



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA FÁBRICA TEXTILERA LABORATORIO DEL DENIM DEL CANTÓN AMBATO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: GONZALO VINICIO GARCÉS TORRES

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Gonzalo Vinicio Garcés Torres

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Gonzalo Vinicio Garcés Torres, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de mayo de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gonzalo Vinicio Garcés Torres', enclosed within a circular scribble.

Gonzalo Vinicio Garcés Torres

180382930-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA FÁBRICA TEXTILERA LABORATORIO DEL DENIM DEL CANTÓN AMBATO”**, realizado por el señor: **Gonzalo Vinicio Garcés Torres**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON .	13-05-2021
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	13-05-2021
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: MABEL MARIELA PARADA RIVERA	13-05-2021

DEDICATORIA

A mi Dios que sin la bendición de Él y su permisión no habría culminado este camino, a ti mi vieja linda (Teresa) por haberte sacrificado tanto por mí, le agradezco a Dios por haberme dado una guía tan maravillosa como tú en mi vida, a mi papi (Gonzalo) que también me apoyó y siempre se preocupó por mi bienestar, los amo a los dos. También se la dedicó a mi hermana Mery que fue como mi madre, hoy no puedes estar conmigo en estos momentos, pero siempre te llevo presente en mi corazón. A mis hermanas Lady y Miriam gracias por sus palabras de aliento y por todo lo que me han dado, les agradezco. A mi tío Hugo por haberme ayudado a culminar esta meta, mil gracias. Y por último a ti Gaby que en los últimos años de mi carrera siempre me ofreciste tu apoyo incondicional, siempre me impulsaste y creíste en mí, mil gracias, te amo.

Vinicio

AGRADECIMIENTO

A Dios, familiares, amigos y seres queridos, quienes gracias a su apoyo incondicional se convirtieron en la fuerza que me llevó a perseverar y superar cada desafío que se me presentó a lo largo del tiempo en la vida universitaria.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los docentes de la Facultad de Ciencias quienes me adoctrinaron de conocimientos los cuales formaron una parte importante en mi formación académica.

A la Ing. Mayra Zambrano tutor de mi tesis quien fue de un apoyo fundamental para la realización de este proyecto. A la Ing. Mabel Parada quien además de ser la asesora de este proyecto fue quien me otorgó su apoyo, tiempo y conocimientos, factores los cuales fueron de gran relevancia para desarrollar de la mejor manera esta idea.

Vinicio

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ANEXOS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Identificación del Problema	3
1.2. Justificación del Proyecto	4
1.3. Línea base del Proyecto.....	4
<i>1.3.1. Antecedentes de la empresa</i>	<i>4</i>
<i>1.3.1.1 Proceso tecnológico de “Laboratorio del Denim”</i>	<i>5</i>
<i>1.3.1.2 Impacto ambiental generado en el “Laboratorio del Denim”</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2 Localización del proyecto</i>	<i>9</i>
1.4 Beneficiarios directos e indirectos	10
<i>1.4.1 Directos</i>	<i>10</i>
<i>1.4.2 Indirectos.....</i>	<i>10</i>
1.5 Objetivos del proyecto	11
<i>1.5.1 Objetivo general</i>	<i>11</i>
<i>1.5.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>11</i>
CAPÍTULO II.....	12

2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	12
2.1	Antecedentes de la investigación.....	12
2.2	Marco conceptual.....	14
2.2.1	<i>Industria textilera.....</i>	<i>14</i>
2.2.2	<i>Denim</i>	<i>14</i>
2.2.2.1	<i>Características del denim.....</i>	<i>15</i>
2.2.2.2	<i>Propiedades mecánicas del denim.....</i>	<i>15</i>
2.2.2.3	<i>Productos colorantes para el denim</i>	<i>16</i>
2.2.3	<i>Lavado de denim.....</i>	<i>17</i>
2.2.3.1	<i>Procesos que se efectúan en el lavado de denim</i>	<i>17</i>
2.2.4	<i>Aguas residuales.....</i>	<i>19</i>
2.2.4.1	<i>Tipos de aguas residuales</i>	<i>20</i>
2.2.4.2	<i>Características físicas, químicas y biológicas del agua residual textil.....</i>	<i>20</i>
2.2.4.3	<i>Tratamiento de aguas residuales.....</i>	<i>25</i>
2.2.5	<i>Consideraciones para la tratabilidad de aguas residuales</i>	<i>34</i>
2.2.5.1	<i>Índice de biodegradabilidad.....</i>	<i>34</i>
2.2.5.2	<i>Pruebas de tratabilidad.....</i>	<i>35</i>
2.2.6	<i>Marco legal ambiental vigente.....</i>	<i>35</i>
	CAPÍTULO III	38
3	MARCO METODOLÓGICO	38
3.1	Tipo de estudio	38
3.2	Métodos y técnicas	38
3.2.1	<i>Métodos</i>	<i>38</i>
3.2.1.1	<i>Método deductivo.....</i>	<i>38</i>
3.2.1.2	<i>Método inductivo</i>	<i>38</i>
3.2.1.3	<i>Método experimental.....</i>	<i>39</i>
3.2.2	<i>Técnicas</i>	<i>39</i>
3.3	Toma y monitoreo de muestras.....	46

