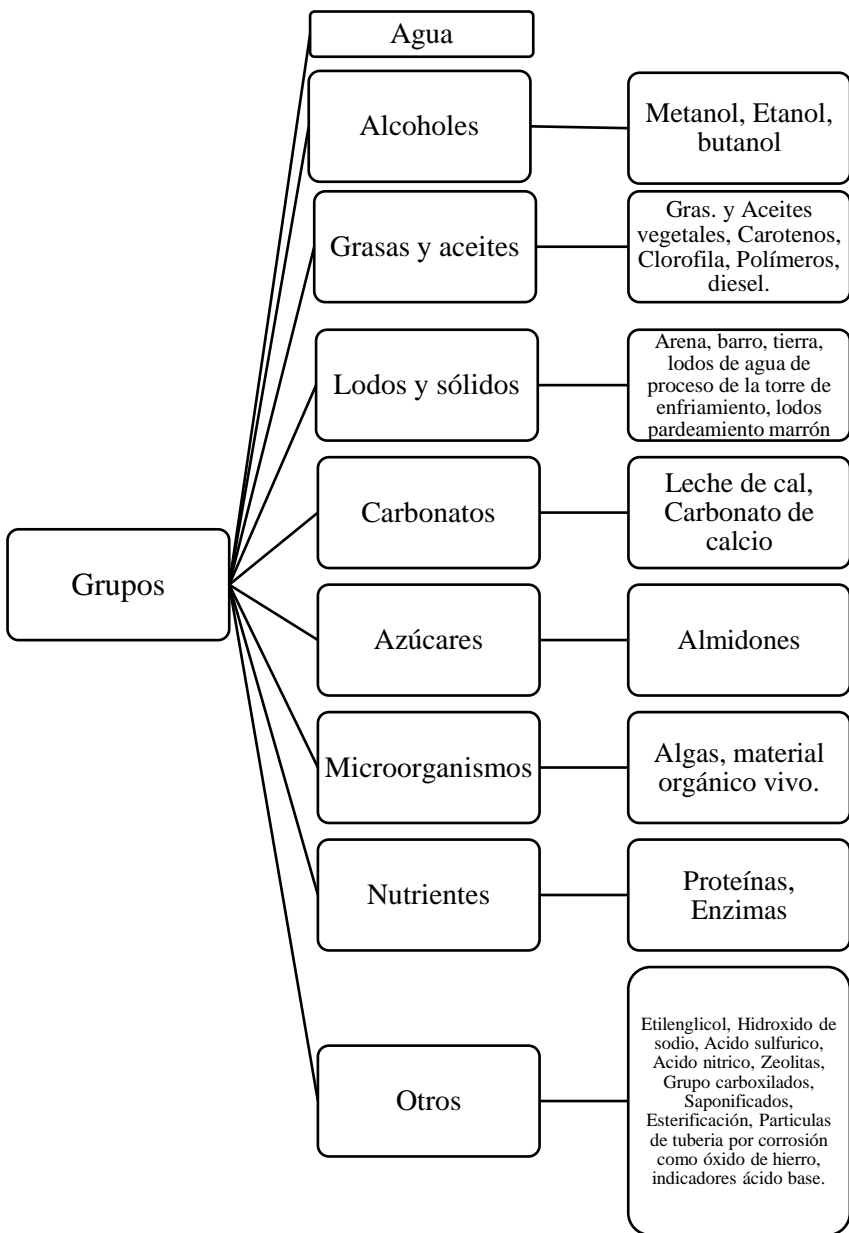
**Nota.** Clasificación de sustancias por tipo de equipo.

A partir de la lista anterior, se realiza un agrupamiento de sustancias dependiendo de su naturaleza química, esto permite que posteriormente se pueda proponer una configuración óptima para la planta de tratamiento. Las sustancias no entrarán en estado puro a la planta, siempre serán trazas,

las cuales no representan riesgo alguno para los estudiantes o para las personas encargadas del funcionamiento de ésta.

**Figura 8.**

*Clasificación de la naturaleza de las sustancias.*



**Nota.** Posibles sustancias a tratar en la PTAR clasificadas según su naturaleza.

### **3. AVANCES DE LAS TÉCNICAS Y TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE PLANTAS DE PROCESO**

#### **3.1 Tecnologías de pretratamiento**

##### **3.1.1 Rejillas**

Las rejillas se usan para remover objetos grandes que puedan causar daños en los equipos o bloquear las tuberías. Existen dos tipos de rejillas [30]:

- Rejillas gruesas: Se usan para la retención de sólidos mayores a 6 mm.
- Rejillas finas: Se usan para la retención de sólidos menores a 6 mm.
- Estas pueden ser de tipo:
- Manual: este tipo de rejillas tienen inclinaciones entre los 45 a 60° con respecto a la horizontal, para facilitar la limpieza manual haciendo uso de un rastrillo
- Mecánica: Este tipo de rejillas tienen inclinaciones entre los 75 a 90° con respecto a la horizontal.

##### **3.1.2 Trampa de grasa**

La trampa de grasa es un equipo de pretratamiento, el cual se ubica después de las rejillas, y su función es evitar que las grasas libres ingresen a los siguientes tratamientos, provocando daños en los equipos y/o taponamiento de las tuberías [31].

#### **3.2 Tecnologías de tratamiento físico-químico**

##### **3.2.1 Decantación**

Los sistemas de decantación son los más comunes en el tratamiento de aguas residuales, estos requieren una gran cantidad de área y largos periodos de tiempo de retención, ya que por efecto de la gravedad se espera a que los sólidos suspendidos del agua se sedimenten en el fondo del tanque.

##### **3.2.2 Aireación**

Los sistemas de aireación, a diferencia de los sistemas de decantación requieren una menor área y menor tiempo de retención de las aguas residuales. Esta tecnología usa microburbujas para llevar los sólidos suspendidos a la superficie del agua, lo cual lo hace más costosa que la decantación al necesitar el uso de una bomba para comprimir agua junto con aire.

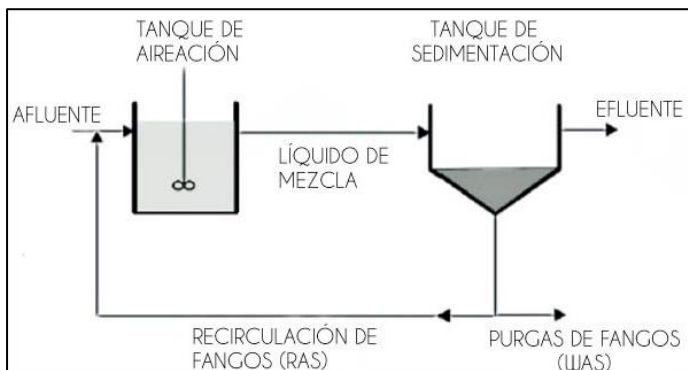
#### **3.3 Tecnologías de tratamiento biológico**

##### **3.3.1 Lodos activados**

El tratamiento de aguas por lodos activados es el más usado en el mundo. Este consiste en un cultivo de microorganismos, en su mayoría bacterias en suspensión, la mezcla de estos lodos con el agua a tratar se conoce como “licor de mezcla”. Ya que este es un sistema aerobio se usa una bomba para mantener constante el flujo de aire dentro del reactor. Después de un tiempo de retención el licor de mezcla se pasa a un tanque de sedimentación secundaria para separar el agua tratada, por la parte superior sale el efluente clarificado y por la parte inferior los lodos [32].

**Figura 9.**

*Lodos activados.*



**Nota.** Lodos activados. Tomado de: [iagua.es](http://iagua.es) , [En línea].

Disponible: <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/nuevas-tecnologias-aguas-residuales>.

### **3.3.2 Biorreactores de membrana**

El tratamiento por biorreactores de membrana, o MBR por sus siglas en inglés, es una aplicación de los lodos activados junto con la implementación de membranas, las cuales filtran la biomasa evitando el paso de las bacterias y eliminando el sedimentador secundario [33].



**Figura 10.**

*Biorreactores de membrana.*



*Nota.* Biorreactores de membrana. Tomado de: R. GUZMAN SIERRA, D. C. ARBOLEDA LAGOS, J. F. GUTIERREZ SANCHEZ, Aguas residuales. Colombia 2020. P.06, [En línea]. Disponible: [https://issuu.com/ricardo4883/docs/17\\_tecnologias\\_para\\_tratamiento\\_\\_1\\_/1](https://issuu.com/ricardo4883/docs/17_tecnologias_para_tratamiento__1_/1)

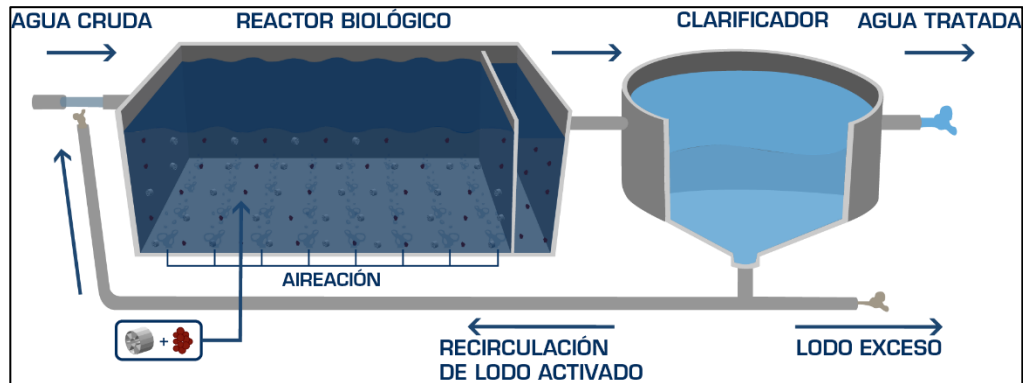
### **3.3.3 Reactor biológico de lecho de móvil**

El reactor biológico de lecho móvil, o MBBR por sus siglas en inglés, es usado para tratar aguas residuales de tipo doméstico, comercial y municipal. Este tratamiento utiliza relleno de menor densidad a la del agua, este puede ser [34]:

- Aerobio: Se hace uso de difusores de aire para homogenizar la mezcla y cumplir con los requerimientos de aire para las bacterias.
- Anaerobio: Se hace uso de mezcladores mecánicos para homogenizar la mezcla.

**Figura 11.**

*Reactor biológico de lecho móvil.*



*Nota.* Reactor biológico de lecho móvil, [En línea]. Disponible:  
<https://www.ucelo.com.br/es/productos-mbbr>

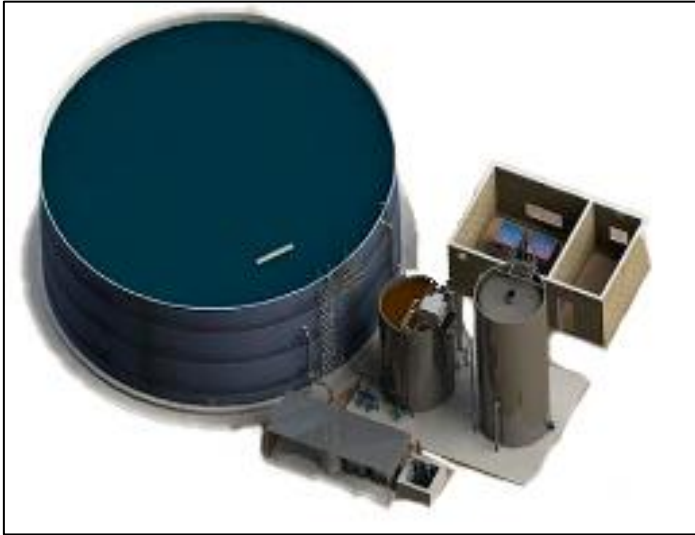
### **3.3.4 Reactor discontinuo secuencial**

El reactor discontinuo secuencial. O SBR por sus siglas en inglés, además de ser una variante del tratamiento por lodos activados, es un proceso que utiliza un solo tanque para la reacción, aireación y clarificación del agua residual, dividiéndose en 4 etapas [35]:

- Primera etapa: Llenado, se llena el tanque con el agua a tratar.
- Segunda etapa: El agua se mezcla de forma mecánica para eliminar la espuma superficial y posteriormente inyectar el aire.
- Tercera etapa: Decantación, se deja de mezclar y se detiene la inyección de aire, para que los lodos puedan decantar.
- Cuarta etapa: Vaciado, el agua ya tratada se retira, y los lodos pasan a un proceso de purga para mantener constante su concentración de microorganismos.

**Figura 12.**

*Reactor discontinuo secuencial.*



**Nota.** Reactor discontinuo secuencial. Tomado de: AGUAS INDUSTRIALES. Reactores biológicos secuenciales. Octubre 2015, [En línea]. Disponible: <http://aguasindustriales.es/ventajas-y-desventajas-de-los-reactores-biologicos-secuenciales-sbr/>

### **3.4 Tecnologías de tratamiento biológico aerobio basados en sistemas de contacto**

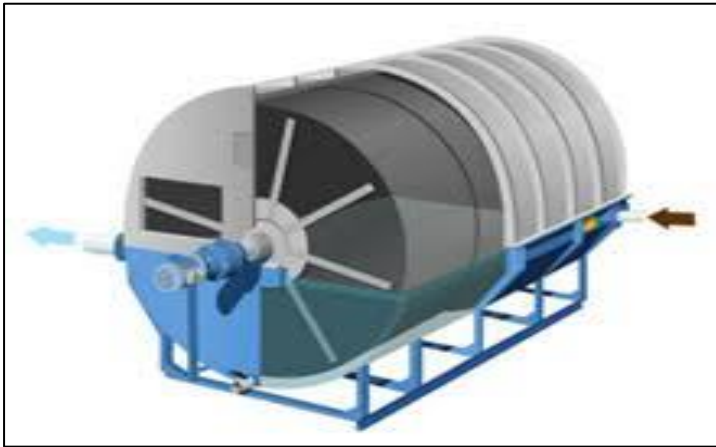
#### **3.4.1 Biodiscos**

Los biodiscos o Contador Biológico Rotatorio (CBR), es un sistema de tratamiento biológico se usa en la remoción del DBO y nitratos. El CBR remueve materia orgánica soluble y coloidal que se encuentre en el agua residual, este es un sistema aerobio que consiste en una serie de discos plásticos con un diámetro que oscila entre los 3 y 4m, que están soportados en un eje horizontal, y todo este sistema está contenido en un tanque de concreto. Estos discos se encuentran sumergidos en un 40% girando a una velocidad entre 1 y 2 rpm.

Los microorganismos se fijan en el porcentaje sumergido de los discos, donde comienzan a multiplicarse, hasta que la película biológica alcanza un espesor entre los 2 y 4mm de espesor, durante la rotación, esta película absorbe oxígeno del aire para remover la materia orgánica soluble de forma aeróbica. El exceso de biomasa es desprendido de los discos gracias a las fuerzas de fricción que ejercen los discos al girar dentro del agua residual [36].

**Figura 13.**

*Esquema Biodiscos.*



*Nota.* Esquema biodiscos. Tomado de: WATER & ENERGY SOLUTIONS, [En línea]. Disponible: <https://www.waterandenergysolutions.nl/home-2/>

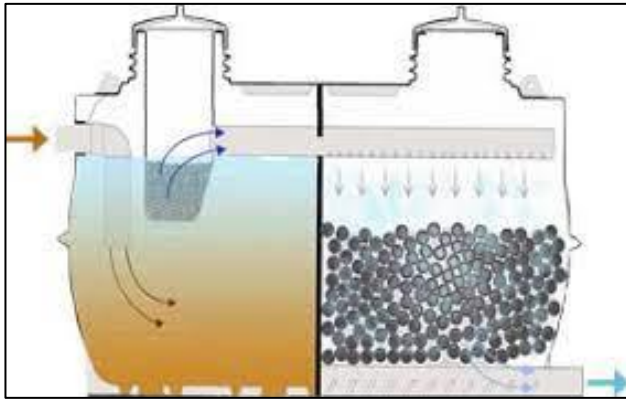
### **3.4.2 Filtro biológico aireado**

El filtro biológico aireado hace uso de la acción mecánica de retención de sólidos por medio de la filtración, y junto microorganismos reduce la materia orgánica. Esto se realiza en tres fases [37]:

- Sólida: haciendo uso de un material granular se asegura la retención de sólidos, este material debe tener una gran porosidad para la creación de colonias bacterianas.
- Líquida: Agua tratada.
- Gaseosa: Adición de aire en la superficie filtrante, asegurando la degradación aerobia de los contaminantes.

**Figura 14.**

*Filtro biológico aireado.*



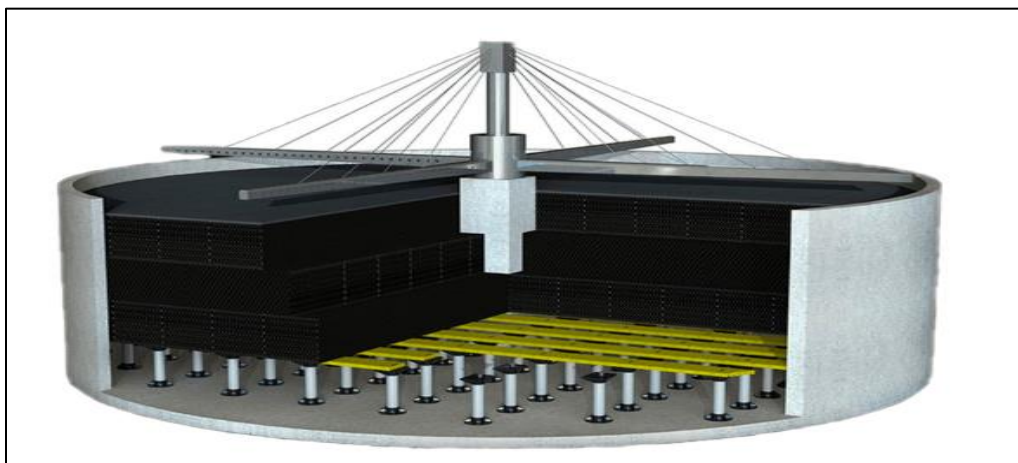
**Nota.** Filtro biológico aireado. Tomado de: AQUALAI, [En línea]. Disponible: <https://aqualai.com/>

### **3.4.3 Filtro percolador**

El filtro percolador o filtro biológico de lecho bacteriano, es un tratamiento aerobio que hace uso de cultivos fijos, los cuales no se encuentran sumergidos. El agua a tratar es rociada desde la parte superior del tanque, atravesando el material plástico que contiene las biopelículas, quienes oxidan la materia orgánica [37].

**Figura 15.**

*Filtro percolador.*



**Nota.** Filtro percolador. Tomado de: BRENTWOOD INDUSTRIES, [En línea]. Disponible: <https://www.brentwoodindustries.com/>

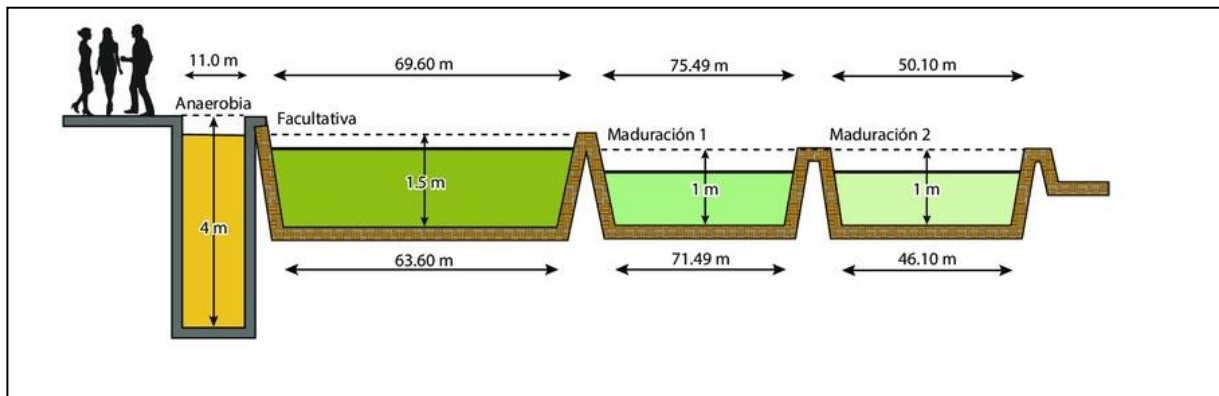
### 3.5 Tecnologías de tratamiento biológico natural

#### 3.5.1 Sistema de lagunaje

El sistema de lagunaje consiste en distribuir el agua una velocidad muy lenta en una serie de estanques, en los cuales proliferan bacterias que tiene la capacidad de degradar la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, nitratos y fosfatos, de forma natural que puede ser anaeróbica o aerobia según se requiera [38].

**Figura 16.**

*Sistema de lagunaje.*



*Nota.* Sistema de lagunaje. Tomado de: TOMASINI ORTIZ ANA CECILIA, Dimensionamiento de lagunas de estabilización. Enero, [En línea]. Disponible: 2017[https://www.researchgate.net/publication/312491882\\_Dimensionamiento\\_de\\_lagunas\\_de\\_estabilizacion](https://www.researchgate.net/publication/312491882_Dimensionamiento_de_lagunas_de_estabilizacion)

#### 3.5.2 Humedales artificiales

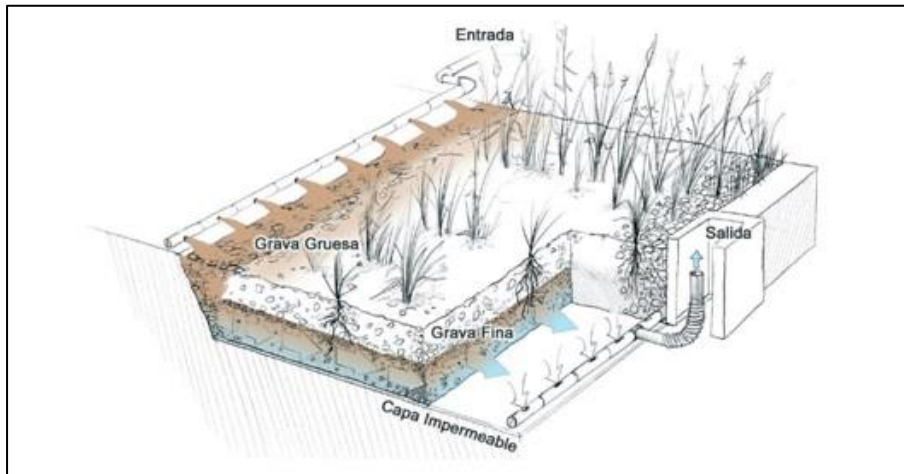
Los humedales artificiales son terrenos inundados, con una profundidad de 60cm con plantas acuáticas emergentes [39]. Este tratamiento combina procesos anaerobios, aerobios y anóxicos. La depuración se lleva a cabo por medio de las colonias existentes en la grava o en la arena, los cuales son el material de relleno, y en las raíces y rizomas de las plantas, las cuales desempeñan un papel en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, para crear las zonas anóxicas.

Hay dos tipos:

- De flujo horizontal sumergido.
- De flujo vertical.

**Figura 17.**

*Humedales artificiales.*



**Nota.** Humedales artificiales. Tomado de: REMTAVARES, Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Mayo 2013, [En línea].

Disponible: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

### **3.5.3 Microalgas**

Este tratamiento implementa microalgas para la remoción de nutrientes y xenobióticos, junto con el uso de cianobacterias, como las *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella miniata*, *Chlorella vulgaris* y *Chlorella sorokiniana* quienes eliminan los metales pesados, amoníaco y fósforo [37].

## **3.6 Tecnologías de tratamiento de oxidación avanzada**

### **3.6.1 Ozonización**

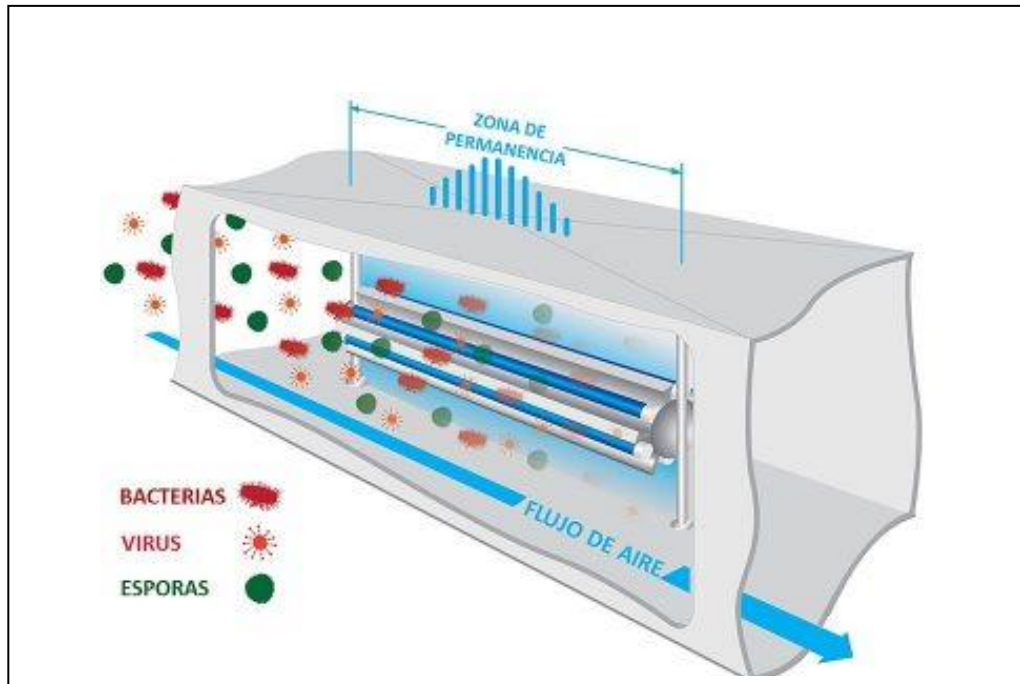
La ozonización es un proceso de oxidación avanzada (AOPS), la cual implica la generación de radicales hidroxilos para reaccionar con los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Las reacciones del ozono son muy selectivas, atacan dobles enlaces y algunos grupos funcionales; también teniendo reacciones indirectas por los radicales hidroxilos [37].

### **3.6.2 Radiación ultravioleta**

Su principio de funcionamiento se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético, para alterar la reproducción de patógenos. La radiación se usa a 253,7 nm, considerada la más activa. Es altamente efectiva en la eliminación de *Giardia* y *Cryptosporidium*. Se utilizan lámparas de alta, media y baja presión [40].

**Figura 18.**

*Radiación ultravioleta.*



*Nota.* Radiación ultravioleta. Tomado de: AGUA ULTRA LIGHT, [En línea]. Disponible: <https://aguaultralight.com/>

### **3.6.3 Fenton**

El proceso Fenton es cuando al agua residual se agrega un catalizador de sal ferrosa que es soluble en agua junto con peróxido de hidrogeno en medio ácido, para producir radicales hidroxilos, siendo este un agente altamente oxidante quien reacciona con gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos. Este método es de bajo costo y no conlleva peligros al medio ambiente [41].

## **3.7 Tecnologías de tratamiento de pulido**

### **3.7.1 Filtración en lecho granular**

La tecnología de filtración en medios granulares es una tecnología de bajo costo y eficiente para la reducción de los sólidos suspendidos que no se puedan sedimentar del efluente que se quiera tratar. El medio filtrante que contenga este filtro ha de ser escogido según el agua residual, teniendo en cuenta el área superficial efectiva y el tamaño de partícula [42].

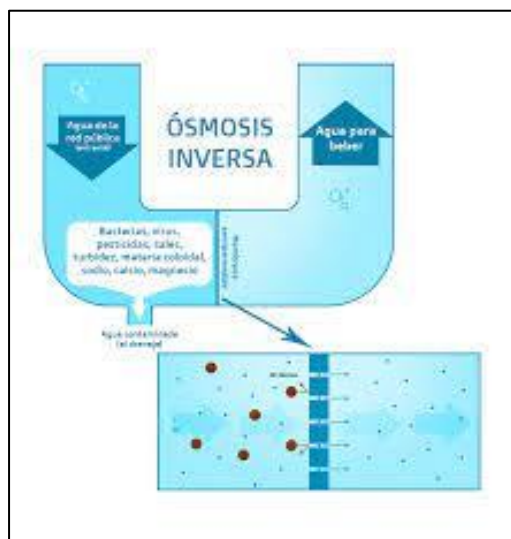


### 3.7.2 Ósmosis inversa

La membrana de proteínas retiene minerales, sales y bacterias, mientras que el agua puede fluir a través de ella hasta formar un equilibrio. Para obtener un mayor efluente tratado, se aplica presión en un lado de la membrana, la cual fuerza el agua a alejarse de la membrana en lugar de llegar a un equilibrio, esto se hace con la ayuda de una bomba [43].

Figura 19.

Ósmosis inversa.



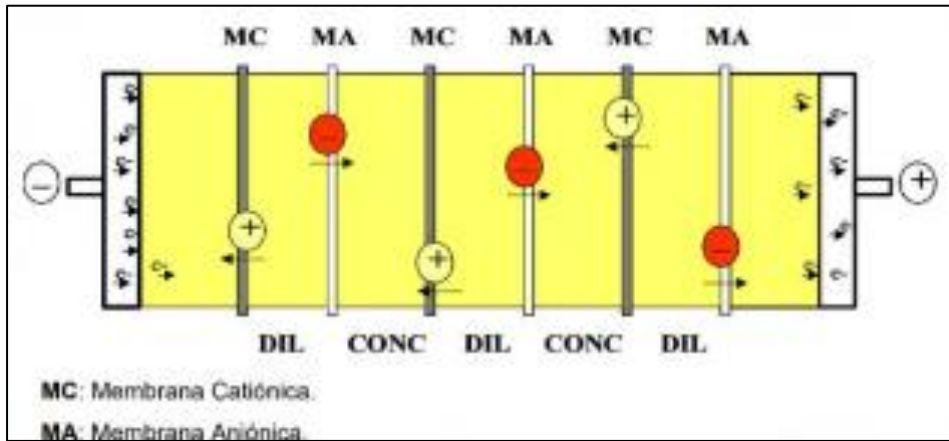
*Nota.* Ósmosis inversa. Tomado de: WATER STATION, septiembre 2020, [En línea]. Disponible: <https://waterstation.mx/>

### 3.7.3 Electrodesionización inversa

Este sistema busca separar las moléculas o iones con el uso de un campo eléctrico por medio de la diferencia de carga y velocidad de transporte a través de la membrana. En la celda se ubican membranas de intercambio catiónico y aniónico en medio de un ánodo y un cátodo. La remoción de los iones cargados es del 90% [37].

Figura 20.

*Electrodesionización inversa.*



**Nota.** Electrodesionización inversa. Tomado de: r. Guzman sierra, d. C. Arboleda lagos, j. F. Gutierrez sanchez, Aguas residuales. Colombia 2020. P.26, [En linea]. Disponible: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26571/VanegasLeonBrayanStiveNayibeAlexandraLopezMontoya2021.pdf?sequence=11&isAllowed=y>

## 4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

### 4.1 Caudal de diseño

El Caudal de diseño se establece a partir de las capacidades de operación de los equipos del CEPIIS y del laboratorio biológico. Para ello, se establecen dos escenarios. El primer escenario contempla el máximo caudal que se obtendría, en caso de que todos los equipos generen vertimiento en la plata de tratamiento. En este escenario también se contempla el aporte de la descarga del sistema de lavado de ojos. No se toma en cuenta el aporte de aguas lluvias, ya que, por ley, estas reciben un tratamiento diferente puesto que no se pueden mezclar con aguas industriales.

**Tabla 10.**

*Capacidad de los equipos del CEPIIS.*

Equipo	Volumen lleno (L)	Ciclos por día	Vertimiento neto (L/día)
Banco de Reactores	75	3	225
Columna Absorción	100	2	200
Columna Destilación	200	1	200
Extractor SL/LL	111	3	333
Secador	0	2	0
Tren Evaporación	108	12	300
Suma	594		1258

**Nota.** Capacidades de los equipos del CEPIIS.

**Tabla 11.**

*Caudales adicionales.*

Descargas adicionales	Caudal (L/día)
Laboratorio biológico	100
Descarga de lavado de ojos	4000
Caudal Total	4100

**Nota.** Caudales adicionales en el CEPIIS.

**Tabla 12.***Máximo caudal.*

Caudales	Caudal (L/día)
CEPIIS	1258
Adicional	4100
Total	5358
Medida de seguridad (10%)	536
Total	5894 L/día
	6 m <sup>3</sup> /día

**Nota.** Caudal máximo a tratar en la PTAR.

El segundo escenario contempla la operación normal. Se estima un caudal de 1m<sup>3</sup>/d, este caudal se estima debido a que está condicionado por la capacidad de la trampa de grasas que ya está preestablecida. En el caso que se presente el primer escenario, se contempla realizar un bypass, puesto que se supera la capacidad de operación.

#### **4.2 Consideraciones del balance de masa.**

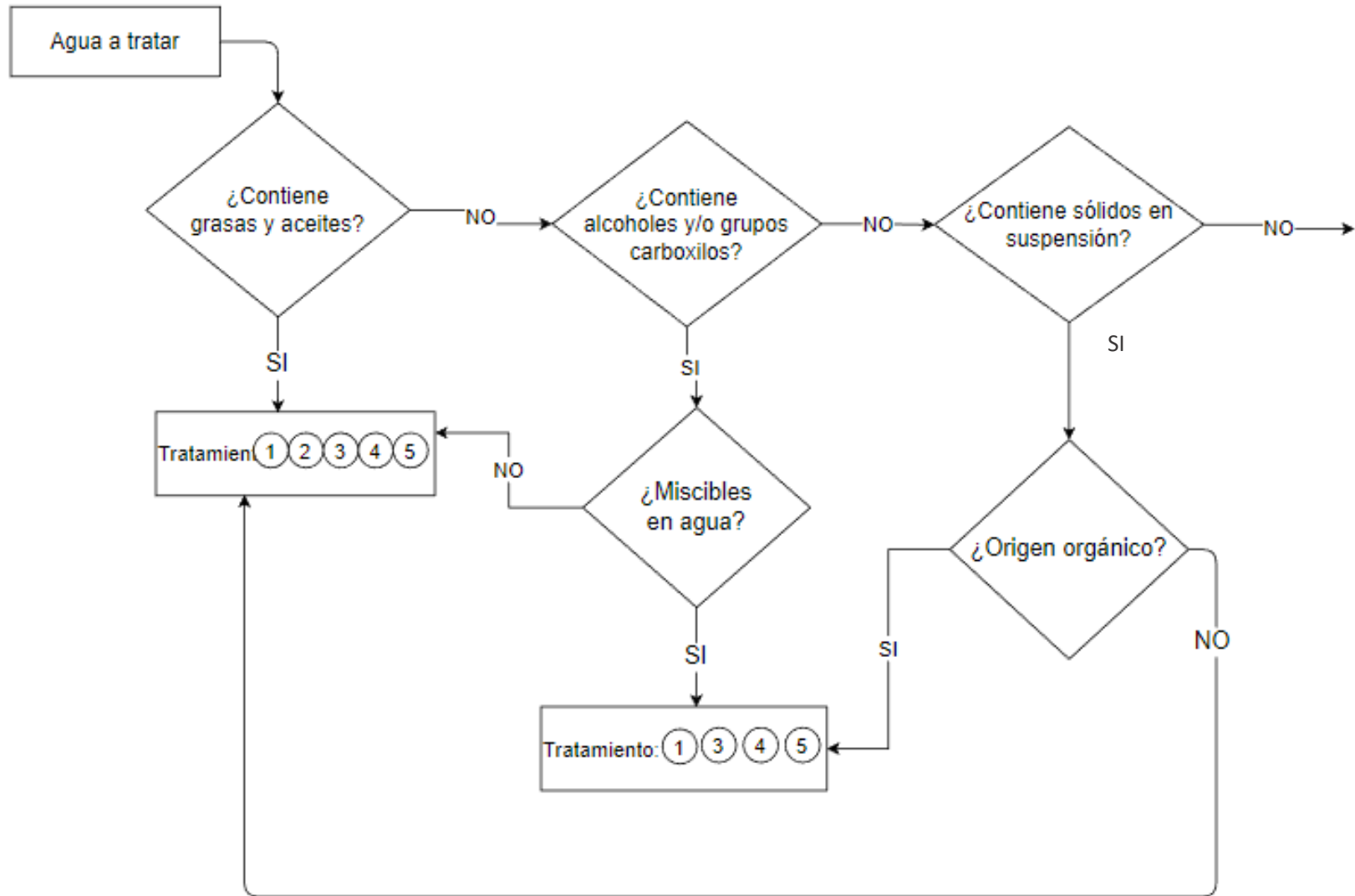
- La calidad del agua oscila dependiendo de la fuente; por lo tanto, el tipo de tratamiento requerido también tendrá requerimientos diferentes. Dependiendo de la calidad del agua, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica requiere un estudio basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida. Como no existe una norma general que permita determinar el tipo de planta requerido para tratar un agua, es necesario realizar los estudios de tratabilidad. [44]
- La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales o de una secuencia de procesos depende de una serie de factores: (1) las características de las aguas residuales, por ejemplo, DBO, el porcentaje de sólidos en suspensión, pH, la presencia de materias tóxicas; (2) la calidad requerida del efluente; (3) el coste y la disponibilidad de terrenos, por ejemplo Algunos procesos biológicos (lagunas de estabilización) sólo son económicamente viables si se dispone de terrenos de bajo coste; y (4) la consideración de una posible mejora futura de las normas de calidad del agua, lo que requeriría el diseño de un tipo de tratamiento más sofisticado para su uso futuro. [8] [44]

- Para seleccionar las etapas de tratamiento se desarrolla un diagrama de decisión en donde se agrupan por naturaleza química las sustancias que se van a utilizar en el CEPIIS. El primer grupo de sustancias son grasas y aceites, si el agua los contiene, se propone un tratamiento 1-2-3-4-5, donde (1) corresponde a un pretratamiento; (2) a un tratamiento fisicoquímico; (3) un tratamiento biológico, (4) un tratamiento terciario o de pulido y (5) un deshidratador de lodos. En el paso (2) Se plantea un condicional el cual indica que, si el DQO es menor o igual a los límites permisibles [45] , se propone que no requiera un tratamiento biológico, si no que pase directamente a un tratamiento terciario. Este condicional también se requiere al final del tratamiento de pulido o terciario, ya que es posible que la DQO incremente.

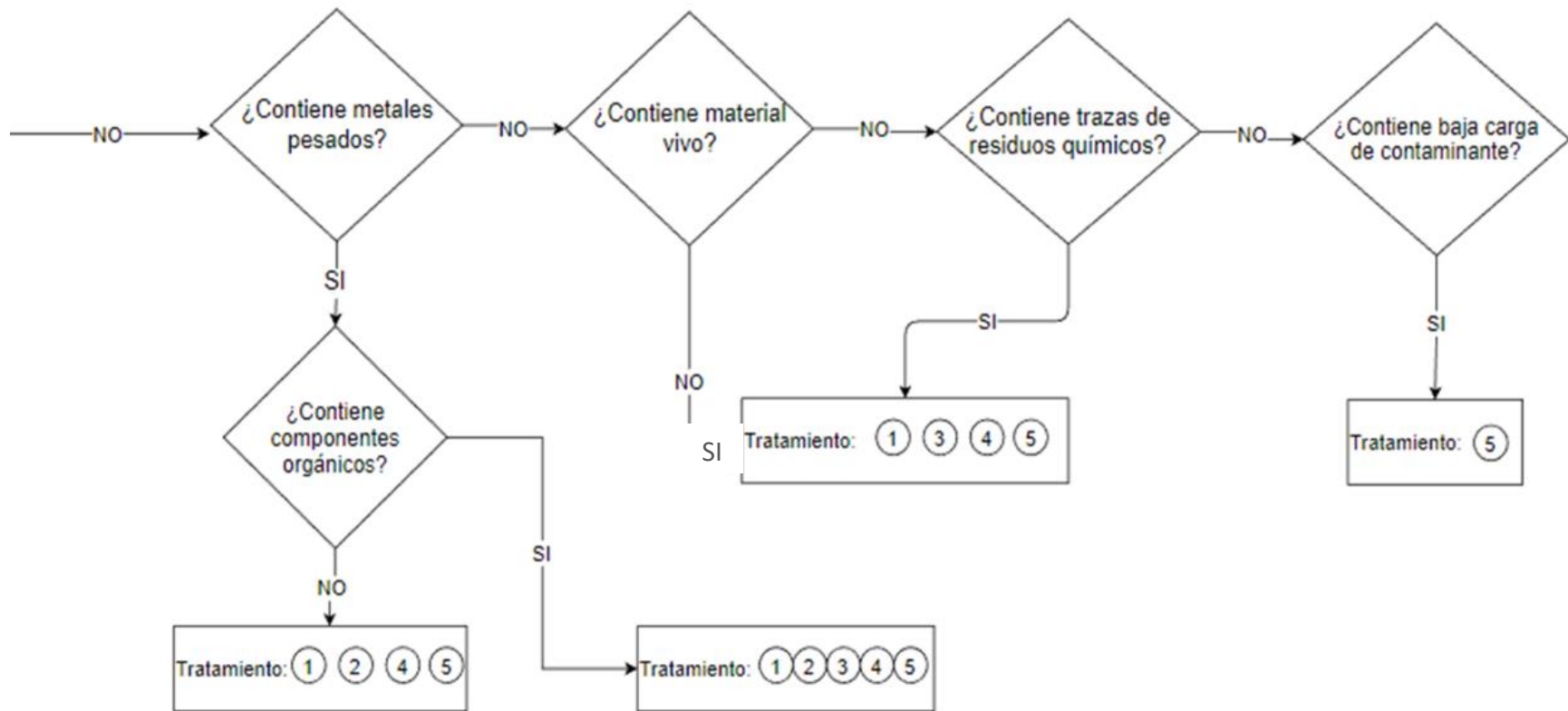
En caso de que el agua no contenga grasas y aceites, pero tenga alcoholes y/o grupos carboxilos, miscibles en agua, se propone el tratamiento anteriormente descrito. En caso de que no sean miscibles, se propone un pretratamiento, un tratamiento biológico, un tratamiento terciario y un deshidratador de lodos. En caso de que el agua no contenga ninguna de las sustancias anteriormente mencionadas, pero contenga sólidos en suspensión, pero no de origen orgánico, se plantea el primer tratamiento descrito, en caso de que sean de origen orgánico, se plantea un escenario sin el tratamiento fisicoquímico, puesto que los químicos no tienen mayor efecto sobre estas sustancias. En caso de que el agua contenga metales pesados de composición orgánica se sugiere el primer tratamiento descrito, en caso de que no los contenga, se presenta un secuenciamiento sin el tratamiento secundario. En caso de contener material vivo o trazas de sustancias químicas se plantea un secuenciamiento sin tratamiento fisicoquímico y en caso de solo contener una baja carga contaminante, solo se establece el deshidratador de lodos.

Figura 21.

Selección del tratamiento por naturaleza de sustancias.



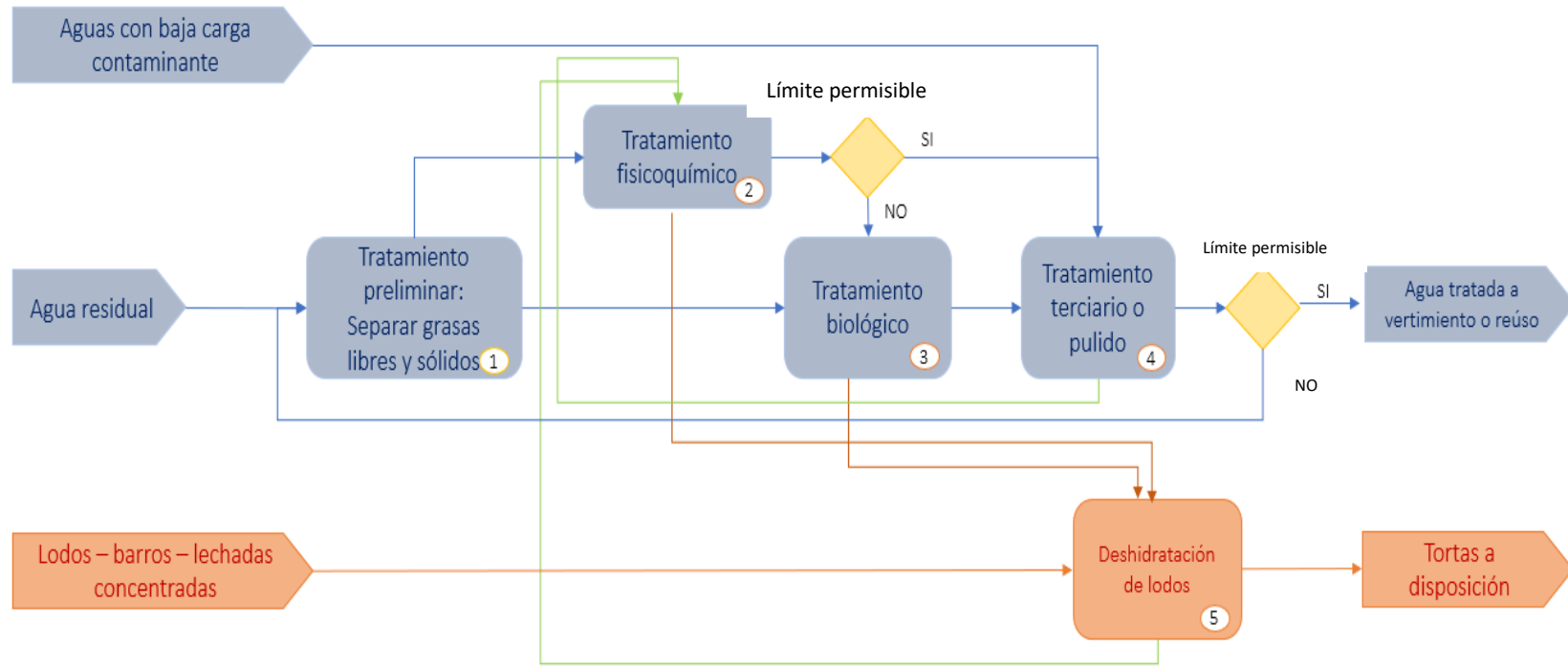
Continuación diagrama de selección del tratamiento por naturaleza de sustancias



**Nota.** Diagrama de selección del tratamiento según la naturaleza del agua a tratar.

**Figura 22.**

*Etapas de tratamiento de la planta.*



**Nota.** Etapas de tratamiento del agua residual del CEPIIS.



### 4.3 Balance de masa por equipo y del laboratorio del centro de procesos para su recepción a la PTAR

Con referencia a una de las consideraciones de diseño, al no tener una caracterización real del agua a tratar, se recopila información de una planta con un funcionamiento similar. Para lo descrito anteriormente, se busca información de tres industrias: refinación de aceites, elaboración de jabones, producción de cerveza, producción de zumo de manzana y producción de lácteos.

**Tabla 13.**

*Caracterización del efluente de refinación de aceites.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	278.000
DBO (mg/L)	62.000
Grasas y aceites (mg/L)	102.000
SST (mg/L)	86.000

*Nota.* Los valores de los parámetros evaluados en el efluente corresponden a la toma de muestras al momento de estabilización del tratamiento en la planta de tratamiento de aguas residuales de la refinación de aceites en Saceites S.A, ubicada en Bucaramanga.

**Tabla 14.***Caracterización del efluente de aceite de palma.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	47.000
DBO (mg/L)	23.000
Grasas y aceites (mg/L)	4.000
SST (mg/L)	5.000

*Nota.* Parámetros evaluados en el efluente de las aguas residuales de aceite de palma. Tomado de Loan.W, Azrrai. M, & Muda. Khalida, “Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review.” 2015. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714005064>.

**Tabla 15.***Caracterización del efluente de aguas de producción de jabón.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	4.378
DBO (mg/L)	5.236
Grasas y aceites (mg/L)	385
SST (mg/L)	160

*Nota.* Parámetros evaluados en el efluente de las aguas residuales de la empresa AZULK S.A. Tomado de Herrera. L. “Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Azulk S.A.” 2019. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7386/1/6112801-2019-1-IQ.pdf>

01-2019-1-IQ.pdf

**Tabla 16.**

*Caracterización del efluente de aguas de producción de cerveza.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	6.000
DBO (mg/L)	3.600
Grasas y aceites (mg/L)	NR
SST (mg/L)	3.000

*Nota.* Parámetros evaluados en el efluente de las aguas residuales de la producción de cerveza. Tomado de Simnate. G, Cluett. J & Iyuke. S

“The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art”

Johannesburg, 2011. Disponible:

[https://www.researchgate.net/publication/221964511\\_The\\_treatment\\_of\\_brewery\\_wastewater\\_for\\_reuse\\_State\\_of\\_the\\_art](https://www.researchgate.net/publication/221964511_The_treatment_of_brewery_wastewater_for_reuse_State_of_the_art)

**Tabla 17.**

*Caracterización del efluente de aguas de producción de zumo de manzana.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	5.500
DBO (mg/L)	2.500
SST (mg/L)	440

*Nota.* Parámetros evaluados en el efluente de las aguas residuales de la producción de zumo de manzana. Tomado de González. A, “Tratamiento de aguas residuales en la industria del zumo de manzana”, 2012.

Disponible :

[https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/3994/TFM\\_Llan\\_ezaGonzalez.pdf;jsessionid=819D21B489709BA3C099DF0DE27AEDA0?sequence=3](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/3994/TFM_Llan_ezaGonzalez.pdf;jsessionid=819D21B489709BA3C099DF0DE27AEDA0?sequence=3)

**Tabla 18.***Caracterización del efluente de aguas de producción de lácteos.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
DQO (mg/L)	6.000
DBO (mg/L)	3.000
Grasas y aceites (mg/L)	619
SST (mg/L)	920

*Nota.* Parámetros evaluados en el efluente de las aguas residuales de la empresa de lácteos. Tomado de Bravo. D & Henao. Z, “Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma, municipio Cajicá”, 2016. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/584/1/6092263-2016-2-IQ.pdf>

De las industrias anteriormente mencionadas, se tabulan los resultados que se obtuvieron en sus respectivos balances de masa con el fin de correlacionar porcentajes de remoción por etapa.

**Tabla 19.***Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la refinación de aceites.*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO SECUNDARIO			TRATAMIENTO TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
DQO	278.000	194.600	30%	194.600	778	99.6%	778	78	90%	78	58	25%
DBO	62.000	43.400	30%	43.400	477	98.9%	477	48	90%	48	29	40%
G y A.	102.000	10.200	90%	10.200	6.12	99.9%	6.12	6	0%	6	6	0%
SST	86.000	34.400	60%	34.400	34	99.9%	34	5	85%	5	2	70%

*Nota.* Balance de masa de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de la refinación de aceite de palma de la planta Saceites S.A, ubicada en Bucaramanga.

**Tabla 20.**

*Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de jabón*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO			TRATAMIENTO			TRATAMIENTO		
				PRIMARIO			SECUNDARIO			TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
DQO	4.378	3.987	9%	3.987	2.036	49%	2.036	378	81%	378	251	34%
DBO	5.236	5.118	2%	5.118	2.221	57%	2.221	157	93%	157	138	12%
Grasas y aceites	385	376	2%	376	291	23%	291	276	5%	276	269	3%
SST	160	149	7%	149	116	22%	116	56	52%	56	24	57%

**Nota.** Balance de masa del tratamiento de aguas residuales de la empresa AZULK S.A. Tomado de Herrera. L. “Desarrollo de una propuesta de mejora para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Azulk S.A.” 2019. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7386/1/6112801-2019-1-IQ.pdf>

**Tabla 21.**

*Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de cerveza.*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO			TRATAMIENTO			TRATAMIENTO		
				PRIMARIO			SECUNDARIO			TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
DQO	6.000	6000	0%	6000	4500	25%	4500	225	95%	225	2.25	99%
DBO	3.600	3600	0%	3600	2520	30%	2520	252	90%	252	12.6	95%
SST	3.000	1500	50%	1500	675	55%	675	20.25	97%	20.25	0.405	98%

**Nota.** Balance de masa del tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de cerveza. Tomado de Simnate. G, Cluett. J & Iyuke. S “The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art” Johannesburg, 2011. Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/221964511\\_The\\_treatment\\_of\\_brewery\\_wastewater\\_for\\_reuse\\_State\\_of\\_the\\_art](https://www.researchgate.net/publication/221964511_The_treatment_of_brewery_wastewater_for_reuse_State_of_the_art)

**Tabla 22.**

*Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la producción de zumo de manzana.*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO SECUNDARIO			TRATAMIENTO TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
	DQO	5500	3850	30%	3850	46.2	98.8%	46.2	11.6	74.9%	5500	3850
DBO	2500	1750	30%	1750	21	98.8%	21	4.2	80%	2500	1750	30%
SST	440	132	70%	132	10.56	92%	10.56	4	62.1%	440	132	70%

**Nota.** Balance de masa del tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de zumo de manzana. Tomado de González. A, “Tratamiento de aguas residuales en la industria del zumo de manzana”, 2012. Disponible : [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/3994/TFM\\_LlanezaGonzalez.pdf;jsessionid=819D21B489709BA3C099DF0DE27AEDA0?sequence=3](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/3994/TFM_LlanezaGonzalez.pdf;jsessionid=819D21B489709BA3C099DF0DE27AEDA0?sequence=3)

**Tabla 23.**

*Balance de masa del tratamiento del efluente de aguas residuales provenientes de la industria láctea.*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO SECUNDARIO			TRATAMIENTO TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
	DQO	6000	5973	0.5%	5973	2040	65.8%	2040	300	85.3%	364	218.4
DBO	3094	3080	0.5%	3080	1432	53.5%	1432	187	86.9%	187	149.6	20%
G y A	619	200	67.7%	200	40	80%	50	49	2%	49	49	0%
SST	3.533	3.512	0.6%	3.512	386	89.9%	386	7.72	98%	7.72	2.3	70%

**Nota.** Balance de masa del tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. Tomado de Bravo. D & Henao. Z, “Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales de lácteos Levelma, municipio Cajicá”, 2016. Disponible: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/584/1/6092263-2016-2-IQ.pdf>. Complementado con información tomada de Chacón J & Ramírez. L. “Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales para empresa de lácteos, a partir de la simulación del software GPS-X”, 2020. Disponible: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25826/1/Informe%20final%20-%20Propuesta%20de%20planta%20de%20tratamiento>.

Para el balance de masa del tratamiento propuesto, se considera la información recopilada de la tratabilidad de aguas residuales de diferentes industrias; cada una con una caracterización diferente debido a los tipos de contaminantes presentes. Como el tratamiento del agua depende de la caracterización inicial, es importante tener un punto de partida que, aunque no describa en su totalidad el tipo de agua como el del efluente del CEPIIS, sí obligue a tener un tratamiento más riguroso. En las tablas 13 hasta la 18, se tabulan las concentraciones iniciales de las aguas provenientes de la industria de refinación de aceite, producción de jabones, producción de cerveza, producción de zumo de manzana y producción de lácteos. Las últimas cuatro industrias tienen concentraciones iniciales muy similares; la DQO está entre 4.378 y 6.000 mg/L, mientras que la concentración de DQO de la refinación de aceite es de 47.000 mg/L ; la DBO está entre 2.500 y 5.200 mg/L, mientras que la concentración de DBO de la refinación de aceite es de 23.000 mg/L; las grasas y aceites están entre 385 y 619 mg/L (las aguas efluentes de la producción de zumo de manzana y de cerveza, no registran este parámetro), mientras que la concentración de aceites y grasas de la refinación de aceite es de 4.000 mg/L; y los sólidos suspendidos totales están entre 160 y 3.500 mg/L, mientras que la concentración de sólidos suspendidos totales de la refinación de aceite es de 5.00 mg/L.

Cabe mencionar que las aguas provenientes de la producción de cervezas y la de producción de zumo de manzana, son aguas que contienen azúcares disueltos, muy solubles, y que en su mayor parte están constituidas por carga orgánica, por ende, el tratamiento de coagulación y floculación no es requerido; como si es requerido en la producción de lácteos, aceites y jabones, ya que sus efluentes contienen coloides, gomas y grasas; y adicionalmente, para su procesamiento requieren todas las etapas de tratabilidad.

Por lo descrito anteriormente, el punto de partida escogido son de las concentraciones iniciales que describen el efluente de las aguas provenientes de aceite de palma, puesto que éstas representan un reto mayor en su tratamiento, debido a sus altas cargas contaminantes, permitiendo garantizar que no exista ningún tipo de limitaciones al realizar los proyectos propuestos por la universidad.

Los porcentajes de remoción son resultado de la recopilación de las industrias anteriormente descritas y se validan con datos teóricos de las diferentes fuentes bibliográficas. Cada industria requiere operaciones diferentes por etapa de tratamiento, esto debido a la característica inicial del

agua, por lo tanto, los porcentajes de remoción van a variar con respecto a otras industrias, e inclusive, a la misma industria puesto que se pueden utilizar diferentes técnicas de tratamiento. Lo anterior, también va a depender de las dosificaciones y el tipo de productos a adicionar.

Para el tratamiento propuesto, los porcentajes de remoción son los siguientes: para el pretratamiento son: 5% DQO, 5% DBO, 90% de grasas y aceites, 30% SST; para el tratamiento primario son: 89% DQO, 89% DBO, 99% de grasas y aceites, 96% SST; para el tratamiento secundario son: 97% DQO, 97% DBO, 0% de grasas y aceites, 90% SST; y para el tratamiento terciario son: 30% DQO, 40% DBO, 0% de grasas y aceites, 80% SST. Los porcentajes estimados son relacionados con los obtenidos en la planta de tratamientos de aguas provenientes de la refinación de aceite de palma de la empresa Saceites, ubicada en la ciudad de Bucaramanga; también se relacionaron los obtenidos en el paper “ Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review.” [46],y en el libro de Metcalf & Eddy “Wastewater Engineering Treatment and Reuse”. [47]

**Tabla 24.**

*Balance de masa propuesto para el tratamiento de las aguas provenientes del CEPIIS.*

Parámetros (mg/L)	PRETRATAMIENTO			TRATAMIENTO PRIMARIO			TRATAMIENTO SECUNDARIO			TRATAMIENTO TERCIARIO		
	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem	Entrada	Salida	%rem
DQO	47.00 0	44.65 0	5%	44.65 0	4.91 2	89.0%	4.912	147	97%	147	103	30%
DBO	23.00 0	21.85 0	5%	21.85 0	2.40 4	89.0%	2.404	72	97%	72	43	40%
G y A	4.000	400	90%	400	4	99.00 %	4	4	0%	4	4	0%
SST	5.000	3.500	30%	3.500	140	96.0%	140	14	90%	14	2.8	80%

*Nota:* Balance de masa del tratamiento de las aguas residuales del CEPIIS. Datos de concentración de entrada tomados de Loan.W, Azrrai. M, & Muda. Khalida, “Conventional methods and emerging wastewater polishing technologies for palm oil mill effluent treatment: A review.” 2015. Disponible:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714005064>. Datos de remoción tomados de Mohammad.

S, Baidurah. S, Kobayashi. T “Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review”, 2021. Disponible:

<https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/739/htm>. Datos de remoción teóricos tomados de: Metcalf & Eddy,

Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003.



Las concentraciones de salida cumplen con la normatividad del artículo N° 15 de la resolución 0631 de 2015 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

**Tabla 25.**

*Comparación del agua tratada con la normatividad.*

Parámetro	Agua tratada	Normatividad	Cumplimiento
DQO	103	150	Cumple
DBO	43	50	Cumple
Grasas y aceites	4	50	Cumple
SST	2.8	10	Cumple

**Nota.** Comparación entre los valores del agua tratada y los límites permisibles según normatividad.

## 5. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA

### 5.1 Consideraciones generales de diseño

El principal objetivo del diseño de una planta de tratamiento de agua es el de integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones garantizando el manejo eficiente del caudal de diseño y, por ende, satisfacer los requerimientos de calidad del agua. Por lo tanto, la planta de tratamiento debe asegurar la máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentación indispensables [48]

En general se recomienda tener en cuenta, entre otros, los siguientes preceptos de diseño:

- Al existir diferentes caracterizaciones de aguas por los múltiples escenarios a tratar, se debe realizar un ensayo de jarras previo, ya que de esto depende el tipo de tratamiento, la calidad de agua obtenida y la vida útil de la planta
- En el caso de esta propuesta, al no tener información real de la calidad del agua, se recopila información de plantas de tratamientos con un enfoque similar.
- Se debe realizar una caracterización del agua para determinar el tratamiento adecuado. Por disponibilidad de información se asumieron
- Para el desarrollo de la planta se tuvo en cuenta la normatividad vigente registrada en el artículo N° 15 de la resolución 0631 de 2015 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [45].
- Se selecciona un factor de seguridad del 10% de la capacidad de diseño de la planta.
- Se tienen en cuenta cuatro escenarios. Escenario 1: debido a los protocolos de seguridad de la planta y la restricción a las emisiones que tiene la universidad, todo residuo que se emita en los procesos de cada una de las unidades de la planta, van a hacer recolectados en bidones que van a pasar al sistema de Respel y posteriormente a un sistema de eliminación por un privado. La planta normalmente va a estar apagada. Escenario 2: se presenta un derrame intencional o un derrame accidental de una de las unidades. Si este contenido es de alto riesgo, se procede a hacer contención y absorción en sitio, este debe ser lavado y diluido en la zona del derrame, lo anterior tendrá como resultado un agente contaminante, el cual llega a la planta de tratamiento. Escenario 3: por prácticas académicas se contamina el tanque con una mezcla de componentes que se quieren eliminar en una planta de tratamiento, se libera intencionalmente al cárcamo y se

dirige a la trampa de grasas. Escenario 4: accidentalmente todo colapsa; el material que se libere y se dirija a la planta va a estar muy por encima de la capacidad de operación, por lo tanto, se realiza el mismo procedimiento de una planta de tratamiento de ciudad la cual realiza un bypass del sistema.

- La localización de la planta está condicionada por el espacio, por ende, se buscan alternativas para cumplir con el secuenciamiento propuesto. El espacio estipulado por el CEPIIS es de: largo (2.7m), ancho (1.5m) y alto (2.3m)
- La máxima temperatura de operación es de 30°C y la mínima es de 18°C. El caudal se estipula como 6m<sup>3</sup>/día o 0,25 m<sup>3</sup>/hora.
- No se tiene en cuenta un tanque de homogenización ya que la trampa de grasas tiene tres secciones: la primera es de llegada, la segunda es de separación y la tercera es la cámara de bombeo. La capacidad de la cámara de bombeo permite realizar la homogenización de 1 m<sup>3</sup> puesto que el proceso es tipo batch, no se va a tener un proceso continuo.
- Se tiene como objetivo seguir principios de sostenibilidad, por ende, se propone un reactor aerobio, ya que éste puede ser operado por lotes, a diferencia del reactor anaerobio que tiene una operación continua; adicionalmente, requieren un alto costo de inversión por elementos de instrumentación y control ; y para las condiciones de operaciones propuestas es un sistema de tratamiento más eficiente. Por otra parte, se propone una etapa de desinfección ya que se quiere prevenir enfermedades causadas por microorganismos provenientes del reactor y por último, se plantea una configuración eficiente que permita cumplir con los requerimientos normativos y que igualmente repercute en reducción de costos.

## **5.2 Secuenciamiento de operaciones y equipos.**

### **5.2.1 Pretratamiento**

5.2.1.a Rejilla. El objetivo de los cribados es eliminar los objetos grandes que pueden dañar los equipos, bloquear las válvulas, las boquillas, los canales, las tuberías y accesorios. Esto crea graves problemas de funcionamiento y mantenimiento de la planta. [47]

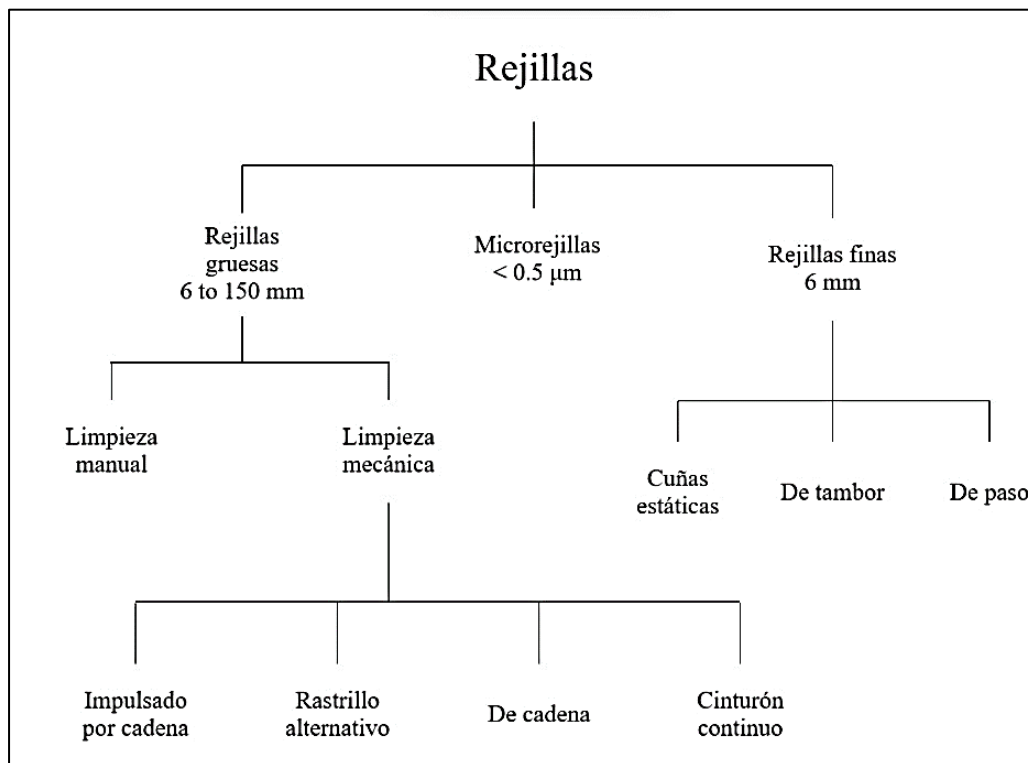
En el tratamiento preliminar de las aguas residuales se utilizan dos tipos generales de tamices, los gruesos y los finos. Los tamices gruesos tienen aberturas libres que van de 6 a 150 mm (0,25 a 6 pulgadas); los tamices finos tienen aberturas libres inferiores a 6 mm (0,25 pulgadas). Los

microtamices, que suelen tener aberturas inferiores a 50  $\mu\text{m}$ , se utilizan principalmente para eliminar los sólidos finos de los efluentes tratados. [47]

El elemento de cribado puede consistir en barras paralelas, varillas o alambres, rejilla, malla metálica o placa perforada, y las aberturas pueden tener cualquier forma, pero generalmente son ranuras circulares o rectangulares.

**Figura 23.**

*Tipos de rejillas usadas en el tratamiento de aguas.*



**Nota.** Tipo de rejillas. Tomado de: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003.

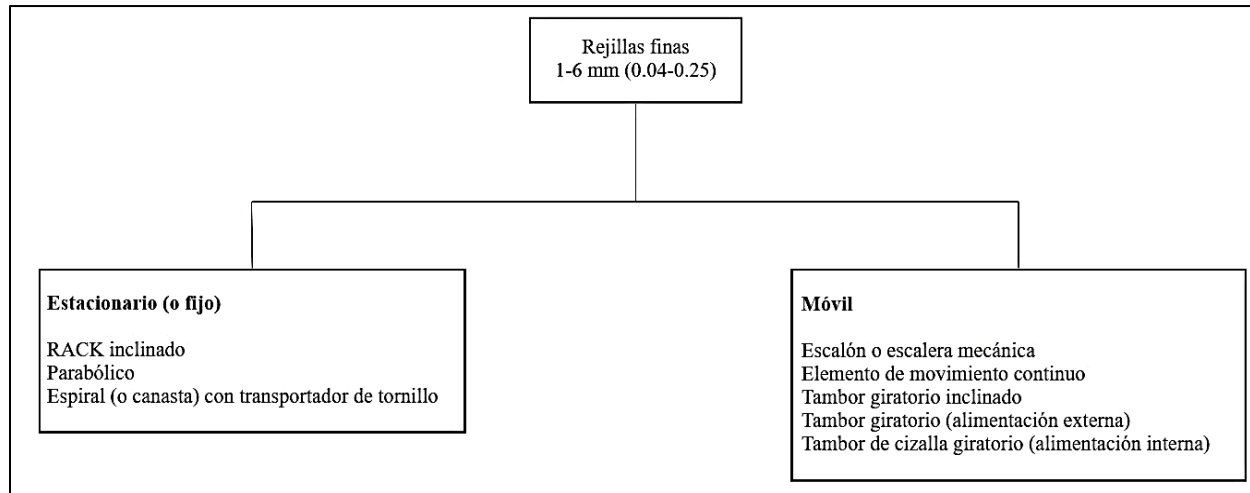
Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

[Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.p](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)  
df

Se consideran emplear rejillas finas por la calidad de agua a tratar. En general estos tamices finos pueden clasificarse en: tipos de rejillas fijos y móviles.

**Figura 24.**

*Clasificación de rejillas finas.*



*Nota.* Clasificación de rejillas fijas. Tomado de: Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Hong Kong, 2003.

Disponibile: [https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Metcalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Metcalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

- Rejillas fijas: Estas cribas se utilizan normalmente en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales. Las barras rectangulares o en forma de cuña y placas perforadas son los materiales más utilizados para las cribas finas estáticas. Hay tres tipos básicos de tipos básicos de cribas finas estáticas: de rejilla inclinada, parabólica o transportador de tornillo en espiral (o cesta)
- Rejillas móviles: Estas cribas finas se utilizan ampliamente en plantas medianas y grandes plantas. Estas cribas se limpian mecánicamente.

**Tabla 26.**

*Consideraciones de diseño de la rejilla*

Parámetro	Valor
Tipo de rejilla	Fina
Espacio entre barras	1-6mm

Clasificación	Fija
Tipo	Inclinada
Tipo de limpieza	Manual
Ángulo	45°

*Nota.* Consideraciones de diseño de rejilla para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003.

5.2.1.b Trampa de grasas. El propósito es interceptar y recoger la grasa de las aguas residuales que pasas por la planta de tratamiento, evitando así la deposición de grasa que obstruye las tuberías en el sistema de drenaje y asegurando el libre flujo en todo momento. [49]

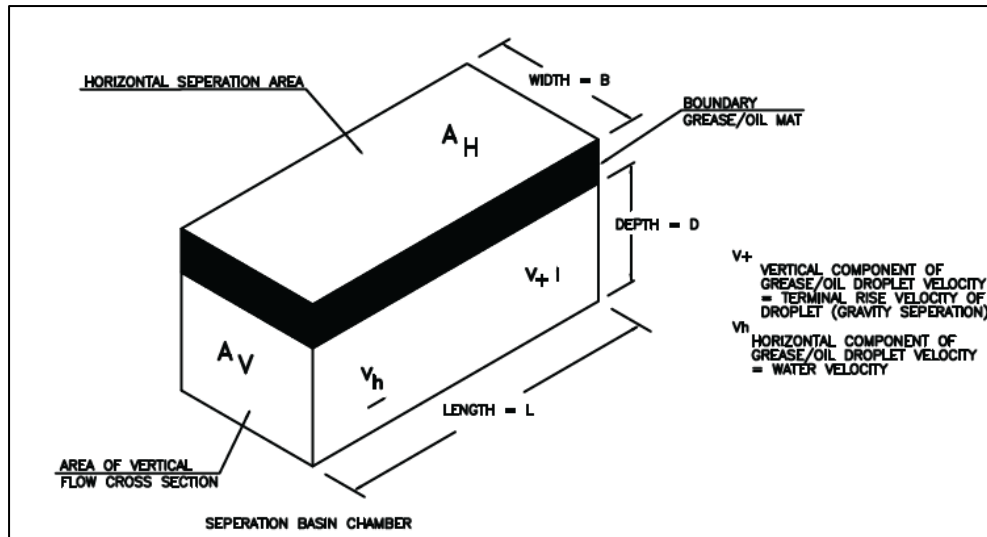
5.2.1.b.i Principios de funcionamiento. La mayoría de los interceptores de grasa disponibles actualmente funcionan según el principio de separación por flotación sola (GGI) o por fuerzas mecánicas fluidas junto con la flotación (HGI).

El rendimiento del sistema depende de la diferencia entre el peso específico del agua y el de la grasa. Si la gravedad específica de la grasa se acerca a la del agua del agua, los glóbulos subirán lentamente. Si la diferencia de densidad entre la grasa y el agua es mayor, la velocidad de separación será más rápida. [49]

Dado que la velocidad de ascenso de los glóbulos de grasa es inversamente proporcional la viscosidad del agua residual, la velocidad de separación será más rápida cuando el fluido portador sea menos viscoso y viceversa. Los glóbulos de grasa se elevan más lentamente a bajas temperaturas y más rápidamente a temperaturas más altas. La grasa, especialmente cuando está caliente o tibia, tiene menos resistencia, es más ligera que el agua y no se mezcla bien con el agua. [49]

Figura 25.

Sección transversal de una trampa de grasas.



**Nota.** Sección transversal de una trampa de grasas. Tomada de: American Society of Plumbing Engineers, Grace Interceptor. EEUU, 2013. Disponible:

<https://www.aspe.org/pipeline/csa-group-provides-testing-and-certification-services-for-grease-interceptors-and-grds/>

La separación por gravedad permite eliminar las partículas que presentan densidades diferentes a las de su fluido portador. La separación se lleva a cabo reteniendo la corriente de flujo durante un tiempo suficiente para permitir que las partículas se separen. El tiempo de separación o de retención (T) es el tiempo teórico que el agua permanece en la trampa. Una trampa debe diseñarse de forma que, incluso si el glóbulo de grasa/aceite entra en la cámara en el peor lugar posible (en el fondo), haya tiempo suficiente para que el glóbulo suba la distancia necesaria para su captura (véase la figura 23). Si la velocidad de ascenso del glóbulo de grasa/aceite ( $V_t$ ) supera el tiempo de retención necesario para la separación, la cuenca experimentará un paso o un cortocircuito. El tiempo de retención puede expresarse como:

**Ecuación 1. tiempo de retención**

$$T = \frac{\text{área} * 24}{60} \quad (1)$$

### **Ecuación 2. Área de flotación**

$$\text{área} = \frac{Vt \left(\frac{m}{h}\right)}{\text{Caudal} \left(\frac{m^3}{h}\right)} \quad (2)$$

*Nota.* Ecuaciones de tiempo de retención y área de flotación. Tomada de: American Society of Plumbing Engineers, Grace Interceptor. EEUU, 2013. Disponible: <https://www.aspe.org/pipeline/csa-group-provides-testing-and-certification-services-for-grease-interceptors-and-grds/>

Como se ha señalado anteriormente, las partículas que suben a la superficie de un líquido se dice que poseen tasas de ascenso, mientras que las partículas que se depositan en el fondo exhiben tasas de sedimentación. Ambos tipos obedecen a la ley de Stokes, que establece las velocidades terminales teóricas de las partículas que ascienden y/o se asientan. [49]

Con un valor de 0,015 centímetros para el diámetro (D) del glóbulo, la velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite en las aguas residuales puede ser expresarse en pies por minuto como:

### **Ecuación 3. Velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite.**

$$Vt = \frac{0,0241(Sw - So)}{u} \quad (3)$$

Donde:

Vt: velocidad de ascenso de los glóbulos de aceite (ft/min)

Sw: Gravedad específica del agua residual a temperatura de diseño (30°C)

So: Gravedad específica del aceite en el agua residual a temperatura de diseño (30°C)

u: Viscosidad absoluta del agua a la temperatura de diseño (Pois)

Para el dimensionamiento de la trampa de grasas, se consideran los siguientes criterios [50]:

- Se considera una relación largo- ancho de 2:1 a 3:2
- Se considera que la profundidad debe ser mayor o igual a 0,40 m
- Se propone que el ingreso a la planta se utilice un codo de 90°, con un diámetro mínimo de 75 mm. La salida será por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm.



- La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido.
- La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida se considera que no debe ser menor a 0,05 m.
- La parte inferior de la tubería de salida debe ser considerada mayor de 0,075 m y 0,15 m del fondo.
- El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa se considera que debe ser mayor o igual a 0,30 m.
- La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa

**Tabla 27.**

*Consideraciones de diseño de la trampa de grasas*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Área flotación (m <sup>2</sup> )	0,276
Largo (m)	0,7376
Ancho (m)	0,3741
Profundidad (m)	0,4
Tiempo retención (h)	0,11
Borde libre (m)	0,3

Nota. Consideraciones de diseño de la trampa de grasas para la PTAR de la universidad de América, basado en Romero, J, “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

### **5.2.2 Neutralización**

Todas las aguas residuales tratadas con un pH excesivamente bajo o alto, requerirán una neutralización antes de poder ser tratadas. [47]

Dado que hay una serie de productos químicos que pueden utilizarse, la elección dependerá de la idoneidad de este para una aplicación concreta y de su costo. En la Tabla 34. se indica información general sobre los productos químicos más utilizados para ajustar el pH. Las aguas residuales que son ácidas pueden neutralizarse con cualquier número de productos químicos básicos indicados en la Tabla 34. En el tratamiento se selección el hidróxido de sodio como agente modificador de acidez, por su eficiencia, por su solubilidad y porque se requiere un menor porcentaje de volumen [51] . Para ajustar pH se escoge ácido sulfúrico por disponibilidad, eficiencia y beneficios, como eliminación de partículas sólidas, control de olores y costo.

**Tabla 28.**

*Agentes reguladores de pH*

Chemical	Formula	Molecular weight	Equivalent weight	Availability	
				Form	Percent
<b>Chemicals used to raise pH</b>					
Calcium carbonate	CaCO <sub>3</sub>	100,0	50,0	Powder granules	96 to 99
Calcium hydroxide (lime)	Ca(OH) <sub>2</sub>	74,1	37,1	Powder granules	82 to 95
Calcium oxide	CaO	56,1	28,0	Lump, pebble, ground	90 to 98
Dolomitic hydrated lime	(Ca(OH) <sub>2</sub> ) <sub>0,6</sub> (Mg(OH) <sub>2</sub> ) <sub>0,4</sub>	67,8	33,8	Powder	58 to 65
Dolomitic quicklime	(CaO) <sub>0,6</sub> (MgO) <sub>0,4</sub>	49,8	24,8	Lump, Pebble, ground	55-58 CaO
Magnesium hydroxide	Mg(OH) <sub>2</sub>	58,3	29,2	Powder	
Magnesium oxide	MgO	40,3	20,2	Powder, granules	99
Sodium bicarbonate	NaHCO <sub>3</sub>	84,0	84,0	Powder, granules	99

Sodium carbonate (soda ash)	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106,0	53,0	Powder	99,2
Sodium hydroxide (caustic soda)	NaOH	40,0	40,0	Solid flake, ground flake, liquid	98
<b>Chemicals used to lower pH</b>					
Carbonic acid	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	62,0	31,0	Gas (CO <sub>2</sub> )	
Hydrochloric acid	HCl	36,5	36,5	Liquid	27,9/31,45/35,2
Sulfuric acid	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,1	49,0	Liquid	77,7 (60°Be) 93,2 (66°Be)

**Nota.** Agentes reguladores de pH. Tomado de: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003.

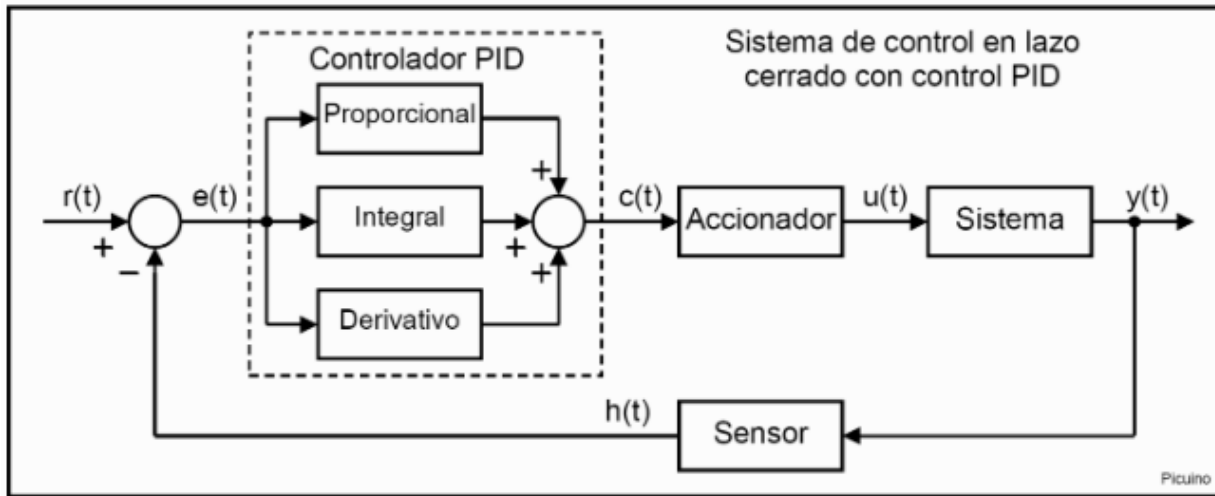
Disponibile: [https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

Se procura mantener un pH de 8 a la entrada del floculador para optimizar el comportamiento del floculante y oxidante [52]. Igualmente, para la coagulación, hay un valor de pH en el proceso es más eficiente, cabe resaltar que depende de coagulante a utilizar y de la naturaleza del agua a tratar, para lo cual debe realizarse las pruebas de jarra. Teóricamente para sales de aluminio el rango de pH es de 6,5 a 8,0 y para las sales de hierro el rango de pH óptimo es de 5,5 a 8,5. [53]

5.2.2.a Modo de control. Se considera un controlador PID. Un controlador o regulador PID es un dispositivo el cual permite controlar un sistema en lazo cerrado con el fin de alcanzar el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID. [54]

**Figura 26.**

*Sistema de control de pH en lazo cerrado.*



*Nota.* Sistemas de control de pH lazo cerrado. Tomado de: Picuino, «Control PID,» [En línea]. Disponible: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.

La señal  $r(t)$  se denomina referencia e indica el estado que se desea conseguir en la salida del sistema  $y(t)$ . En un sistema de control de pH, la referencia  $r(t)$  representa pH deseado y la salida  $y(t)$  es el pH real del sistema controlado. Como puede verse en el esquema anterior, la entrada al controlador PID es la señal de error  $e(t)$ . Esta señal indica al controlador la diferencia que existe entre el estado que se quiere conseguir o referencia  $r(t)$  y el estado real del sistema medido por el sensor, señal  $h(t)$ . Si la señal de error es grande, significa que el estado del sistema se encuentra lejos del estado de referencia deseado. Si por el contrario el error es pequeño, significa que el sistema ha alcanzado el estado deseado. [54]

En función de la dosis de cloro utilizada para la desinfección, el pH del efluente desinfectado será inferior al permitido para las aplicaciones de reutilización y para la dispersión en el medio ambiente. [44]

En estos casos, la neutralización se controla mediante instrumentos automáticos que utilizan un bucle de retroalimentación, y se registra el pH final del efluente. Dependiendo de la sensibilidad del medio ambiente, puede ser necesaria una neutralización en dos etapas. Si la velocidad de

reacción es lenta, el diseño de la instrumentación y el control debe tener en cuenta este factor. [8]

**Tabla 29.**

*Consideraciones para ajustar pH.*

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>
Químico usado para aumentar pH	Hidróxido de sodio
Químico usado para disminuir pH	Ácido sulfúrico
Modo de control	PID
SetPoint	8

**Nota.** Consideraciones para ajuste de pH para la PTAR de la universidad de América. Datos basados en la información tomada de F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida:

LEWIS PUBLISHERS, 2003. Disponible:

<https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b15579/handbook-water-wastewater-treatment-plant-operations-frank-spellman>

### **5.2.3 Tratamiento primario**

5.2.3.a Coagulación y floculación. La coagulación química representa todas las reacciones y mecanismos implicados en la desestabilización química de las partículas y en la formación de partículas más grandes a través de la floculación. Un coagulante es el producto químico que se añade para desestabilizar las partículas coloidales de las aguas residuales de manera que se pueda producir la formación de flóculos. Un floculante es una sustancia química, normalmente orgánica, que se añade para mejorar el proceso de floculación. El término "floculación" se utiliza para describir el proceso por el cual el tamaño de las partículas aumenta como resultado de la colisión de las mismas.

Entre los coagulantes y floculantes típicos se encuentran los polímeros orgánicos naturales y sintéticos, las sales metálicas, como el alumbre o el sulfato férrico, y las sales metálicas prehidrolizadas, como el policloruro de aluminio (PACl) y Cloruro de hierro. Los floculantes, especialmente los polímeros orgánicos, también se utilizan para mejorar el rendimiento de los filtros granulares y en la deshidratación de biosólidos digeridos. En estas aplicaciones, los productos químicos floculantes suelen identificarse como auxiliares de filtrado.

5.2.3.a.i Descripción de coagulación y floculación. La coagulación es la reacción entre una de las anteriores sales mencionadas y el agua. El proceso de coagulación más sencillo se produce entre el alumbre y el agua. La fuerza normal del alumbre líquido se ajusta al 8,3%, mientras que la fuerza del alumbre seco es del 17%. Cuando el alumbre se introduce en el agua, se produce una reacción química que produce iones de aluminio con carga positiva. El resultado global es la reducción de las cargas eléctricas y la formación de flóculos, que cuando se forman correctamente, se asientan. Estos dos factores desestabilizadores son las principales contribuciones de la coagulación a la eliminación de la turbidez, el color y los microorganismos. [8]

La formación de flóculos es el primer paso de la coagulación; para lograr una mayor eficacia, debe producirse una mezcla rápida del agua y el coagulante. Después de la mezcla, el agua debe agitarse lentamente para que las partículas más pequeñas y las partículas recién formadas puedan atraer y aunarse a las partículas coloidales, manteniéndolas unidas para formar un flóculo más grande. Esta lenta mezcla es la segunda etapa del proceso (floculación). [8]

Floculación es el proceso físico de mezclar lentamente el agua coagulada para aumentar la probabilidad de colisión de las partículas. Las partículas inestables chocan y se unen para formar flocs más grandes. A través de la experiencia, se observa que una mezcla eficaz reduce la cantidad de productos químicos necesarios y mejora en gran medida el proceso de sedimentación, lo que se traduce en una mayor duración del filtro y una mayor calidad del agua final.

El objetivo de la floculación es formar un floc denso y tenaz que atrape las partículas finas, suspendidas y coloidales y las arrastre rápidamente al tanque de sedimentación. La floculación adecuada requiere de 15 a 45 minutos. El tiempo de tiempo se basa en la química del agua, la temperatura del agua y la intensidad de la mezcla. La temperatura es el componente clave para determinar el tiempo necesario para la formación de flóculos. Para aumentar la velocidad de formación de flóculos y la fuerza y el peso del flóculo, a menudo se añaden polímeros. [8]

5.2.3.a.i.a Consideraciones para la coagulación y floculación. Varios factores influyen en el proceso de coagulación:

El pH, la turbidez, la temperatura, la alcalinidad y el uso de coagulación depende del uso del coagulante. Las condiciones del agua, el pH óptimo para la coagulación y otros factores deben tenerse en cuenta antes de decidir qué producto químico debe suministrarse y a qué niveles.

Para determinar la dosis correcta de producto químico, se realiza una prueba de jarras o de coagulación. Las pruebas de jarras (Anexo B) simulan procesos de coagulación y floculación a escala completa para determinar las dosis químicas óptimas. Es importante tener en cuenta que las pruebas de jarras son sólo un intento de lograr una aproximación a la dosis química correcta para el proceso de tratamiento. [8]

Las condiciones de la prueba pretenden reflejar el funcionamiento normal de una instalación de tratamiento químico.

La prueba puede utilizarse para:

1. Seleccionar el producto químico más eficaz.
2. Seleccionar la dosis óptima.
3. Determinar el valor de un auxiliar de floculación y la dosis adecuada.

**Tabla 30. Consideraciones de operación Coagulación y floculación**

*Consideraciones de operación Coagulación y floculación*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Coagulante	Policloruro de aluminio
Concentración aproximada (ppm)	200- 800
Floculante	Poliectrolito aniónico
Concentración aproximada (%)	0.2
pH	8
Temperatura (°C)	18-25

Nota. Consideraciones de operación coagulación y floculación la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de J. Romero Rojas, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.

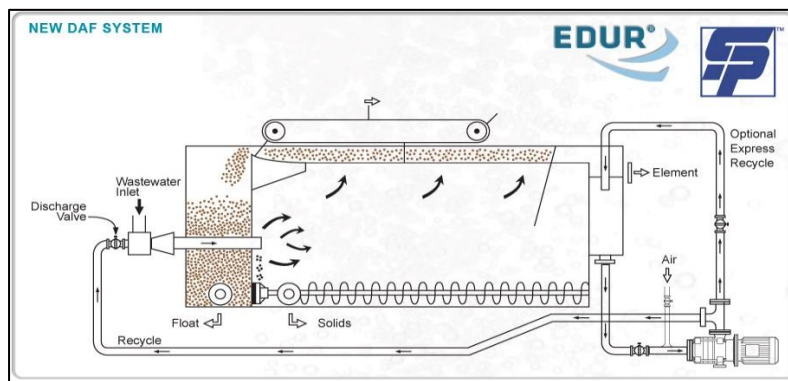
5.2.3.b DAF (tecnología de flotación de aire disuelto). La flotación se utiliza para separar las emulsiones y las partículas sólidas presentes en una fase líquida, mediante burbujas diminutas de un gas, generalmente aire. La separación no depende del tamaño y densidad relativa de las

partículas como de aquellas propiedades superficiales que permiten la adherencia de las burbujas a la estructura de las partículas. Gracias a este mecanismo es posible separar partículas más densas que el líquido en el cual se encuentran, ya que el sistema partícula- burbuja, de menor densidad que la partícula original, asciende y puede separarse. La fuerza de empuje de las burbujas gaseosas facilita, también, la separación de emulsiones y suspensiones. En los procesos de flotación, el agua afluyente o recirculada es presurizada a presiones de dos a cuatro atmósferas, en presencia de aire, y luego despresurizada a presión atmosférica en el tanque o unidad de flotación. La separación efectiva de los líquidos y sólidos del residuo, así como la concentración de los sólidos separados, depende de la generación suficiente de burbujas de aire por unidad de sólidos, lo cual se expresa por la relación aire a sólidos (A/S), como kg de air liberado por kg de sólidos. El tanque de flotación se diseña con base en la carga hidráulica superficial o en la carga superficial de sólidos. [48]

El sistema de flotación DAF es ampliamente utilizado ya que requiere un menor área y tiempo de retención de las aguas provenientes de la coagulación y floculación, pero conlleva un mayor costo ya que se usa una bomba de generación de microburbujas, las cuales transportan los flóculos a la superficie del agua para ser removidos y dejar que el agua sin flóculos salga al siguiente proceso.

**Figura 27.**

*Sistema DAF con recirculación.*



**Nota.** Sistema DAF con recirculación. Tomado de EDUR Dissolved Air Flotation Pump. Disponible: <https://www.shanleypump.com/edur-dissolved-air-flotation-daf-pumps.html>



Las ventajas de este tipo de equipos son [55]:

- Alta calidad del efluente.
- Se generan lodos más espesos.

En el sistema DAF, el aire es disuelto en el agua residual. Para las plantas de tratamiento de agua residual de tamaño pequeño, se puede presurizar el agua con el aire disuelto en un intervalo de 275 a 230 kPa. Para asegurar la formación de microburbujas en el equipo, se despresuriza la mezcla mediante una válvula, para que el aire deje de estar disuelto y comience a formar las burbujas que serán distribuidas por todo el efluente a tratar en el equipo [56].

5.2.3.b.i Dimensionamiento del tanque DAF. La eficiencia de estos equipos es dada por la relación entre el volumen de aire y la masa de sólidos (A/S) para obtener un determinado nivel de clarificación, y con ello poder calcular la superficie requerida para el tamaño del tanque DAF, las ecuaciones que se usan están contempladas en el libro Ingeniería de aguas residuales de Metcalf & eddy, INC.

**Ecuación 4. Relación aire-sólidos**

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 S_{a'}(f * P - 1)R}{S_a Q} \quad (4)$$

Donde:

- A/S: Relación aire-sólidos, ml(aire)/mg(sólidos).
- $S_{a'}$ : Solubilidad del aire, ml/l.
- f: Fracción de aire disuelto a la presión P. Generalmente 0,8.
- P: Presión, atm
- $S_a$ : Concentración de sólidos en el fango, con valores típicos entre 0,005 y 0,0060 mg/l.
- R: Reciclo presurizado (m<sup>3</sup>/d)
- Q: Licor mezclado (m<sup>3</sup>/día)

**Tabla 31.**

*Solubilidad del aire.*

Temperatura °C	Solubilidad, C mL aire/L de agua
0	29,2
5	25,7
10	22,8
15	20,6
20	18,7
25	17,1
30	15,7

**Nota:** Solubilidad del aire. Tomado de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008

**Ecuación 5. Área superficial**

$$A = \frac{Qr + Q * \left(1000 \frac{l}{m^3}\right)}{C_s * \left(1440 \frac{min}{día}\right)} \quad (5)$$

Donde:

- A: Superficie necesaria, m<sup>2</sup>.
- Q: Caudal de lodo m<sup>3</sup>/día.
- C<sub>s</sub>: Carga de superficie.

**Nota:** Ecuaciones relación aire- sólidos y área superficial. Tomadas de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008

**Tabla 32.**

*Consideraciones de diseño del DAF*

Parámetro	Valor
Dosis química	Según ensayo de jarras
Cantidad de aire requerida (kg aire/kg SSeq)	0,035
Carga superficial m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *d	2,44
Área (m <sup>2</sup> )	1,033
Volumen (m <sup>3</sup> )	2.4
SSeq (kg)	34,2

Profundidad (m)	Por constructor
Ancho (m)	0,51
Largo (m)	2
Presión de operación (Psig)	80
Porcentaje de sólidos	3
Tipo de bomba	KTM40F/N
Requerimiento de potencia (kW)	3.7

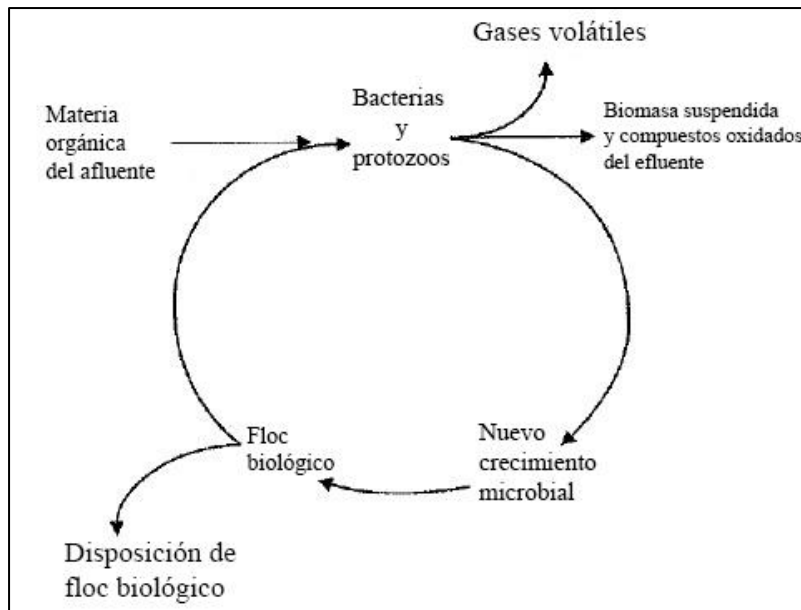
**Nota.** Consideraciones de diseño de rejilla para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003. Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

#### 5.2.4 *Tratamiento secundario*

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual. El proceso se esquematiza en la figura 28. [48]

**Figura 28.**

*Proceso del tratamiento biológico.*



*Nota.* Proceso de tratamiento biológico. Tomado de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. Disponible: [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

5.2.4.a Reactor biológico lodos activados. El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual debe su nombre de activado. El resultado final es una porción de materia orgánica, susceptible de descomposición biológica, convertida en compuestos inorgánicos y el resto, transformada en lodo activo adicional.

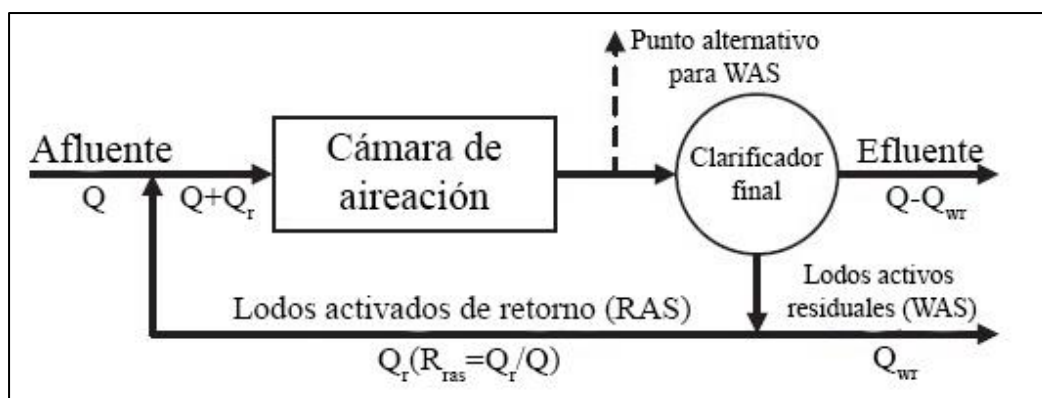
Un sistema de lodos activados puede considerarse un medio acuático, es colonizado por microorganismos muy variados, como bacterias, hongos, protozoos y metazoos pequeños; es recomendable evitar una agitación constante y recirculación de los lodos, ya que no contribuyen al crecimiento de la macrofauna acuática. [48]

Las bacterias constituyen el grupo más importantes de microorganismos en el proceso de lodos activados, ya que tiene una gran capacidad de estabilizar el material orgánico y en la formación del floc de lodo activo. Existe una gran variedad de especies de bacterias en lodos activados, siendo muy comunes las de los géneros *Alcaligenes flavobacterium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, En el proceso de purificación son importantes las bacterias nitrificantes; tales como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, al igual que la *Zooglea ramigera*, considerada por algunos autores como organismo principal en la formación del lodo activo por su gran habilidad para formar floc biológico. [48]

Las aguas residuales crudas fluyen en el tanque de aireación con un contenido de materia orgánica (DBO) como suministro alimenticio. Las bacterias metabolizan los residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando oxígeno disuelto y liberando dióxido de carbono. Los protozoos consumen las bacterias para obtener energía y reproducirse. Una porción del crecimiento bacteriano muere, liberando su contenido celular en la solución para una nueva síntesis en células microbiales. La mezcla líquida, aguas residuales con floc biológico en suspensión, es separada en un sedimentador; se recircula floc sedimentado continuamente al tanque de aireación y se descarga el efluente clarificado. El sistema de lodos activados es un proceso estrictamente aerobio, ya que el floc microbioal se mantiene siempre en suspensión en la mezcla aireada del tanque, en presencia de oxígeno disuelto. [48]

**Figura 29.**

*Proceso convencional de lodos activados.*



**Nota.** Proceso de tratamiento biológico. Tomado de: S. R. Qasim y Z. Guang, Wastewater Treatment And Reuse, Texas: Taylor & Francis Group. Disponible: [http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater\\_Treatment\\_and\\_Reuse,\\_0.pdf](http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater_Treatment_and_Reuse,_0.pdf)

5.2.4.a.i Factores de control. Para un correcto funcionamiento de los organismos, se debe asegurar que se mantiene un entorno adecuado, esto mediante el conocimiento de los numerosos factores que influyen en el proceso y controlándolos repetidamente.

El control se define como el mantenimiento de la concentración adecuada de sólidos (masa de flóculos) en el aireador para el flujo de agua entrante (alimento), ajustando la velocidad de bombeo de los lodos de retorno y de desecho, y regulando el suministro de oxígeno para mantener un nivel satisfactorio de OD en el proceso. [8]

- Aireación: El proceso de lodos activados debe recibir suficiente aireación para mantener los lodos activados en suspensión y para satisfacer las necesidades de oxígeno del organismo. Una mezcla insuficiente de mezcla insuficiente da lugar a puntos muertos, condiciones sépticas y pérdida de lodos activados.
- Alcalinidad: El proceso de lodos activados requiere una alcalinidad suficiente para garantizar que el pH se mantenga en el rango aceptable de 6,5 a 9,0. Si el nitrógeno orgánico y el amoníaco se convierten en nitrato (nitrificación), debe haber suficiente alcalinidad para apoyar este proceso también. [8]
- Nutrientes: Los microorganismos del proceso de lodos activados requieren nutrientes (nitrógeno, fósforo, hierro y otros metales traza) para funcionar. Si no se dispone de suficientes nutrientes, el proceso no funcionará como se espera. La proporción mínima aceptada de carbono a nitrógeno, fósforo y hierro es de 100 partes de carbono a 5 partes de nitrógeno, 1 parte de fósforo y 0,5 partes de hierro. [8]
- pH: El pH del licor mezclado debe mantenerse dentro del rango de 6,5 a 9,0 (idealmente de 6,0 a 8,0). Las fluctuaciones graduales dentro de este rango no suelen alterar el proceso. Las fluctuaciones rápidas o fuera de este rango fluctuaciones fuera de este rango pueden reducir la actividad del organismo. [44]
- Temperatura: A medida que la temperatura disminuye, la actividad de los organismos también disminuye. Las temperaturas frías también requieren un mayor tiempo de recuperación para los sistemas que han sido alterados. Las temperaturas cálidas temperaturas tienden a favorecer la desnitrificación y el crecimiento filamentosos. [48]
- Toxicidad: Concentraciones suficientes de elementos o compuestos que entran en una planta de tratamiento que tienen la capacidad de matar a los microorganismos (los lodos activados) se

conocen como residuos tóxicos (nivel de choque). En este grupo son comunes los cianuros y los metales pesados. [8]

- **Carga hidráulica:** La carga hidráulica es la cantidad de flujo que entra en el proceso de tratamiento. Cuando se compara con la capacidad de diseño del sistema, puede utilizarse para determinar si el proceso está sobrecargado hidráulicamente. Si entra en el sistema más caudal del que está diseñado para manejar, el sistema va a estar sobrecargado hidráulicamente. Si entra menos caudal en el sistema del que se diseñó para manejar, el sistema está hidráulicamente subcargado. Por lo general, el sistema se ve más afectado por la sobrecarga que por la subcarga. El exceso de flujo hidráulico a través de la planta de tratamiento de tratamiento reducirá la eficiencia del clarificador al permitir que los que los sólidos de los lodos activados se eleven en el clarificador y pasen por encima del vertedero de efluentes. [8]
- **Carga orgánica:** la carga orgánica es la cantidad de materia orgánica que entra en la planta de tratamiento. Suele medirse como DBO. Se produce una sobrecarga orgánica cuando la cantidad de DBO que entra en el sistema supera la capacidad de diseño del mismo. Una infracarga orgánica se produce cuando la cantidad de DBO que entra en el sistema es significativamente inferior a la capacidad de diseño de la planta. La sobrecarga orgánica puede producirse cuando el sistema recibe más residuos de los que ha sido diseñado para manejar. También puede ocurrir cuando una industria u otro contribuyente vierte al sistema más residuos de los previstos originalmente. Los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales también pueden causar sobrecargas orgánicas al devolver residuos de alta resistencia procedentes de los procesos de tratamiento de lodos. Independientemente de la fuente, una sobrecarga orgánica de la planta provoca un aumento de la demanda de oxígeno. Esta demanda puede superar el suministro de aire disponible en los sopladores. Cuando esto ocurre, el proceso de lodos activados puede volverse séptico. El desperdicio excesivo también puede dar lugar a un tipo de sobrecarga orgánica. El alimento disponible supera el número de organismos de los lodos activados, lo que provoca un aumento de la demanda de oxígeno y un crecimiento muy rápido. La subcarga orgánica puede producirse cuando se pone en servicio una nueva planta de tratamiento. Es posible que la instalación no reciba suficientes residuos para permitir que la planta funcione a su nivel de diseño. La infracarga también puede producirse cuando se permite que una cantidad excesiva de lodos activados permanezca en el

sistema. Cuando esto ocurre, la planta tendrá dificultades para desarrollar y mantener un buen lodo activado. [8]

5.2.4.a.ii Parámetros de diseño. Se considera un reactor de mezcla completa, el cual es un modelo aplicable a las distintas configuraciones de sistema de lodos activados pues es un modelo conservador para predecir el efluente. Estas unidades se suelen emplear para caudales pequeños (<400 m<sup>3</sup>/d) y con cargas bajas, razón por la cual se usan en depuradoras prefabricadas con aireación superficial o con turbina. Estos sistemas soportan bien los flujos y cargas transigentes (variaciones repentinas de caudal o carga contaminante). [50]

El tiempo de aireación, la carga volumétrica o carga de DBO por unidad de volumen, la relación alimento/microorganismos (A/M) y el tiempo promedio de retención celular, son los parámetros más usados en el diseño de lodos activados [57]

El tiempo de aireación es función de la concentración de DBO del agua residual afluente y del volumen del tanque de aireación.

#### **Ecuación 6. Tiempo de retención hidráulica**

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

Donde:

$\theta$ : tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación

V: Volumen del tanque de aireación

Q: Caudal, sin incluir el caudal de recirculación.

La carga orgánica del proceso (CO) se expresa generalmente como el producto de la concentración de DBO por el caudal afluente.

#### **Ecuación 7. Carga orgánica**

$$CO = S_o * Q \quad (7)$$



La carga orgánica volumétrica (COV) es la relación de la carga orgánica y el volumen de licor en el tanque.

#### **Ecuación 8. Carga orgánica volumétrica**

$$CO = \frac{S_o * Q}{V} \quad (8)$$

La disminución en tiempo de aireación o el incremento de caudal afluente causa un aumento en la carga orgánica volumétrica.

La relación alimento/microorganismos (A/M) es una forma de expresa la carga de DBO por unidad de masa microbial en el sistema.

#### **Ecuación 9. Relación alimento/ microorganismos**

$$\frac{A}{M} = \frac{QS_o}{VX} \quad (9)$$

Donde:

A/M: relación alimento/microorganismos, g DBO por día por gramo de SSVLM, d<sup>-1</sup>

Q: Caudal de aguas residuales, m<sup>3</sup>/d.

So: DBO del agua residual, mg/L

V: volumen del líquido en el tanque de aireación, m<sup>3</sup>

X: SSVLM, concentración de solidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, mg/L.

*Nota:* Ecuaciones de carga orgánica, carga orgánica volumétrica y relación alimento/microorganismos. Tomado de:  
J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008

Para calcular el requerimiento de aire, se utiliza la plataforma de simulación de SSI Aeration ® [58]; el simulador es abierto y gratuito. Los datos que solicita de entrada se evidencian en la figura 30.

**Figura 30.**

*Datos de entrada del simulador.*

Continue with your entries.	
<small>You may change placeholder values.</small>	
Select Diffuser Model. (Typical Design Airflow Rate)	O <sub>2</sub> :NH <sub>3</sub> Supply Ratio (4.3 to 4.6 is typical)
ECD215-1mm/Low Flow/High Eff (0.5 Sm <sup>3</sup> /hr)	4,6
Airflow Rate per Diffuser in Sm <sup>3</sup> /hr	WW Temp in degrees C
2	25
BOD concentration in mg/l	Altitude in m
21850	2600
NH <sub>3</sub> -N concentration in mg/l	Residual D.O. in mg/l
35	2,0
WW Flow Rate in m <sup>3</sup> /hr	Diffuser Submergence in m
0,25	1,8
O <sub>2</sub> :BOD Supply Ratio (0.9 to 1.5 is typical)	Alpha Factor
1,2	0,6
	Power Cost in cents/kWh
	7

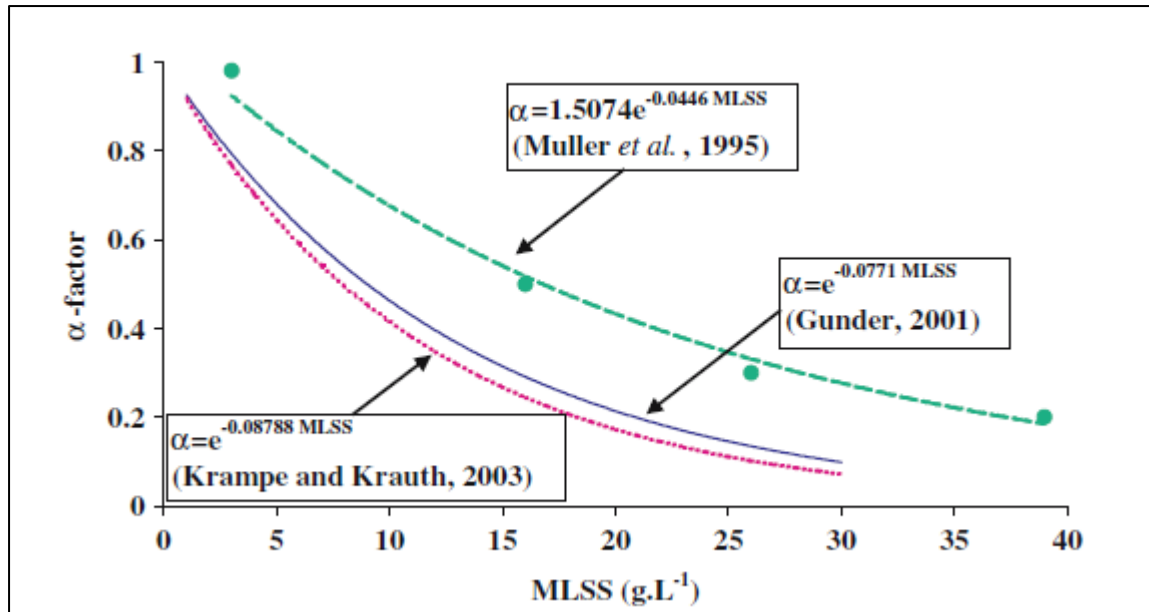
**Nota.** Datos de entrada al simulador. Tomado de: SSI AERATION CALCULATOR.

[En línea]. Disponible: <https://sorcalc.herokuapp.com/result/>

Para el valor de alfa, el cual es el factor de transferencia de oxígeno, este decrece exponencialmente con el incremento de los sólidos. Para un reactor de lodos activados utilizamos la ecuación de Krampe & Krauth.

**Figura 31.**

Factor alfa vs MLSS concentraciones.



**Nota.** Factor alfa vs MLSS concentraciones. Tomado de: Cripps E, Biomass Characteristics, Aeration and Oxygen Transfer: Their Interrelations Explained by a Review of Aerobic Biological Processes, 2005.

Disponible:

[https://www.researchgate.net/publication/226464075\\_Biomass\\_Characteristics\\_Aeration\\_and\\_Oxygen\\_Transfer\\_in\\_Membrane\\_Bioreactors\\_Their\\_Interrelations\\_Explained\\_by\\_a\\_Review\\_of\\_Aerobic\\_Biological\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/226464075_Biomass_Characteristics_Aeration_and_Oxygen_Transfer_in_Membrane_Bioreactors_Their_Interrelations_Explained_by_a_Review_of_Aerobic_Biological_Processes)

Los resultados se evidencian en la Tabla 33 y en el Anexo D. Para el requerimiento de carga orgánica se necesita 16.56 Kg/h de aire.

**Tabla 33.**

Consideraciones de diseño del reactor biológico.

Parámetro	Valores
Tipo de aireación	Convencional
Reactor	Mezcla completa
Geometría	Rectangular
Tiempo de retención (d)	8
Carga volumétrica (g DBO/m <sup>3</sup> d)	300
A/M (g DBO/g SSVLM *d)	0,5
SSLM (mg/L)	3000
Requerimiento nitrógeno (Kg/d)	0,12

Requerimiento fosforo (Kg/d)	0,024
Requerimiento de aire teórico (Kg h)	6.57
Requerimiento de aire real (Kg h)	16.56
Porcentaje de transferencia estándar	9.14%-m
Flujo aire (Sm <sup>3</sup> -h)	2
Difusor (in)	7
Número de difusores	5
DBO (mg/L)	21850
NH <sub>3</sub> (mg/L)	35
Temperatura (°C)	25
Volumen (m <sup>3</sup> )	8
Altura de la columna de agua (m)	1.8
Alto	2.3
Ancho	1.2
Largo	3.7

*Nota.* Consideraciones de diseño del reactor para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003. S. R. Qasim y Z. Guang, Wastewater Treatment And Reuse, Texas: Taylor & Francis Group. Disponible: [https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

5.2.4.b Clarificador. Posterior al reactor biológico se usa un clarificador para sedimentar los lodos que contiene el licor de mezcla y continuar con el agua clarificada al siguiente tratamiento.

5.2.4.b.i Parámetros de diseño. Los clarificadores secundarios están diseñados para la separación de sólidos. El enfoque más común es utilizar es la carga superficial y las tasas de carga de sólidos. Deben tenerse en cuenta las fluctuaciones de los caudales de lodos afluentes y de retorno y la concentración de MLSS. [44]

**Ecuación 10. Área del sedimentador para caudal promedio**

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Carga superficial promedio}} \quad (9)$$

### Ecuación 11. Flujo pico de sólidos

$$Q = \text{Caudal pico} * \text{SSLM} \quad (10)$$

### Ecuación 12. Área de sedimentación requerida por carga de sólidos

$$\text{Área} = \frac{\text{Caudal pico de sólidos}}{\text{Carga de sólidos}} \quad (11)$$

### Ecuación 13. Tiempo de retención

$$\theta = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}} \quad (12)$$

**Nota:** Ecuaciones del área del sedimentador para caudal promedio, por carga de sólidos y tiempo de retención. Tomado de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. Disponible: [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

**Tabla 34.**

*Parámetros de diseño clarificador.*

Parámetro	Valores
Tipo de tratamiento	Sedimentación secundaria
Carga superficial caudal promedio (m/d)	8
Carga de sólidos promedio (Kg/dm <sup>2</sup> )	23
Área del sedimentador para caudal promedio (m <sup>2</sup> )	0,125
Volumen (m <sup>3</sup> )	Por consultor
Ancho (m)	1,2
Largo(m)	3.7

**Nota.** Consideraciones de diseño del clarificador para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de S. R. Qasim y Z. Guang, Wastewater Treatment And Reuse, Texas: Taylor & Francis Group. Disponible: [http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater\\_Treatment\\_and\\_Reuse,\\_0.pdf](http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater_Treatment_and_Reuse,_0.pdf)

#### 5.2.5 Tratamiento terciario

5.2.5.a Desinfección. Los principales objetivos de la desinfección de las aguas residuales son proteger la salud pública contra las enfermedades transmitidas por el agua, reducir los efectos

secundarios adversos para la vida acuática, eliminar las amenazas para el medio ambiente y cumplir con los requisitos reglamentarios. [44]

5.2.5.a.i Desinfección con cloro. La cloración es un proceso ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, debido a que es el que mayor satisface los requerimientos por ley. [16]

Los propósitos de la cloración se resumen como sigue:

- Desinfección. Principalmente es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación. El cloro destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.
- Reducción de la DBO. El cloro logra la reducción de la DBO mediante la oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.
- Eliminación o reducción de colores y olores. Las sustancias que producen color y olor presentes en las aguas residuales son oxidadas por el cloro. La capacidad de oxidación del cloro se emplea para el control de los olores y la eliminación del color en el tratamiento de muchos efluentes industriales.
- Oxidación de iones metálicos. Los iones metálicos que se encuentran en estado reducido son oxidados por el cloro (por ejemplo, los iones ferrosos a férricos y los manganosos a mangánicos).
- Oxidación de cianuros a productos inocuos.

5.2.5.a.ii Características de los componentes de cloro. Los principales compuestos de cloro utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro ( $\text{Cl}_2$ ), el hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ), el hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) y el dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ). Muchas ciudades han cambiado el cloro gaseoso por el hipoclorito de sodio debido a los problemas de seguridad relacionados con la manipulación y el almacenamiento del cloro líquido. [47]

5.2.5.a.ii.a Hipoclorito de sodio. Muchos de los problemas de seguridad relacionados con el transporte, el almacenamiento y la alimentación de cloro líquido-gaseoso se eliminan con el uso de hipoclorito de sodio o de calcio. El hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ), sólo está disponible en

forma líquida y suele contener entre un 12,5 y un 17 por ciento de cloro disponible en el momento de su fabricación.

La solución se descompone más fácilmente a altas concentraciones y se ve afectada por la exposición a la luz y al calor, por lo tanto, debe almacenarse en un lugar fresco en un tanque resistente a la corrosión. [47]

5.2.5.a.ii.b Concentración de hipoclorito de sodio. La concentración de la solución de hipoclorito de sodio puede expresarse como cloro disponible. El porcentaje de cloro disponible en peso son los gramos de cloro disponible por gramo de la solución química. El porcentaje del cloro disponible del hipoclorito de sodio es del 12 al 15%. [8] [59].

**Tabla 35.**

*Consideraciones de operación de la desinfección con cloro.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Concentración de hipoclorito de sodio (%) de cloro libre disponible.	12-15
Dosis hipoclorito (mg/L)	<10
Tiempo de contacto (min)	>30
Velocidades de flujo (cm/s)	5

*Nota.* Consideraciones para la cloración basada en la información tomada de la Agencia de Protección Ambiental de los estados Unidos (EPA). “Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro” [En línea]. Disponible: <https://www.epa.gov/aboutepa/about-office-water#wastewater>

5.2.5.b Filtración. La filtración del agua es un proceso físico de separación de partículas suspendidas y coloidales del agua haciendo pasar el agua a través de un material granular [8]

La filtración granular (o en profundidad) se clasifica como un proceso de tratamiento terciario de aguas residuales y se utiliza principalmente para: [44]

- Pulir el efluente secundario

- Cumplir con los estrictos límites de vertido de contaminantes que se encuentran en formas particulares como el SST
- Proporcionar un pretratamiento para la desinfección UV y muchos procesos de tratamiento avanzado que se ven afectados por las partículas.

5.2.5.b.ii Descripción del proceso. La filtración granular implica el paso del efluente a través de un lecho o medio filtrante que puede colar las partículas coloidales. El lecho filtrante puede consistir en medios filtrantes como arena fina antracita, medios mixtos y/o tierra de diatomeas. A medida que los sólidos se acumulan en el lecho filtrante, la pérdida de carga aumenta y el caudal disminuye. El retrolavado se realiza periódicamente bombeando agua limpia en la dirección opuesta al flujo. El lecho se expande y los sólidos atrapados son lavados. [44]

5.2.5.b.iii Etapas de filtración. Normalmente, hay dos etapas de funcionamiento durante un ciclo completo de funcionamiento del filtro: (a) etapas de filtración y (b) etapas de retrolavado. La etapa de filtración (o de funcionamiento del filtro) suele durar entre 1 y 4 días, mientras que el lavado a contracorriente sólo dura entre 5 y 20 minutos.

5.2.5.b.iv Consideraciones de selección. La capacidad de seleccionar y diseñar tecnologías de filtrado debe basarse en (1) el conocimiento de los tipos de filtros disponibles, (2) una comprensión general de sus características de rendimiento, y (3) una apreciación de las variables del proceso que controlan la filtración en profundidad.

Las consideraciones importantes para el diseño de los sistemas de filtración de efluentes incluyen (1) las características del agua residual características de las aguas residuales, (2) diseño y funcionamiento del proceso de tratamiento biológico (3) el tipo de tecnología de filtración que se utilizará, (4) las opciones de control de flujo disponibles, (5) el tipo de sistema de lavado a contracorriente del filtro que se empleará, (6) los accesorios del filtro necesarios, y (7) sistemas de control del filtro e instrumentación. [47]



**Tabla 36.**

*Comparaciones de los principales tipos de filtro de medio granular*

Funcionamiento del filtro	Tipo de filtro (nombre común)	Detalles del lecho filtrante			Dirección de flujo de fluido	Lavado a contracorriente	Caudal de circulación a través del filtro	Comentario
		Tipo de lecho filtrante	Medio filtrante	Profundidad típica del medio, cm				
Semicontínuo	Convencional	Medio único	Arena o antracita	75	Descendente	Discontinuo	Constante /Variable	Es el tipo de filtro más empleado Filtro diseñado para aumentar la duración del ciclo
Semicontínuo	Convencional	Medio doble	Arena y antracita	90	Descendente	Discontinuo	Constante /Variable	Filtro diseñado para aumentar la duración del ciclo
Semicontínuo	Convencional	Medio múltiple	Arena, antracita y granate	90	Descendente	Discontinuo	Constante /Variable	Filtro diseñado para aumentar la duración del ciclo
Semicontínuo	Lecho profundo	Medio único	Arena o antracita	120-180	Descendente	Discontinuo	Constante /Variable	
Semicontínuo	Lecho profundo	Medio único	Arena	120-180	Ascendente	Discontinuo	Constante	Se inyecta aire de forma intermitente para romper la capa superficial y aumentar la duración del ciclo
Semicontínuo	Lecho pulsatorio	Medio único	Arena	27,5	Descendente	Discontinuo	Constante	
Continuo	Lecho profundo	Medio único	Arena	120-180	Ascendente	Continuo	Constante	El lecho de arena se

								mueve en dirección contraria al flujo del fluido El lavado a contracorrien te de las celdas filtrantes individuales se realiza de forma secuencial El lavado a contracorrien te de las celdas
Continuo	Puente móvil	Medio único	Arena	27,5	Descendente	Semicontinuo	Constante	filtrantes individuales se realiza de forma secuencial El lavado a contracorrien te de las celdas
Continuo	Puente móvil	Medio único	Arena	40	Descendente	Semicontinuo	Constante	filtrantes individuales se realiza de forma secuencial

**Nota.** Comparaciones de los principales tipos de filtro de medio granular. Tomado de: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003. Disponible:  
[https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

Parámetros de diseño de los medios: Los medios filtrantes se especifican por tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad. El tamaño efectivo ( $d_{10}$ ) es el tamaño de la abertura del tamiz estándar que pasará el 10% en peso del medio. El coeficiente de uniformidad UC es la relación entre la abertura del tamiz estándar que pasará el 60% en peso del medio a su tamaño efectivo ( $d_{60}/d_{10}$ ). Otros parámetros que suelen especificarse son la dureza del medio y su resistencia al ataque de los ácidos (solubilidad de los ácidos). [44]

Las consideraciones de diseño más importantes son la selección del medio filtrante y la profundidad del filtro. Hay dos enfoques generales para determinar la profundidad y el tamaño del medio filtrante: (1) las pruebas piloto y (2) la experiencia.

Kawamura [8] desarrolló una relación entre la profundidad del filtro ( $l$ ) y la media ponderada combinada del tamaño efectivo ( $d_e$ ) para lechos dobles o multimedia. Encontró que la relación ( $l/d_e$ ) es constante en el rango de 980-1020.

Control del flujo del filtro: Se suelen utilizar dos estrategias básicas para controlar el caudal a través de los filtros de medios granulares: (a) filtración de tasa constante y (b) filtración de tasa decreciente. [44]

**Tabla 37.**

*Consideraciones de diseño del filtro granular.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Funcionamiento de filtro	Semicontinuo
Tipo de filtro	Convencional
Tipo de lecho filtrante	Múltiple
Medio Filtrante	Arena, antracita, granate
Geometría	Cilíndrica
Área transversal (m <sup>2</sup> )	0,05
Radio (m)	0,12
Profundidad del medio (cm)	90
Profundidad antracita (cm)	60
Profundidad arena (cm)	20
Profundidad granate (cm)	10
Dirección de flujo de fluido	Descendente
Tasa de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	5-15
Tamaño efectivo antracita ( $d_{10}$ ) (mm)	1.5
Tamaño efectivo arena ( $d_{10}$ ) (mm)	0.5
Tamaño efectivo granate ( $d_{10}$ ) (mm)	0.35

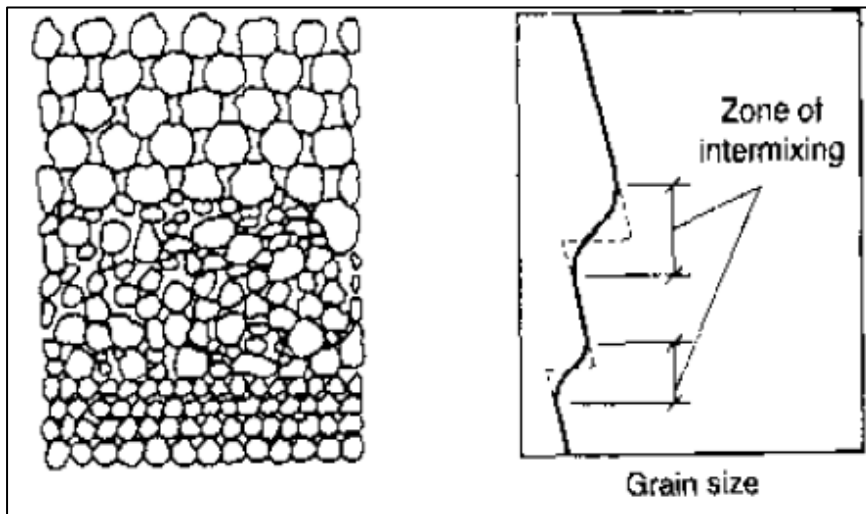
Coeficiente de uniformidad ( $U_c$ )	1.6
--------------------------------------	-----

**Nota.** Consideraciones de diseño de rejilla para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003. & F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida: LEWIS PUBLISHERS, 2003. Disponible:

[https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

**Figura 32.**

*Sección transversal de un medio multimedia.*



**Nota.** Sección transversal de un medio multimedia. Tomado de: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003. Disponible:

[https://www.researchgate.net/profile/Shuokr\\_Qarani\\_Aziz/post/Does\\_any\\_one\\_has\\_Metcalf\\_Eddy-Wastewater\\_Engineering-Treatment\\_and\\_Reuse\\_4th\\_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shuokr_Qarani_Aziz/post/Does_any_one_has_Metcalf_Eddy-Wastewater_Engineering-Treatment_and_Reuse_4th_edition/attachment/5c9a90decfe4a7299498fd8f/AS%3A740806746984450%401553633500173/download/Wastewater+Eng+by+Mecalf+and+Eddy+%2C+2003.pdf)

### 5.2.6 Tratamiento de lodos.

El tratamiento y disposición de los lodos es un tema que representa un gran inconveniente en el proceso del tratamiento de aguas residuales. Los tanques de sedimentación generan grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua; su deshidratación y disposición final pueden significar un alto del costo del proceso en general. En plantas de tratamiento de aguas residuales el

costo del tratamiento y disposición de lodos puede representar hasta un 50% del valor del tratamiento total. [48]

5.2.6.a Tipos de lodos. Los lodos que se produce en los procesos de tratamiento de aguas son principalmente: [48]

- Lodo primario proveniente de la sedimentación.
- Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico.
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación.

5.2.6.a.i Características de los lodos. Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1 – 6%); por ello, la disposición de su pequeño contenido de sólidos requiere el manejo de un gran volumen de lodo. El problema principal en el tratamiento de lodos radica, por tanto, en concentrar los sólidos mediante la máxima remoción posible de agua y en reducir su contenido orgánico. Los lodos provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indeseables del agua residual cruda.

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, de su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales. [48]

**Tabla 38**

*Características de los lodos.*

<b>Proceso</b>	<b>% humedad del lodo</b>		<b>Densidad relativa</b>	
	<b>Intervalo</b>	<b>Típico</b>	<b>Sólidos</b>	<b>Lodo</b>
Sedimentación primaria	88-96	95	1,4	1,02
Filtro percolador	91-95	93	1,5	1,025
Precipitación química	-	93	1,7	1,03
Lodos activados	90-93	92	1,3	1,005

Tanques sépticos	-	93	1,7	1,03
Tanques Imhoff	90-95	90	1,6	1,04
Aireación prolongada	88-92	90	1,3	1,015
Lodo primario digerido anaerobiamente	90-95	93	1,4	1,02
Laguna aireada	88-92	90	1,3	1,02
Lodo primario digerido aerobiamente	93-97	96	1,4	1,012

**Nota:** Características de los lodos. Tomado de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. Disponible:

[https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

El volumen de lodo depende principalmente de su contenido de agua. El contenido de agua se expresa como porcentaje en masa. Un lodo con 90% de humedad contiene 90% de agua en masa y un 10% de sólidos en masa.

**Tabla 39.**

*Concentraciones típicas de sólidos y de DBO en procesos de tratamiento de lodos.*

Proceso	% de sólidos de lodo		Flujo recirculado			
	Intervalo	Típico	DBO, mg/L		SS, mg/L	
			Intervalo	Típico	Intervalo	Típico
<b>Espesamiento por gravedad</b>						
Lodo primario	4-10	6	100-400	250	80-300	200
Lodo primario + lodo activado	2-6	4	60-400	300	100-350	250
<b>Espesamiento por FAD</b>	3-6	4	50-400	250	100-600	300
Con acondicionamiento	3-6	4	-	-	-	-
Sin acondicionamiento	3-6	4	-	-	-	-

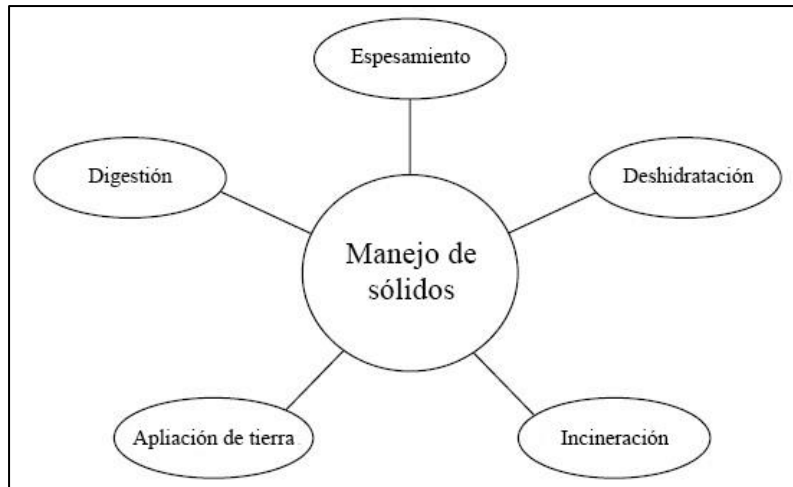
<b>Espesamiento por centrifugación</b>						
Con acondicionamiento	4-8	5	-	-	-	-
Sin acondicionamiento	3-6	4	-	-	-	-
Con lodo activado de aire	-	-	400-1200	800	500-1500	800
Con lodo activado de oxígeno	-	-	1200-1600	1400	1500-2000	1600
Con lodo crudo	-	-	1000-10000	5000	2000-10000	5000
Con lodo digerido	-	-	1000-10000	5000	2000-15000	5000
<b>Filtración al vacío</b>						
Con acondicionamiento	15-30	20	-	-	-	-
Con lodo crudo	-	-	500-5000	1000	1000-5000	2000
Con lodo digerido	-	-	500-5000	2000	1000-20000	4000
<b>Filtro prensa de correa</b>						
Con acondicionamiento	15-30	22	-	-	-	-
Con lodo crudo	-	-	50-500	300	200-2000	1000
Con lodo digerido	-	-	50-500	300	200-2000	1000
<b>Filtro prensa de placas</b>						
Con acondicionamiento	20-50	36	-	-	-	-
<b>Secado con centrifuga</b>						
Con acondicionamiento	10-35	22	-	-	-	-
Sin acondicionamiento	10-30	18	-	-	-	-
<b>Digestión anaerobia</b>						
Tasa estándar	-	-	500-1000	800	1000-5000	3000
Tasa alta	-	-	2000-5000	4000	1000-1000	50000
<b>Digestión aerobia</b>						
	-	-	200-5000	500	1000-10000	3400

**Nota.** Concentraciones típicas de sólidos y de DBO en procesos de tratamiento de lodos. Tomado de: J. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. Disponible: [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

5.2.6.b Tipos de tratamiento de lodos. El grado de tratamiento depende del método de eliminación propuesto. Los procesos de tratamiento de lodos pueden clasificarse en varias categorías principales [8]

**Figura 33.**

*Manejo de lodos.*



**Nota.** Manejo de lodos. Tomado de: F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida: LEWIS PUBLISHERS, 2003. Disponible: [http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater\\_Treatment\\_and\\_Reuse,\\_0.pdf](http://www.abfaeng.ir/Content/media/article/Wastewater_Treatment_and_Reuse,_0.pdf)

El método escogido para el tratamiento de lodos es el de deshidratación. La deshidratación de lodos se utiliza para reducir el volumen mediante la eliminación del agua para permitir una fácil manipulación y una reutilización o eliminación económica. Los procesos de deshidratación incluyen lechos de secado de arena, filtros de vacío, centrífugas y filtros prensa (de cinta y de placas) [8]. El proceso de deshidratación seleccionado es el filtro prensa de placas- cámara.

5.2.6.c Filtro prensa de placas. Los filtros prensa de placas son utilizados cuando se requiere un contenido de sólidos en la torta superior al 35%. Los filtros prensa de cámara hueca se separan en cochada. Los sólidos se bombean al filtro prensa, a presiones entre 700 y 2.100 kPa, forzando el líquido a través de un medio filtrante y dejando una torta de sólidos atrapada entre las telas de filtración que cubren las placas huecas. El filtrado drena por medio de conductos internos y se descarga por el extremo de la prensa. Al final, las placas se operan y la torta cae por gravedad. En la operación de filtros prensa de placas se debe asegurar una dosificación adecuada de coagulante o polímero, limpieza apropiada del medio filtrante mediante agua a presión alta, y ácido y facilidad



para recubrir las cámaras con materiales porosos que faciliten la filtración de los sólidos y el desprendimiento de la torta desde la tela filtrante.

**Tabla 40.**

*Consideraciones de diseño del filtro prensa.*

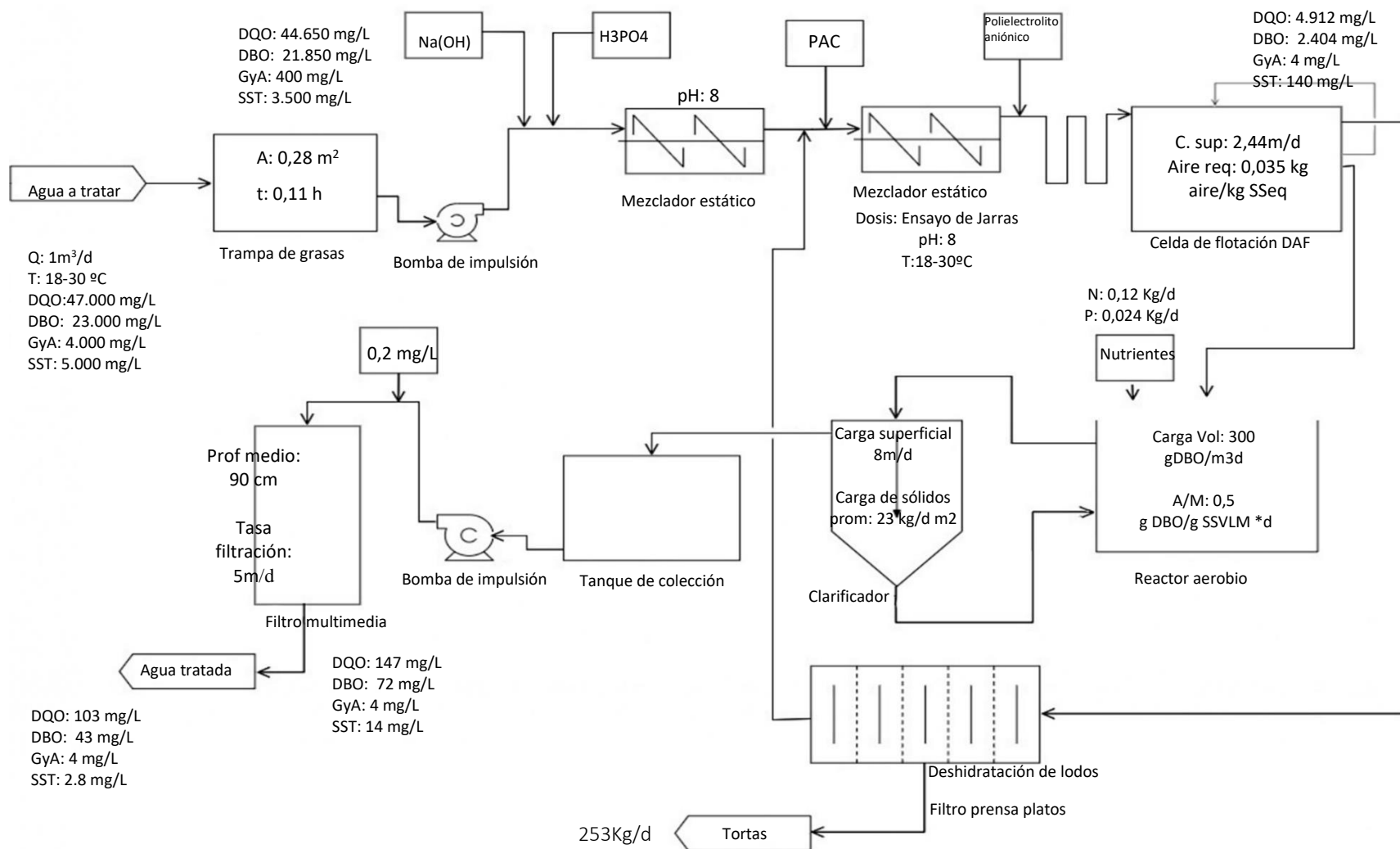
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Tipo de tratamiento	Deshidratación
Proceso	Filtro prensa de placas- cámara
% humedad del lodo	90
% sólidos del lodo	40
% sólidos torta	40
% sólidos del lodo afluente	5
Acondicionador: Cal, %	10
Acondicionador: Cloruro férrico, %	7

*Nota.* Consideraciones de diseño de rejilla para la PTAR de la universidad de América. Datos basados de la información tomada de J. Romero Rojas, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. Disponible:

[https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

**Figura 34.**

*Diagrama propuesto PTAR.*



## 6. CONCLUSIONES

El tratamiento del agua residual depende de la caracterización inicial del efluente. La caracterización del agua será resultado de los proyectos que se planteen cada semestre por parte del CEPIIS.

Se realizó un balance de masa general para las cuatro etapas del tratamiento, las cuales son: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario/pulido. Al no contar con información real de la caracterización del agua, se recopiló información de plantas de tratamiento de efluentes de aguas de la refinación de aceites, producción de jabón, producción de cerveza, producción de zumo de manzana y de la industria láctea. Las concentraciones de entrada escogidas son las que describen el efluente de la refinación de aceite, ya que representan un reto mayor en su tratabilidad, permitiendo garantizar que no existan limitaciones cuando se realicen los proyectos del CEPIIS. Las concentraciones son: DQO (47.000 mg/L), DBO (23.000 mg/L), grasas y aceites (4.000mg/L) y SST (5.000mg/L).

Los porcentajes de remoción en el pretratamiento son: 5% DQO, 5% DBO, 90% de grasas y aceites, 30% SST; para el tratamiento primario son: 89% DQO, 89% DBO, 99% de grasas y aceites, 96% SST; para el tratamiento secundario son: 97% DQO, 97% DBO, 0% de grasas y aceites, 90% SST; y para el tratamiento terciario son: 30% DQO, 40% DBO, 0% de grasas y aceites, 80% SST. Estos valores son el resultado de la recolección de información de las industrias descritas en el capítulo 4 y de los valores teóricos.

El agua tratada cumple con los requerimientos del artículo N° 15 de la resolución 0631 de 2015 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se determina que el reactor biológico, clarificador y tratamiento de lodos, requieren ser ubicados en un espacio adicional al estipulado en el CEPIIS.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "lifeder," [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/causas-consecuencias-contaminacion-agua/>. [Accessed 2 10 2021].
- [2] Weather spark, "Weather spark," [Online]. Available: <https://es.weatherspark.com/>. [Accessed 11 09 2021].
- [3] B. Cisneros, "Safe sanitation in low economic development areas," [Online]. Available: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780444531995000828?token=2B11F47967E EC47E0AF314178791C315FF06F4872D4A2853E155B7C75B4963D68EA23D76CF1E 83DD738A73595082210E>. [Accessed 13 4 2022].
- [4] Ministerio de ambiente, "Ministerio de ambiente," [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminantes-organicos-persistentes/>. [Accessed 17 03 2022].
- [5] K. Wasewar, S. Surinder and k. Kansal, "Process intensification of treatment of inorganic water pollutants," 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128189658000135>. [Accessed 12 4 2022].
- [6] WaterProfessionals, "Chlorination," [Online]. Available: <https://www.waterprofessionals.com/learning-center/chlorination/>. [Accessed 2022 5 15].
- [7] ChemTreat, "coagulants-flocculants," [Online]. Available: <https://www.chemtreat.com/coagulants-flocculants>. [Accessed 2022 04 24].
- [8] F. Spellman, Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations, Florida: lewis publishers, 2003.

- [9] IWA, "coagulation and flocculation water and wastewater treatment," [Online]. Available: <https://www.iwapublishing.com/news/coagulation-and-flocculation-water-and-wastewater-treatment>. [Accessed 24 10 2021].
- [10] J. E. D. J. B. V. Forero, "diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industrialeS," [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n5/v1n5a06.pdf>. [Accessed 06 05 2022].
- [11] A. Valdivielso, "iagua," [Online]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados>. [Accessed 15 03 2022].
- [12] Emerson, "Dissolved Oxygen Measurement in Wastewater Treatment," [Online]. Available: <https://www.emerson.com/documents/automation/application-data-sheet-dissolved-oxygen-measurement-in-wastewater-treatment-rosemount-en-68468.pdf>. [Accessed 1 12 2021].
- [13] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, "Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible," 2015. [Online]. Available: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Accessed 11 09 2021].
- [14] Synertech, "Synertech," [Online]. Available: <https://www.synertech.com.co/aguas-residuales/tratamiento-de-aguas-residuales>. [Accessed 12 09 2021].
- [15] L. J. Galeano Nieto and V. D. Rojas Ibarra, "Universidad Católica de Colombia," 2016. [Online]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13930/4/PROPUESTA%20DE%20DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20PTAR%20PARA%20EL%20%20MUNICIPIO%20DE%20VELEZ%20-SANTANDER..pdf>. [Accessed 11 09 2021].
- [16] R. R, Introduction to Wasterwater Treatment Processes, Londres: Academic Press, 1977.

- [17] DataStream, "Total suspended solids and total dissolved solids," [Online]. Available: <https://datastream.org/en/guide/total-suspended-solids-and-total-dissolved-solids> . [Accessed 2022 3 16].
- [18] D. Bouyer, "Experimental Analysis of Hydrodynamics in a Jar-test," [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095758200571209X>. [Accessed 2022 4 25].
- [19] LaMotte, "Turbidity," [Online]. Available: <https://lamotte.com/technical-tips/post/turbidity>. [Accessed 21 3 2022].
- [20] G. N. d. Colombia, "CAR," [Online]. Available: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1168#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20vertimiento%3F,contendidos%20en%20un%20medio%20I%C3%ADquido..> [Accessed 25 3 2022].
- [21] Ingeniería en aguas, "Ingeniería en aguas," [Online]. Available: <https://www.ingenieriaenaguas.com/aguas-residuales/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales>. [Accessed 11 09 2021].
- [22] W. A. Lozano Rivas, "Research gate," [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/298354134\\_Diseño\\_de\\_Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales). [Accessed 13 09 2021].
- [23] I. e. A. SAS, "Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales," [Online]. Available: <https://www.ingenieriaenaguas.com/>. [Accessed 2021 11 23].
- [24] Tecnoagua, "Tecnoagua," [Online]. Available: <https://www.tecnoagua.es/productos/20191217/prosimed-plantas-compactas-modulares-tratamiento-aguas-residuales#.YUDFFp1KjIV>. [Accessed 12 09 2021].

- [25] Avantika, "Avantika," [Online]. Available: <https://avantika.com.co/wp-content/uploads/2018/11/Sistemas-Peque%C3%83os-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR.pdf>. [Accessed 12 09 2021].
- [26] Conpes, "Ministerio de medio ambiente y desarrollo económico," [Online]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf> . [Accessed 5 12 2021].
- [27] Conpes, 20 12 2001. [Online]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3146.pdf>. [Accessed 13 07 2022].
- [28] Colombia, "Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo sostenible," Función Pública, [Online]. Available: Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf> . [Accessed 5 12 2021].
- [29] Ministerio de Vivienda, "Ministerio de Vivienda," 2017. [Online]. Available: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>. [Accessed 13 07 2022].
- [30] Hanzen; Fichtner, Conhydra, "Aguas y aguas," [Online]. Available: <https://www.aguasyaguas.com.co/images/ptar/Cap%202%3A%20Descripcion%20del%20Proyecto/Anexos/3.MEMORIAS%20DE%20CALCULO/Seccion%2001.%20Pre-tratamiento.pdf>. [Accessed 20 04 2022].
- [31] B. Noguera, "Ingeniería química," 09 11 2021. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/11/trampas-de-grasa-tratamiento-aguas-residuales.html>. [Accessed 13 07 2022].
- [32] IDEAM, "IDEAM," [Online]. Available: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/1Fundamentosdelprocesodelodosactivados.pdf>. [Accessed 13 07 2022].

- [33] iagua, "iagua," [Online]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/nuevas-tecnologias-aguas-residuales>. [Accessed 13 07 2022].
- [34] Ucelo, "Ucelo," [Online]. Available: <https://www.ucelo.com.br/es/productos-mbbr>. [Accessed 13 07 2022].
- [35] aema, "Aguas Industriales," 02 10 2015. [Online]. Available: <http://aguasindustriales.es/tag/reactores-biologicos-secuenciales-secuencial-batch-reactor/>. [Accessed 13 07 2022].
- [36] A. D. Martínez, *Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno*.
- [37] R. Guzman Sierra, D. C. Arboleda Lagos and J. F. Gutierrez Sanchez, "Aguas Residuales," *Aguas Residuales*, p. 40, 2020.
- [38] F. Cortés Martínez, A. Treviño Cansino and A. C. Tomasini Ortiz, "ResearchGate," 01 2017. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/312491882\\_Dimensionamiento\\_de\\_lagunas\\_de\\_estabilizacion](https://www.researchgate.net/publication/312491882_Dimensionamiento_de_lagunas_de_estabilizacion). [Accessed 13 07 2022].
- [39] iagua, "iagua," [Online]. Available: <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/nuevas-tecnologias-aguas-residuales>. [Accessed 13 07 2022].
- [40] Agua ultra Light, "Ultra Light," [Online]. Available: <https://aguaultralight.com/blog-post/los-rayos-de-luz-ultravioleta-en-la-desinfeccion-del-agua-purificada/>. [Accessed 13 07 2022].
- [41] C. J. Medina Valderrama, E. M. Montero del Águila and L. E. Cruz Pio, "SciELO," 10 2016. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2016000400007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400007). [Accessed 13 07 2022].



- [42] "Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas," [Online]. Available: <http://www.geocities.ws/edrochac/sanitaria/filtracion4.pdf>. [Accessed 13 07 2022].
- [43] WaterStation, "https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/," 24 09 2020. [Online]. Available: <https://waterstation.mx/agua-y-salud/osmosis-inversa-ventajas-y-desventajas/>. [Accessed 13 07 2020].
- [44] S. R. Qasim and Z. Guang, Wastewater Treatment And Reuse, Texas: Taylor & Francis Group.
- [45] "Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible," Resolución 0631 del 2015, [Online]. Available: <https://laboratoriodeanalisiss.lasalle.edu.co/wcm/connect/LIAC/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMo5Mpt>.
- [46] S. Mohammad, S. Baidurah, T. Kobayashi, N. Ismail and C. Peng Leh, "MDPI," 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/739/htm>. [Accessed 13 07 2022].
- [47] M. & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Hong Kong, 2003.
- [48] J. Romero Rojas, tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Roja](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Roja)
- [49] A. S. o. P. Engineers, "Grease Interceptor," p. 13, 2013 03.
- [50] W. Lozano Rivas, "FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES," Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, 2012.
- [51] Chemready, "Alkalinity Adjustment," [Online]. Available: <https://www.getchemready.com/water-facts/what-should-i-use-for-alkalinity-adjustments-in-my-wastewater-treatment-plant/>.

- [52] W. Amaya, O. Cañón and O. Áviles, "Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales," Bogotá, 2004.
- [53] C. De Sousa, A. Correia and M. Colmenares, "Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control," 2010. [Online]. Available: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1690-46482010000200003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482010000200003).
- [54] Picuino, "Control PID," [Online]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.
- [55] Sigma, "Sigma," [Online]. Available: <https://sigmadafclarifiers.com/es/noticia/tecnologia/sistemas-daf-tratamiento-aguas-residuales>. [Accessed 24 05 2022].
- [56] Metcalf & eddy, INC, Ingeniería de aguas residuales, 1995: McGraw Hill.
- [57] J. A. Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- [58] "ssi aeration calculator," [Online]. Available: <https://sorcalc.herokuapp.com/result/>.
- [59] EPA, "Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro," Washington.
- [60] ThermoFisher, "ThermoFisher," [Online]. Available: <https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10596261&productDescription=1LT+Water%2C+for+HPLC+gradient+grade&countryCode=ES&language=es>. [Accessed 09 03 2022].
- [61] ilo, "ilo," [Online]. Available: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=57&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=57&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 01 03 2022].

- [62] ilo, "ilo," [Online]. Available:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=39&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=39&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [63] Carlroth, "Carlroth," [Online]. Available: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-2551-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyODU4Mjl8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oMTcvaDM3LzkwMTA0NDkyODUxNTAucGRmfDQ1ZTM1NGYxYTZhMDY2OGViNWlzMOTNIYjUzMmIxNTE3ZDc4ZWQwYTg1ZTRkYmZkNTEzYmRi>. [Accessed 09 03 2022].
- [64] Carlroth, "Carlroth," [Online]. Available: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-6881-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNjcwMjN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNGMvaDIyLzg5NTA5MzEyMjY2NTQucGRmfGRkZGYyZDMzNGMwMDFkMmQ5ZTI2MDhmN2U1NzkzZTNkNWU3NGNmMmY1Y2JhZTFhNWQ4NmNh>. [Accessed 09 03 2022].
- [65] N. V. Ayala Nuñez, H. Lara Villegas and C. Rodriguez Padilla, "Redalyc," 2008. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/576/57611111003.pdf>. [Accessed 09 03 2022].
- [66] M. González, "Quimica la guía," 01 08 2011. [Online]. Available:  
<https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/caroteno>. [Accessed 09 03 2022].
- [67] Quimica.es, "Quimica.es," [Online]. Available:  
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Clorofila.html>. [Accessed 09 03 2022].
- [68] ilo, "ilo," [Online]. Available:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=360&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=360&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].

- [69] ilo, "ilo," [Online]. Available:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=362&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=362&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [70] ilo, "ilo," [Online]. Available:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=183&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=183&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 03 09 2022].
- [71] ilo, "ilo," [Online]. Available:  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=111&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=111&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [72] A. Curi, W. Granada, H. Lima and W. Sousa, "scielo," [Online]. Available:  
[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642006000600017](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000600017). [Accessed 09 03 2022].
- [73] E. Moron, "Steemit," [Online]. Available:  
<https://steemit.com/spanish/@emiliomoron/cidoscarboxlicos-33rvg3o7m8>. [Accessed 09 03 2022].
- [74] A. Porto Andión, "Curso de biología," [Online]. Available:  
<https://www.bionova.org.es/biocast/tema06.htm>. [Accessed 09 03 2022].
- [75] G. Fernández, "Química orgánica," [Online]. Available:  
<https://www.quimicaorganica.org/acidocarboxilicos/429-sintesis-de-esteres-a-partir-de-acidos-carboxilicos-esterificacion.html>. [Accessed 09 03 2022].
- [76] Cartagena99, "Cartagena99," [Online]. Available:  
<https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/temarios/T8%20-%20Catalizadores%20Solidos.pdf>. [Accessed 09 03 2022].
- [77] Lifeder, "Lifeder," [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/monomeros/>. [Accessed 09 03 2022].

- [78] ilo, "ilo," [Online]. Available: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=408&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=408&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [79] ilo, "ilo," [Online]. Available: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=1193&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1193&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [80] Carlroth, "Carlroth," [Online]. Available: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-4701-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjk1MzZ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNTcvaDUxLzg5NTA4ODg2MjgyNTQucGRmfGYxOTZiYWJlOGJkZGM3ZTVmYWVhOTM1Mzg5MjQ5MmQ0NDMxMzgzYzE0OWYyZDE2MzI3ZTA0>. [Accessed 09 03 2022].
- [81] ilo, "ilo," [Online]. Available: [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=793&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=793&p_edit=&p_version=2&p_lang=es). [Accessed 09 03 2022].
- [82] Petrobras, "Petrobras," [Online]. Available: [https://www.petrobrasdistribucion.cl/wp-content/uploads/2020/08/HDS\\_DIESEL.pdf](https://www.petrobrasdistribucion.cl/wp-content/uploads/2020/08/HDS_DIESEL.pdf). [Accessed 09 03 2022].
- [83] appa renovables, "appa renovables," [Online]. Available: <https://www.appa.es/appa-biomasa/que-es-la-biomasa/>. [Accessed 09 03 2022].
- [84] Curso online web, "Curso online web," [Online]. Available: <https://cursosonlineweb.com/tipos-de-arena.html>. [Accessed 09 03 2022].
- [85] VyP, "VyP," [Online]. Available: <https://www.vyphidroasesores.com/manejo-de-lodos-en-sistemas-de-enfriamiento/>. [Accessed 09 03 2022].

- [86] intef, "intef," [Online]. Available: <http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/1bachillerato/organismos/contenidos10.htm>. [Accessed 09 03 2022].
- [87] eufic, "eufic," [Online]. Available: <https://www.eufic.org/es/que-contienen-los-alimentos/articulo/que-son-las-proteinas-y-cual-es-su-funcion-en-el-cuerpo/>. [Accessed 09 03 2022].
- [88] L. Pfersich, "Universidad de Cantabria," [Online]. Available: <https://web.unican.es/centros/minas/exposicion-lorenzo-pfersich/clases-minerales>. [Accessed 09 03 2022].
- [89] Genome, "National Human Genome Research Institute," [Online]. Available: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Enzima>. [Accessed 09 03 2022].
- [90] Yubrain, "Yubrain," [Online]. Available: <https://www.yubrain.com/ciencia/quimica/que-es-un-indicador-acido-base/>. [Accessed 09 03 2022].
- [91] A. Sanz Tejedor, "Química orgánica Industrial," [Online]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php#:~:text=Las%20grasas%20y%20aceites%20se%20obtienen%20a%20partir%20de%20fuentes,sus%20%C3%A1cidos%20grasos%20son%20diferentes..> [Accessed 09 03 2022].
- [92] ideam, "ideam," [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-programa-nacional-de-caracterizacion-del-agua-lluvia>. [Accessed 09 03 2022].
- [93] ISA, "ISA ingeniería y servicios ambientales," [Online]. Available: <https://isa.ec/prueba-de-jarras/#:~:text=Se%20calcula%20las%20diferentes%20dosis,el%20volumen%20de%20lodos%20generados..> [Accessed 05 06 2022].

- [94] Yareth químicos LTDA, "Yareth químicos LTDA," 2017. [Online]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/anexo.pdf>. [Accessed 05 06 2022].
- [95] M. A. Gómez Araiza, "Biblioteca Digital Universidad de Sonora," 2008. [Online]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19121/anexo.pdf>. [Accessed 05 06 2022].
- [96] R. Rojas, ""Curso internacional" Gestión integral de tratamiento de aguas residuales," 2002. [Online]. Available: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION\\_INTEGRAL\\_DEL\\_TRATAMIENTO\\_AR-with-cover-page-](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-with-cover-page-). [Accessed 18 09 2021].
- [97] R. Saldaña Escorcía, "iagua," [Online]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/rossemer-saldana-escorcia/colombia-frente-al-tratamiento-aguas-residuales>. [Accessed 20 09 2021].
- [98] Tecnal, "Tecnal," [Online]. Available: [https://tecnal.com.br/es/blog/215\\_dqo\\_vs\\_dbo](https://tecnal.com.br/es/blog/215_dqo_vs_dbo). [Accessed 23 02 2022].
- [99] Hanna instruments, "Hanna instruments," [Online]. Available: <https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno>. [Accessed 27 02 2022].
- [100] G. Buitrón Méndez, C. Reino Sánchez and J. Carrera Muyo, "Cyted," [Online]. Available: [https://www.cyted.org/sites/default/files/tratamiento\\_aerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](https://www.cyted.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf). [Accessed 19 03 2022].
- [101] Condorchem, "Condorchem," [Online]. Available: <https://condorchem.com/es/blog/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>. [Accessed 19 03 2022].

- [102] Condorchem, "Condorchem," [Online]. Available: <https://condorchem.com/es/tratamiento-biologico-aguas-residuales/>. [Accessed 19 03 2022].
- [103] Cytel, "Cytel," [Online]. Available: [https://www.cytel.org/sites/default/files/tratamiento\\_anaerobio\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](https://www.cytel.org/sites/default/files/tratamiento_anaerobio_de_aguas_residuales.pdf). [Accessed 19 03 2022].
- [104] Ministerio de vivienda, "Ministerio de vivienda," [Online]. Available: [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN\\_NACIONAL\\_D E\\_MANEJO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_MUNICIPALES\\_EN\\_COLOMBIA.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PLAN_NACIONAL_D E_MANEJO_DE_AGUAS_RESIDUALES_MUNICIPALES_EN_COLOMBIA.pdf). [Accessed 16 09 2021].
- [105] C. G. Bohórquez Rincón and D. A. Sarmiento Higuera, "Universidad católica de Colombia," 2017. [Online]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15221/1/TESIS%20MBR.pdf>. [Accessed 16 09 2021].
- [106] Ministerio de vivienda, "Ministerio de vivienda," 2000. [Online]. Available: [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf). [Accessed 01 05 2022].
- [107] Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, "Certificación mexicana S.C.," [Online]. Available: <http://cmx.org.mx/wp-content/uploads/MAPAS%202015/libros/SGAPDS-1-15-Libro26.pdf>. [Accessed 04 05 2022].
- [108] N. P. Cheremisinoff, Handbook of water and wastewater treatment technologies, BH, 2002.
- [109] F. J. Pérez de la Cruz and M. A. Urrea Mallebrera, "Universidad Politécnica de Cartagena," [Online]. Available:



- [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf). [Accessed 16 05 2022].
- [110] D. Sanchez Cruz and A. A. Herrera Castillo, "Lumieres," 2018. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6708/1/6121957-2018-1-IQ.pdf>. [Accessed 20 04 2022].
- [111] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, "Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible," 2015. [Online]. Available: <https://www.rds.org.co/es/recursos/resolucion-631-de-2015-parametros-vertimientos#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20establecen,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones..> [Accessed 21 05 2022].
- [112] Tanac, "Tanac," [Online]. Available: [https://www.tanac.com.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/CT\\_TANFLOC\\_SG\\_PT\\_0-1.pdf](https://www.tanac.com.br/novo/wp-content/uploads/2021/06/CT_TANFLOC_SG_PT_0-1.pdf). [Accessed 20 05 2022].
- [113] Carbotecnia, "Carbotecnia," [Online]. Available: <https://www.carbotecnia.info/categoria-producto/filtros-de-carbon-activado/>. [Accessed 24 05 2022].
- [114] A. Deloya Martínez, "Semantic Scholar," 2001. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Biodiscos%3A-una-alternativa-de-tratamiento-biol%C3%B3gico-Deloya-Mart%C3%ADnez/8ff761e1191f2690953a372fb82e93433b3d1211>. [Accessed 01 08 2021].
- [115] Acciona agua, "Acciona agua," [Online]. Available: [https://mediacdn.acciona.com/media/y0gkgqov/03\\_-biofilpas.pdf](https://mediacdn.acciona.com/media/y0gkgqov/03_-biofilpas.pdf). [Accessed 2021].
- [116] J. Suárez López, A. Jácome Burgos and P. Ures Rodríguez, "DocerArgentina," 2014. [Online]. Available: <https://docer.com.ar/doc/e55c51v>. [Accessed 05 06 2022].
- [117] Semanart & conagua, "Geográfica," [Online]. Available: <https://www.geografica.com.mx/img/Normatividad/CONAGUA/SGAPDS-1-15->

- Libro25\_INTRO\_TRATAMIENTO\_DE\_AGUAS\_RES\_MUN.pdf. [Accessed 06 26 2022].
- [118] ONU, Objetivos de desarrollo sostenible, [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>. [Accessed 4 10 2021].
- [119] E. d. C. Ingeniería, "OOR Ingeniería," Beneficios PTAR, 26 10 2020. [Online]. Available: <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/beneficios-tener-una-ptar>. [Accessed 2021 10 10].
- [120] B. Noguera, "Ingeniería química," 09 11 2021. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/11/trampas-de-grasa-tratamiento-aguas-residuales.html>. [Accessed 13 07 2022].
- [121] [Online].
- [122] B. S. K. T. Mohammad. S, "'Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review'," 2021. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/5/739/htm..> [Accessed 2022 5 5].

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE CONTAMINANTES A TRATAR EN LA PTAR.

- Agua

Nº. CAS: 7732-18-5

Fórmula molecular: H<sub>2</sub>O

Peso molecular: 18.02

Aspecto: Claro, Incoloro

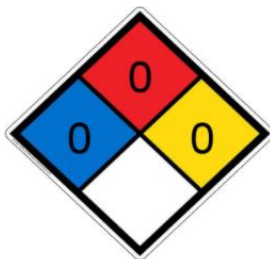
Olor: Inodoro

Punto de ebullición: 100 °C

Presión de vapor: 17.5 mmHg @ 20 °C

Densidad / Densidad relativa: 1.000

NFPA:



Riesgos a la salud: 0

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0

[60]

- Metanol

Nº CAS: 67-56-1

Estado físico: Líquido incoloro de olor característico.

Fórmula: CH<sub>4</sub>O / CH<sub>3</sub>OH

Masa molecular: 32

Punto de ebullición: 65°C

Punto de fusión: -98°C

Densidad relativa: 0.79

Solubilidad en agua: miscible

Presión de vapor, kPa a 20°C: 12.9

Densidad relativa de vapor: 1.1

Punto de inflamación: 9°C

Temperatura de autoignición: 440°C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6-50

Viscosidad: 0.544 mPa a 25°C

Clasificación:



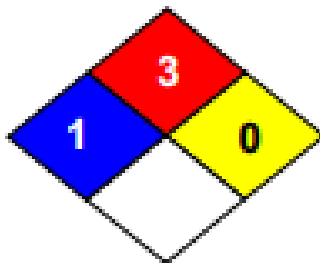
Líquido y vapores muy inflamables

Tóxico en caso de ingestión

Nocivo si se inhala

Provoca daños en el sistema nervioso central

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 3

Reactividad: 0

[61]

- Etanol

N° CAS: 111-90-0

Estado físico: Líquido incoloro higroscópico.

Fórmula:  $C_6H_{14}O_3$  /  $CH_3CH_2OCH_2CH_2OCH_2CH_2OH$

Masa molecular: 134.2

Punto de ebullición: 196-202°C

Punto de fusión: -76°C

Densidad relativa: 0.99

Solubilidad en agua: muy elevada

Presión de vapor, Pa a 25°C: 19

Densidad relativa de vapor: 4.6

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C: 1.00

Punto de inflamación: 96°C

Temperatura de autoignición: 204°C

Clasificación:



Líquido y vapores muy inflamables

Provoca irritación ocular grave

NFPA:



Riesgos a la salud: 0

Inflamabilidad: 3

Reactividad: 0

[62]

- Aminas

Número CAS 90640-67-8

Fórmula molecular  $C_6H_{18}N_4$

Masa molar 146,2 g /mol

Estado físico: líquido

Color incoloro – blanquecino

Olor: débilmente perceptible

Punto de fusión: -70 °C

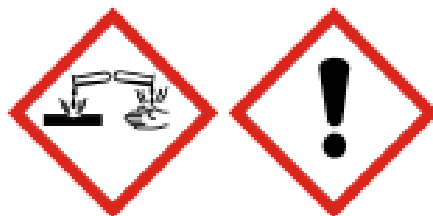
Punto inicial de ebullición: 274,6 °C a 1.013 hPa

Presión de vapor 0,346 Pa a 20 °C

Densidad: 0,971 g /cm<sup>3</sup> a 25 °C

Densidad de vapor: 5,04

Clasificación:



Nocivo en caso de ingestión o en contacto con la piel

Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves

Puede provocar una reacción alérgica en la piel

Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

[63]

- Etilenglicol

N° CAS: 107-21-1

Fórmula molecular:  $C_2H_6O_2$

Masa molar: 62,07 g /mol

Estado físico: líquido

Color: incoloro – amarillo claro

Punto de fusión: -14 a -12 °C a 1.013 hPa

Punto de inflamación: 111 °C a 1.013 hPa (vaso cerrado)

Presión de vapor: 0,12 hPa a 25 °C

Densidad: 1,11 g /cm<sup>3</sup> a 20 °C

Densidad de vapor: 2,14

Solubilidad en agua: 1.000 g /l a 20 °C

Clasificación:



Nocivo en caso de ingestión

Puede provocar daños en los órganos (riñón) tras exposiciones prolongadas o repetidas (en caso de ingestión)

NFPA:





Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 1

Reactividad: 0

[64]

- Microorganismos

Los microorganismos habitan en los diferentes ecosistemas del planeta tierra, y hay de dos tipos: eucariotas quienes tienen un núcleo celular definido como los hongos y algas, y procariotas quienes no tienen un núcleo celular definido como las archaea y bacterias. Y los virus quienes no clasifican en estos dos grupos por no ser capaces de reproducirse por su cuenta.

Al incorporar un laboratorio se consideran los siguientes:

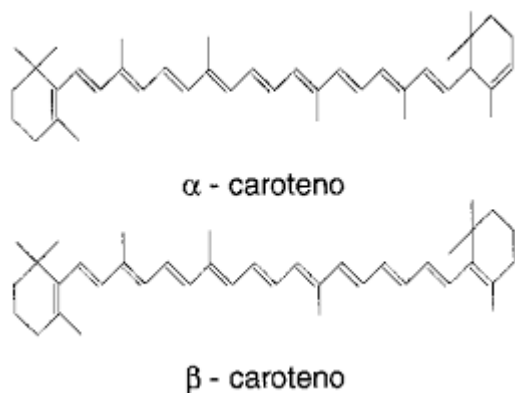
- *Para laboratorio de Nivel I:* Microorganismos, bacterias, hongos, virus y parásitos que no causen enfermedades a humanos y animales.
- *Para laboratorio de Nivel II:* Patógenos que pueden causar enfermedades a humanos o animales, pero que bajo circunstancias normales no producen riesgos altos a humanos, animales, recursos naturales o el medio ambiente. [65]

- Carotenos

Los carotenos son pigmentos naturales que se encuentran en plantas y microorganismos. Se conocen dos tipos de carotenos, el caroteno  $\alpha$  y el caroteno  $\beta$ . [66]

**Figura 35.**

*Estructura caroteno  $\alpha$  y  $\beta$ .*



*Nota. Estructura carotenos. Disponible:*

<https://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/caroteno>

- Clorofila

Son pigmentos los cuales se pueden encontrar en las cianobacterias, plantas y algas. La función de esta molécula es absorber la energía luminosa para poder realizar la fotosíntesis, esta molécula se compone de dos partes: un anillo de porfirina y una cadena de fitol, y absorben las longitudes de onda visibles roja y azul, por lo cual reflejan la verde. [67]

Tipos de clorofila:

**Tabla 41.**

*Tipos de clorofila.*

	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila c<sub>1</sub></b>	<b>Clorofila c<sub>2</sub></b>	<b>Clorofila d</b>
<b>Fórmula empírica</b>	C <sub>55</sub> H <sub>72</sub> O <sub>5</sub> N <sub>4</sub> M	C <sub>55</sub> H <sub>70</sub> O <sub>6</sub> N <sub>4</sub> M	C <sub>35</sub> H <sub>30</sub> O <sub>5</sub> N <sub>4</sub> Mg	C <sub>35</sub> H <sub>28</sub> O <sub>5</sub> N <sub>4</sub> Mg	C <sub>54</sub> H <sub>70</sub> O <sub>6</sub> N <sub>4</sub> M
Grupo C3	-CH=CH <sub>2</sub>	-CH=CH <sub>2</sub>	-CH=CH <sub>2</sub>	-CH=CH <sub>2</sub>	-CHO
Grupo C7	-CH <sub>3</sub>	-CHO	-CH <sub>3</sub>	-CH <sub>3</sub>	-CH <sub>3</sub>
Grupo C8	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	-CH=CH <sub>2</sub>	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>

Grupo C17	- CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COO-	- CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COO-	-CH=CHCOOH	-CH=CHCOOH	- CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COO-
	Fitol	Fitol			Fitol
Enlace C17-C18	Simple	Simple	Doble	Doble	Simple
Distribución	Universal	Sobre tofo Plantae y algas verdes	Cromoalveolados y algas rojas	Cromoalveolados y algas rojas	Algún alga roja

**Nota.** Tipos de clorofila. Disponible: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Clorofila.html>

- Hidróxido de sodio

N° CAS: 1310-73-2

Estado físico: Sólido blanco higroscópico en diversas formas.

Fórmula: NaOH

Masa molecular: 40.0

Punto de ebullición: 1388°C

Punto de fusión: 318°C

Densidad: 2.1 g/cm<sup>3</sup>

Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 109 (muy elevada)

Clasificación:



Nocivo en caso de ingestión

Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares

Puede irritar las vías respiratorias

NFPA:



Riesgos a la salud: 3

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 1

Riesgo especial: Riesgo de contacto

[68]

- Ácido sulfúrico

N° CAS: 7664-93-9

Estado físico: líquido inodoro incoloro aceitoso higroscópico.

Fórmula:  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Masa molecular: 98.1

Se descompone a  $340^\circ\text{C}$

Punto de fusión:  $10^\circ\text{C}$

Densidad relativa: 1.8 ( $20^\circ\text{C}$ )

Solubilidad en agua a  $20^\circ\text{C}$ : miscible

Presión de vapor, Pa a  $20^\circ\text{C}$ :  $< 10$  (despreciable)

Densidad relativa de vapor: 3.4

Clasificación:



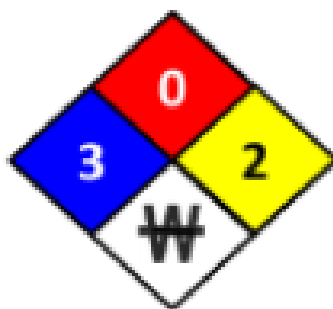
Mortal si se inhala

Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares

Puede irritar las vías respiratorias

Puede ser corrosiva para los metales

NFPA:



Riesgos a la salud: 3

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 2

Riesgo especial: No usar agua

[69]

- Ácido nítrico

N° CAS: 7697-37-2

Estado físico: Líquido de incoloro a amarillo de olor acre.

Fórmula:  $\text{HNO}_3$

Masa molecular: 63.0

Punto de ebullición:  $121^\circ\text{C}$

Punto de fusión:  $-41.6^\circ\text{C}$

Densidad relativa: 1.4

Solubilidad en agua a 20°C: miscible

Presión de vapor, kPa a 20°C: 6.4

Densidad relativa de vapor: 2.2

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C: 1.07

Clasificación:



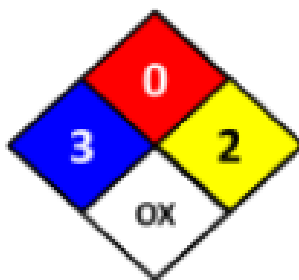
Puede ser corrosiva para los metales

Puede agravar un incendio; comburente

Puede irritar las vías respiratorias

Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares

NFPA:



Riesgos a la salud: 3

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 2

Riesgo especial: Oxidante

[70]

- Butanol

N° CAS: 71-36-3

Estado físico: Líquido incoloro de olor característico.

Fórmula:  $C_4H_{10}O$  /  $CH_3(CH_2)_3OH$

Masa molecular: 74.1

Punto de ebullición: 117°C

Punto de fusión: -90°C

Densidad relativa: 0.81

Solubilidad en agua, g/100ml a 20°C: 7.7

Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.58

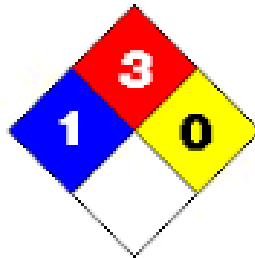
Densidad relativa de vapor: 2.6

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C: 1.01

Punto de inflamación: 29°C c.c.

Temperatura de autoignición: 345°C

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 3

Reactividad: 0

[71]

- Zeolitas

Son piedras microporosas formadas por metales alcalinos o alcalino-terrosos, en los que se destacan el calcio y el sodio, los poros le confieren a este tipo de piedras propiedades absorbentes y ya que son aluminosilicatos tienen la capacidad de realizar intercambio catiónico.

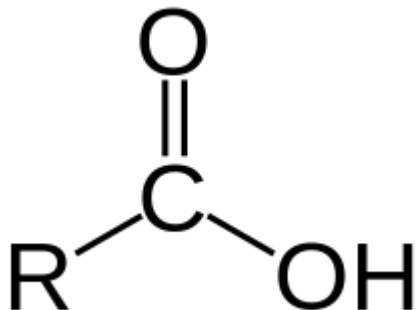
Estas son unas de las técnicas más utilizadas para la remover los metales pesados, por su bajo costo y su alta eficiencia; su uso más común es para tratar los efluentes mineros. [72]

- Ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos son compuestos que llevan el grupo carboxilo o grupo carboxi unido a un alquilo o arilo. Siendo la siguiente su estructura.

**Figura 36.**

*Estructura ácidos carboxílicos.*



**Nota.** Estructura de los ácidos carboxílicos.

Disponible:

<https://steemit.com/spanish/@emiliomoron/cidoscarboxlicos-33rvg3o7m8>

Estos ácidos se usan para la producción de polímeros, solventes, productos farmacéuticos, aditivos para la industria alimentaria y para la formación de aminas, aldehídos, cetonas y ésteres. [73]



Siendo los siguientes ácidos carboxílicos saturados los más comunes.

**Tabla 42.**

*Ácidos carboxílicos saturados comunes.*

<b>Fórmula</b>	<b>Nombre IUPAC</b>	<b>Nombre común</b>
HCOOH	Ácido metanoico	Ácido fórmico
CH <sub>3</sub> COOH	Ácido etanoico	Ácido acético
HOOC-COOH	Ácido etanodioico	Ácido oxálico
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH	Ácido hexanoico	Ácido caproico
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH	Ácido dodecanoico	Ácido láurico

**Nota.** Ácidos carboxílicos saturados más comunes. Disponible:

<https://steemit.com/spanish/@emiliomoron/cidoscarboxlicos-33rvg3o7m8>

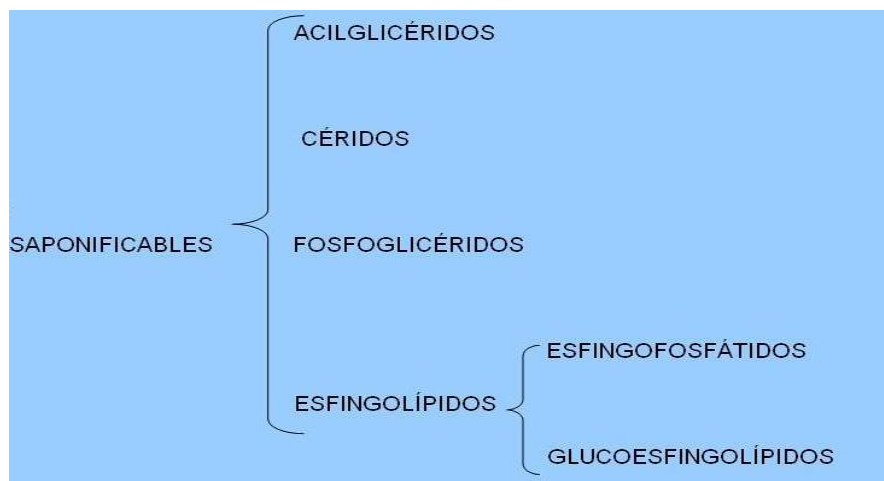
- Saponificables

Entre los lípidos se pueden encontrar los lípidos saponificables, estos contienen ácidos grasos unidos a otro componente por un enlace éster. [74]

Los lípidos saponificables se dividen de la siguiente manera:

**Figura 37.**

*Saponificables.*



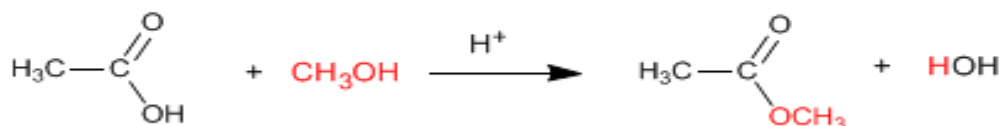
**Nota.** Saponificables. Disponible: <https://www.bionova.org.es/biocast/tema06.htm>

- Esterificación

La esterificación es la síntesis de ésteres a partir de ácidos carboxílicos. Para realizar esta síntesis los reactivos que se usan son ácidos carboxílicos y alcoholes (en exceso) en presencia de ácidos minerales. [75]

**Figura 38.**

*Reacción de esterificación.*



*Nota. Reacción de esterificación. Disponible: <https://www.quimicaorganica.org/146rgáni-carboxilicos/429-sintesis-de-esteres-a-partir-de-acidos-carboxilicos-esterificacion.html>*

- Catalizadores sólidos

Un catalizador es aquella sustancia que se añade a una reacción para alterar su velocidad, ya sea aumentándola o disminuyéndola, sin que este se consuma en dicha reacción. Estos funcionan al modificar la energía de activación.

Los catalizadores sólidos se utilizan para reacciones heterogéneas, dónde el catalizador se encuentra en una fase distinta de los reactivos y productos [76].

Estos catalizadores se presentan de varias formas:

**Figura 39.**

*Tipos de catalizadores sólidos.*



**Nota.** Catalizadores. Disponible:

<https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/temarios/T8%20-%20Catalizadores%20Solidos.pdf>

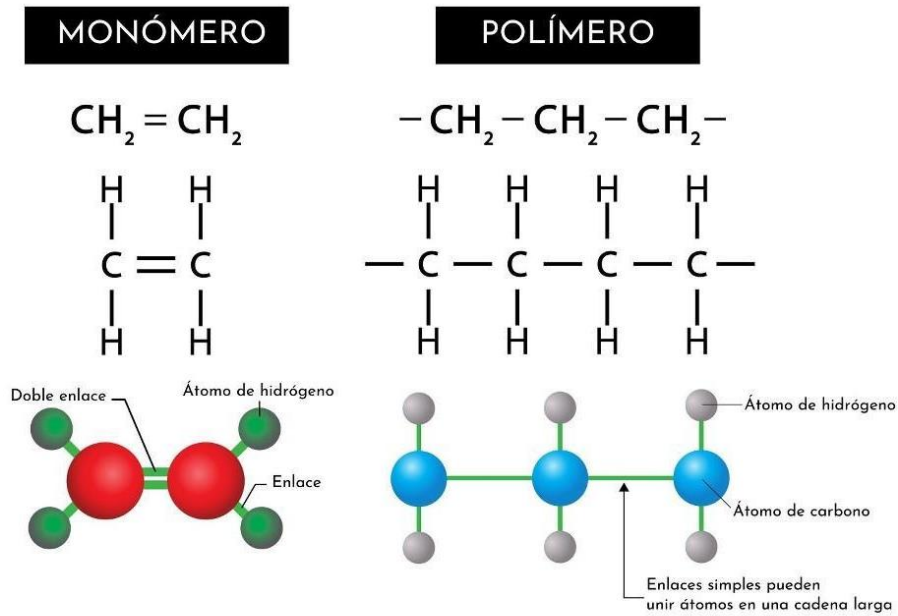
- Polímeros

Los polímeros son macromoléculas que resultan de la unión de varios monómeros, los cuales forman largas cadenas con diferentes estructuras y a esta reacción se le denomina polimerización.

[77]

**Figura 40.**

*Estructura de los polímeros.*



**Nota.** Estructura de los polímeros. Disponible: <https://www.lifeder.com/148rgánica148/>

Los polímeros se destacan por su baja densidad, conductividad térmica y conductividad eléctrica como se ilustra en la tabla.

**Tabla 43.**

Propiedades de algunos polímeros.

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Cond. Term. (W7Mk)	Cond. Elec. (S)
Plásticos	0,9 – 2,3	0,15 – 0,5	-
PE	0,9 – 1,0	0,32 – 0,4	-
PC	1,0 – 1,2	-	-
PVC	1,2 – 1,4	-	10 <sup>-15</sup>

**Nota.** Propiedades de algunos polímeros usados comúnmente. Disponible:

[https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema\\_1.\\_Estructura\\_y\\_propiedades\\_de\\_los\\_polimeros.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_de_los_polimeros.pdf)

- Hidróxido de calcio

N° CAS: 1305-62-0

Estado físico: Cristales incoloros o polvo blanco.

Fórmula:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Masa molecular: 74.1

Se descompone a  $580^\circ\text{C}$

Densidad relativa: 2.2

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0

[78]

- Carbonato de calcio

N° CAS: 471-34-1

Estado físico: Lentejas o polvo blanco.

Fórmula:  $\text{CaCO}_3$

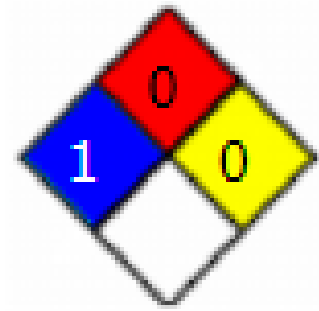
Masa molecular: 100.1

Se descompone a  $825^\circ\text{C}$

Densidad:  $2.8 \text{ g/cm}^3$

Solubilidad en agua, mg/l a  $25^\circ\text{C}$ : 14 (muy escasa)

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0

[79]

- Almidón

Nº Número CAS: 65996-62-5

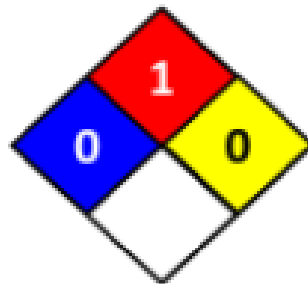
Estado físico: sólido (polvo)

Color: blanco – amarillo claro

Olor: inodoro

Temperatura de autoinflamación: >400 °C

NFPA:



Riesgos a la salud: 0

Inflamabilidad: 1

Reactividad: 0

[80]

- Óxido ferroso

N° CAS: 1345-25-1

Estado físico: Sólido negro en diversas formas.

Fórmula: FeO

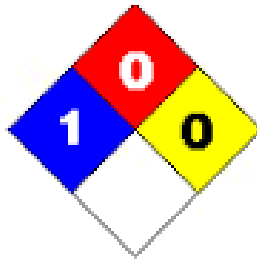
Masa molecular: 71.9

Punto de fusión: 1360°C

Densidad: 5.7 g/cm<sup>3</sup>

Solubilidad en agua: ninguna

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 0

Reactividad: 0

[81]

- Combustible (Diesel)

Estado físico: Líquido.

Color: Incoloro, amarillo claro a ámbar.

Olor: A hidrocarburos. Punto de fusión: 18°C

Punto de ebullición: 177 a 360°C

Punto de inflamación: >52°C

Límites de explosividad o inflamabilidad: Inferior: 0,6% v/v. Superior: 7,5% v/v.

Presión de vapor: 1,0.

Densidad: 820 a 890 Kg/m<sup>3</sup> a 15°C.

Solubilidad: Insoluble en agua.

Clasificación:



Líquido y vapores inflamables.

Puede ser mortal en caso de ingestión y de penetración en las vías respiratorias.

Provoca irritación cutánea.

Nocivo si se inhala.

Susceptible de provocar cáncer.

Puede provocar daños en los órganos (Timo, hígado, médula ósea) tras exposiciones prolongadas o repetidas.

NFPA:



Riesgos a la salud: 1

Inflamabilidad: 2

Reactividad: 0

[82]



- Biomasa

Es un conjunto de residuos de origen biológico, ya sea vegetal o animal, que son biodegradables, estos se pueden obtener de los diferentes tipos de residuos ya sean domésticos y/o industriales. [83]

- Arena

Son partículas de roca, su tamaño varía entre los 0,063 y 2 mm, sus componentes y características también varían según los recursos del lugar. [84]

**Figura 41.**

*Tipos de arenas.*



Nota. Tipos de arenas. Disponible: <https://cursosonlineweb.com/tipos-de-arena.html>

- Lodos de agua de proceso de la torre de enfriamiento

Los lodos del agua de proceso en la torre de enfriamiento deben ser extraídos para evitar que afecte tanto el rendimiento térmico del equipo como la proliferación de microorganismos que pueden contaminar el agua de recirculación. Su composición varía con la carga de contaminantes del ambiente. [85]

Los métodos que se pueden emplear para reducir los efectos negativos son:

- Planes de mantenimiento preventivo.
- Uso de productos biocidas oxidantes y no oxidantes.
- Ozono.
- Luz ultravioleta.
- Iones de cobre y plata.

- Algas

Las algas forman parte del grupo de las criptógamas o plantas sin semillas, pueden ser tanto unicelulares como pluricelulares. Las algas realizan aproximadamente el 50% de la fotosíntesis en el planeta. La mayoría de algas viven en ambientes acuáticos de agua dulce o salada, pero hay algunas especies que también habitan en troncos, bancos de nieve, aguas termales y en simbiosis con animales, hongos u otras plantas. [86]

Existen diferentes grupos de algas, en el siguiente cuadro se muestran los grupos más comunes.

**Tabla 44.**

*Grupos más comunes de algas.*

<b>División</b>	Euglenofitas	Dinoflageladas	Crisofitas	Clorofitas	Feofitas	Rodofitas
<b>Estructura</b>	Unicelular	Unicelular	Unicelular	Unicelular /Pluricelular	Pluricelular	Unicelular /Pluricelular
<b>Coloración</b>	Verde	Pardo amarillento o rojizo	Pardo	Verde	Pardo	Rojo o violeta
<b>Pigmentos</b>	Clorofila, carotenos y xantofilas	Clorofila, carotenos y xantofilas	Clorofila, carotenos y xantofilas	Clorofila y carotenos	Clorofila, carotenos y fucoxantina	Clorofila, carotenos, ficoeritrina, ficobilina, ficocianina
<b>Pared celular</b>	No presenta	Celulosa	Celulosa y sílice	Celulosa	Celulosa	Celulosa

<b>Movimiento</b>	Presenta movimiento con dos flagelos de distinto tamaño	Móviles, gracias a dos flagelos	Inmóviles, con caparazón duro de dos valvas	Móviles las unicelulares. Las pluricelulares sólo móviles los gametos	Móviles sólo los gametos	Sin movimiento
-------------------	---	---------------------------------	---	---	--------------------------	----------------

**Nota.** Tipos más comunes de algas y su descripción. Disponible:

<http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/1bachillerato/organismos/contenidos10.htm>

- **Proteínas**

Son macromoléculas formadas por cadenas de aminoácidos, los cuales se dividen entre aminoácidos esenciales y no esenciales. [87]

**Tabla 45.**

*Aminoácidos esenciales y no esenciales.*

<b>Aminoácidos esenciales</b>	<b>Aminoácidos no esenciales</b>
Histidina	Alanina
Isoleucina	Arginina
Leucina	Asparagina
Lisina	Aspartato
Metionina	Cisteína
Fenilalanina	Glutamato
Treonina	Glutamina
Triptófano	Glicina
Valina	Prolina
	Serina
	Taurina
	Tirosina

**Nota.** Aminoácidos esenciales y no esenciales. Disponible: <https://www.eufic.org/es/que-contienen-los-alimentos/articulo/que-son-las-proteinas-y-cual-es-su-funcion-en-el-cuerpo/>

- **Minerales**

Se produce de forma natural, con una composición química y estructura cristalina definidas. Pueden ser formados por un solo elemento o una combinación. También se fabrican minerales para un uso comercial y a estos se les denominan “Minerales sintéticos”. [88]

Clases de minerales:

- Clase I: Elementos nativos.
- Clase II: Sulfuros y sulfosales.
- Clase III: Halogenuros.
- Clase IV: Óxidos e hidróxidos
- Clase V: Nitratos, carbonatos y boratos.
- Clase VI: Fosfatos, cromatos, molibdatos y wolframatos.
- Clase VII: Fosfatos, vanadatos y arseniatos.
- Clase VIII: Silicatos.

- **Enzimas**

Las enzimas son catalizadores biológicos, ya que aceleran la descomposición de moléculas más grandes, esta no se consume en la reacción y puede ser utilizada varias veces. Estas proteínas son específicas para cada reacción. [89]

**Figura 42.**

*Funcionamiento de una enzima.*



**Nota.** Secuencia del funcionamiento de una enzima. Disponible:

<http://www.laenergíadelcambio.com/que-es-enzima/>

- Indicadores ácido-base

Los Indicadores ácido-base son compuestos orgánicos caracterizados por ser más débiles como base o ácido que el componente que se desea evaluar, y representan colores diferentes a diferentes valores de Ph. [90]

**Tabla 46.**

*Indicadores ácido-base.*

<b>Indicador</b>	<b>Color en medio ácido</b>	<b>Color en medio alcalino</b>	<b>Intervalo de Ph del punto final</b>
Azul de timol	Rojo	Amarillo	1,2 – 2,8
Azul de bromofenol	Amarillo	Morado azulado	3,0 – 4,6
Naranja de metilo	Naranja	Amarillo	3,1 – 4,4
Rojo de metilo	Rojo	Amarillo	4,2 – 6,3
Azul de clorofenol	Amarillo	Rojo	4,8 – 6,4
Azul de bromotimol	Amarillo	Azul	6,0 – 7,6
Rojo de cresol	Amarillo	Rojo	7,2 – 8,8
Fenolftaleína	Incoloro	Rosado	8,3 – 10,0

**Nota.** Tipos y descripción de algunos indicadores ácido-base. Disponible:

<https://www.yubrain.com/ciencia/157rganic/que-es-un-indicador-acido-base/>

- Aceites y grasas vegetales

Estos están constituidos por triglicéridos, lo cuales son ésteres provenientes de la glicerina, con tres ácidos grasos en su estructura. [91]

**Tabla 47.**

*Principales ácidos grasos en los triglicéridos.*

<b>Ácido graso</b>	<b>N° de C</b>	<b>Enlaces dobles</b>	<b>Ubicación</b>
Láurico	12	-	Coco y semillas de palma

Mirístico	14	-	Nuez moscada, como y semillas de palma
Palmítico (s)	16	-	Animales y casi todos los aceites vegetales
Esteárico (s)	18	-	Animales, cacao y casi todos los aceites vegetales
Araquídico	20	-	Cacahuate
Palmitoleico	16	1	Animales y vegetales
Oleico	18	1	Aceituna y almendra
Linoleico	18	2	Axeituna, girasol y soja
Linolénico	18	3	Lino
Araquidónico	20	4	Vegetales
Erúcido	22	1	Calza y uva

**Nota.** Principales ácidos grasos en los triglicéridos. Disponible: <https://www.eii.uva.es/158rgánica/qoi/tema-02.php#:~:text=Las%20grasas%20y%20aceites%20se%20obtienen%20a%20partir%20de%20fuentes,sus%20C3%A1cidos%20grasos%20son%20diferentes.>

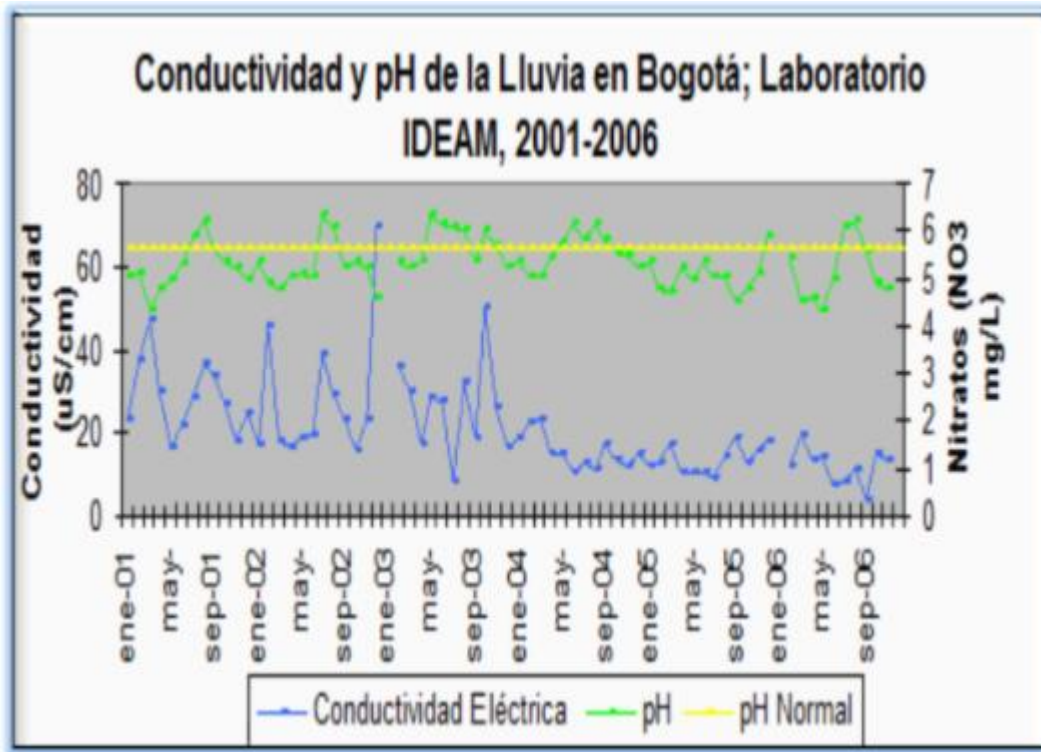
- Agua lluvia

Las aguas lluvia cambian su composición de acuerdo a la ubicación y características del lugar. En la ciudad de Bogotá predominan las lluvias ácidas por ser una ciudad con contaminación de CO<sub>2</sub>, altamente poblada y con aproximadamente una cuarta parte de la actividad industrial en el país.

[92]

Figura 43.

pH de la lluvia en Bogotá.



Nota. pH de la lluvia en la ciudad de Bogotá. Disponible: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-programa-nacional-de-caracterizacion-del-agua-lluvia>

## ANEXO 2.

### TEST DE JARRAS

Para identificar la concentración adecuada para el efluente que se quiere tratar, se deben realizar ensayos a nivel de laboratorio, este proceso consta de tres fases: mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación [93].

Materiales:

- Equipo de test de jarras.
- Turbidímetro.
- 4 o 6 jarras de 2L.
- Muestra del agua a tratar.
- Coagulante-Floculante.
- Termómetro.
- 2 pipetas.

Procedimiento [94], [95]:

1. Determinar los parámetros de temperatura, turbiedad y color del agua a tratar proveniente de la etapa de ajuste de Ph.
2. Llenar cada jarra con un volumen de 2L con la muestra de agua residual.
3. Ubicar las jarras bajo las paletas del equipo del test de jarras.
4. Pre programar 2 ciclos en el equipo del test de jarras, el primer ciclo de mezcla rápida con una duración de 1 min a una velocidad entre 60 y 80 rpm, y para el segundo ciclo de mezcla lenta con una duración de 15 min a una velocidad de 30 rpm. (Procurar que el tiempo y velocidad de agitación iguallen las condiciones a las que opera el sistema de coagulación-floculación de la PTAR).
5. Añadir con una pipeta el coagulante-floculante en las jarras de forma creciente. Por ejemplo: Vaso#1 10 mg/L, Vaso#2 20mg/L, etc.
6. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos y arrancar la agitación con los ciclos pre programados en el paso N°4.
7. Cuando los dos ciclos de mezcla hayan terminado, se apaga el equipo de test de jarras.



8. Permitir que los flóculos formados se sedimenten en el fondo de las jarras por un tiempo de 20 a 30 minutos.
9. Tomar una alícuota de 10 ml del sobre nadante de cada jarra para determinar turbiedad, Ph, temperatura color.
10. Elegir la dosis óptima de coagulante-floculante, que es aquella que tenga el menor valor de turbiedad.

**ANEXO 3.**  
**COAGULADORES.**

Chemical name	Synonyms (Appearance)	Chemical formula (Molecular weight)	Commercial Grade Qualities				
			Bulk density, kg/m <sup>3</sup> (Specific gravity)	Solubility in water, kg/m <sup>3</sup> (%)	Chemical content, % w/w	Water content, % w/w	Ph
Calcium oxide	Lime, quick lime (off-white powder or lump)	CaO (56)	880-960 (-)	1,2 at 25°C (-)	CaO: 75-95 (high calcium) 72-74 (dolomitic)	-	12,5 (0,12% solution)
Calcium hydroxide	Hydrated lime (off-white faint slurry)	Ca(OH) <sub>2</sub> (74)	400-560 (-)	1,6 at 25°C (-)	CaO: 72-74 (high calcium) 46-48 (normal dolomitic) 40-4-2 (pressure dolomitic)	23-24 (high calcium) 15-17 (normal dolomitic) 25-27 (pressure dolomitic)	12,5 (0,16% solution)
	Aluminum sulfate hydrate, dry alum (White or pale green powder)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 14H <sub>2</sub> O (594)	1010-1140 (-)	500 at 0°C (-)	Al: 9	-	3,5 (1% solution)
Aluminum sulfate	Aluminum sulfate octadecahydrate, alum, alum salt (White or pale green lump)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 18H <sub>2</sub> O (666)	1610-1690 (-)	870 at 0°C (-)	Al: 7,9-8,1	-	-
	Liquid alum (clear, light green or amber liquid)	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 49H <sub>2</sub> O <sup>b</sup> (1225)	- (1,30-1,34)	- (100)	Al: 4,1-5,0	45-55	1,9-2,3
Ferric chloride	Iron (III) chloride anhydrous, ferric trichloride (green-black to dark gray or Brown powder)	FeCl <sub>3</sub> (162)	690-960 (-)	740 at 0°C (-)	Fe: 31-34	-	2 (1% solution)
	Iron trichloride, ferric chloride hexahydrate (yellow to Brown lump)	FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O (270)	960-1030 (-)	920 at 0°C (-)	Fe: 20-21	-	-

	Ferric chloride solution (reddish-brown ayrupy liquid)	$\text{FeCl}_3 \cdot 13,1\text{H}_2\text{O}^{\text{d}}$ (398)	- (1,26-1,48)	- (100)	Fe: 8,6-16,3	53-73	<2
	Iron (III) sulfate, ferric sulfate anhydrous (broen to yellow poder)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (400)	200 (-)	Soluble (-)	Fe: 28	-	2-3 (1% solution)
Ferric sulfate	Ferric sulfate nonahydrate (red-brown cristal lump)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (562)	980-1150 (-)	Miscible (-)	Fe: 20	-	-
	Ferric sulfate solution (reddish-brown syrupy liquid)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 30,1\text{H}_2\text{O}^{\text{e}}$ (940)	- (1,38-1,62)	- (100)	Fe: 10-14	28-50	<2
	Iron (III) chloride tetrahydrate, ferrous dichloride tetrahydrate, ferrous chloride tetrahydrate (light green cristal lump)	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (199)	900 (-)	1600 at 10°C (-)	Fe: 17-28	-	<7 (1% solution)
Ferrous chloride	Ferrous chloride solution (pale green liquid)	$\text{FeCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}^{\text{f}}$ (343)	- (1,20-1,40)	- (100)	Fe: 7-17	55-84	<2
	Copperas, ferrous sulfate heptahydrate (blue green cristal lump)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (278)	700-1200 (-)	260 at 20°C (-)	Fe: 20	-	<7 (1% solution)
Ferrous sulfate	Ferrous sulfate solution (green liquid)	$\text{FeSO}_4 \cdot 36\text{H}_2\text{O}^{\text{g}}$ (800)	- (1,14-1,30)	- (100)	Fe: 4-11	70-89	<4

## ANEXO 4.

### RESULTADOS SSI AERATION ®



#### SSI Aeration Calculations + Report

You have selected SSI diffuser model ECD215a (7") disc with 1mm slits, Highest Efficiency Fine Bubble diffusers.

Consultant Name -

End Client Name -

SSI Project Reference -

Client Reference -

#### Design Criteria

BOD loading = 21850 mg/l

NH3 loading = 35.0 mg/l

Altitude = 2600 m

O2:BOD Supply Ratio = 1.2

O2:NH3 Supply Ratio = 4.6

Wastewater Flow Rate = 0.25 m<sup>3</sup>-hr

Diffuser Submergence = 1.8 m

Residual D.O. = 2.0 mg/l

Wastewater Temperature = 25.0 deg.C

Alpha Factor = 0.6

**Output Values**

AOR = 6.57 Kg-hr

SOR = 16.56 Kg-hr

Basis of Design = BOD + NH3 Concentration & Hydraulic Flow Rate

Diffuser Type = Fine Bubble

SSI AERATION CALCULATOR

Diffuser Model = ECD215a (7") disc with 1mm slits, Highest Efficiency

Diffuser Quantity = 180 pcs.

SOTE = 9.14 %-m

SOTE (Total) = 16.45 %

DWP = 103.83 mbar

Tank Airflow Rate = 360 Sm<sup>3</sup>-hr

Diffuser Airflow Rate = 2.0 Sm<sup>3</sup>-hr

Blower Discharge Pressure = 358.83 mbar

Power Consumption = 3.73 kW @ 7.0 cents/kWh

Annual Operating Cost = US\$ 2,290

**Comments:**

Limitation of Liability : You should confirm your generated airflow, pressure, blower pressure, mixing rate and power outputs from this calculator with the factory before proceeding with purchasing equipment or initiating construction.

The information contained in this generator is provided as a service exclusively to SSI clients and is intended for use with SSI products. Calculations intended for submittal purposes will be stamped or embossed with the SSI corporate seal. We accept no liability for the accuracy of self-generated calculations or designs.

SSI is an ISO 9001:2015 Quality Certified company manufacturing diffused aeration systems for municipal and industrial applications for over twenty years. These calculations and recommendations are based on generally available formulas and SSI's extensive experience providing aeration systems to municipal and industrial clients. These values are derived from industry textbooks and consultations. Consult factory if you have any questions or if you would like references. [www.ssiaeration.com](http://www.ssiaeration.com)

## **ANEXO 5.**

### **RECOMENDACIONES**

Realizar en cada operación de la planta un ensayo de jarras, ya que este determina el grado de dosificación de químico.

Analizar y evaluar la posibilidad de reusar el agua tratada en la planta

Verificar criterio de fenoles, fósforo, sulfuros, sulfatos, nitratos, nitrógeno total, nitrógeno inorgánico, nutrientes, etc.

Compartir el secuenciamiento realizado y los criterios de diseño seleccionados con la empresa externa que realizará el proyecto.

El área de Respel debe conocer las especificaciones que se dan en el documento para el tratamiento de los residuos y del agua.