3.3.1	<i>Determinación del caudal</i>	46
3.3.2	<i>Muestreo de agua residual</i>	46
3.3.3	<i>Caracterización inicial del agua residual</i>	46
3.4	Determinación del índice de biodegradabilidad (IB)	47
3.5	Ensayos de tratabilidad a nivel de laboratorio	48
3.5.1	<i>Prueba 1 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de coagulantes</i>	49
3.5.2	<i>Prueba 2 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de cal y PAC al 1%</i>	50
3.5.3	<i>Prueba 3 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de PAC al 1% y floculante</i>	51
3.6	Dimensionamiento de unidades para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la fábrica textilera “Laboratorio del Denim”	52
3.6.1	<i>Caudal de diseño</i>	52
3.6.2	<i>Diseño del tanque sedimentador</i>	53
3.6.2.1	<i>Dosificación de productos químicos</i>	59
3.6.3	<i>Diseño del tanque dosificador</i>	60
3.7	Propuesta para el rediseño	61
3.7.1	<i>Diagrama preexistente de la PTAR “Laboratorio del Denim”</i>	61
3.7.2	<i>Diagrama propuesto para el rediseño de la PTAR “Laboratorio del Denim”</i>	62
3.7.3	<i>Información operativa de la planta de tratamiento</i>	62
3.7.4	<i>Diagrama del proceso</i>	63
CAPÍTULO IV		64
4	RESULTADOS	64
4.1	Diagnóstico inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales	64
4.1.1	<i>Sistema actual de tratamiento de aguas residuales del “Laboratorio del Denim”</i>	64
4.1.2	<i>Evaluación de la eficiencia de la PTAR existente “Laboratorio del Denim”</i>	66
4.2	Caracterización del agua tratada procedente de la planta de tratamiento del “Laboratorio del Denim”	66
4.3	Unidades que conforman el rediseño de la PTAR del “Laboratorio del Denim” ...	67
4.4	Validación del rediseño de la PTAR mediante caracterización físico – química de agua tratada	69

<i>4.4.1 Caracterización final del agua tratada</i>	<i>69</i>
<i>4.4.2 Eficiencia del sistema de tratamiento</i>	<i>71</i>
4.5 Análisis técnico y económico del proyecto	75
<i>4.5.1 Presupuesto para la implementación de equipos</i>	<i>75</i>
<i>4.5.2 Presupuesto de consumo de reactivos</i>	<i>76</i>
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Productos químicos utilizados en el “Laboratorio del Denim”	7
Tabla 2-1:	Consumo de agua por etapa en el “Laboratorio del Denim”	8
Tabla 3-1:	Condiciones meteorológicas de la ciudad de Ambato	9
Tabla 1-2:	Características de los tipos de colorantes utilizados en la industria textil	18
Tabla 2-2:	Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas	27
Tabla 3-2:	Criterios de biodegradabilidad según la relación entre <i>DB05DQ0</i>	34
Tabla 4-2:	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	36
Tabla 1-3:	Muestreo del afluente en la empresa “Laboratorio del Denim”	39
Tabla 2-3:	Manejo y conservación de la muestra de agua residual	40
Tabla 3-3:	Determinación de potencial de hidrógeno (pH)	40
Tabla 4-3:	Determinación de turbiedad	41
Tabla 5-3:	Determinación de Conductividad	41
Tabla 6-3:	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno	42
Tabla 7-3:	Determinación de la Demanda Química de Oxígeno	42
Tabla 8-3:	Determinación de Sólidos Totales	43
Tabla 9-3:	Determinación de sólidos sedimentables	44
Tabla 10-3:	Determinación de sulfatos	45
Tabla 11-3:	Datos de medición de caudal del “Laboratorio del Denim”	46
Tabla 12-3:	Caracterización inicial del afluente procedente de la PTAR “Laboratorio del Denim”	47
Tabla 13-3:	Índice de biodegradabilidad del agua tratada del “Laboratorio del Denim”	48
Tabla 14-3:	Dosificación de los diferentes coagulantes al 1%	49
Tabla 15-3:	Dosis de PAC al 1% a diferentes concentraciones	50
Tabla 16-3:	Determinación de la dosis adecuada de cal y PAC al 1%	51
Tabla 17-3:	Dosificación de PAC al 1% y floculante aniónico	52
Tabla 18-3:	Dimensiones recomendadas para una cámara cilíndrica	56
Tabla 1-4:	Sistema de tratamiento de aguas residuales del “Laboratorio del Denim”	64
Tabla 2-4:	Determinación de la eficiencia de agua residual “Laboratorio del Denim”	66
Tabla 3-4:	Caracterización inicial del afluente procedente de PTAR “Laboratorio del Denim”	66
Tabla 4-4:	Dimensiones del tanque sedimentador de tipo cónico	67
Tabla 5-4:	Dimensiones del tanque dosificador	68
Tabla 6-4:	Caracterización físico – química final del agua tratada	69

Tabla 7-4:	Comparación de resultados de la caracterización inicial del efluente y agua posterior al tratamiento	70
Tabla 8-4:	Porcentaje de remoción del agua tratada	71
Tabla 9-4:	Cotización para la implementación del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales	75
Tabla 10-4:	Costo de químicos por mes para el tratamiento de aguas residuales “Laboratorio del Denim”	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Diagrama del proceso de lavado “Laboratorio del Denim”	6
Figura 2-1:	Ubicación geográfica de la empresa “Laboratorio del Denim”	10
Figura 1-2:	Combinación del tejido	14
Figura 2-2:	Color índigo.....	16
Figura 3-2:	Color del agua residual del lavado de denim	20
Figura 4-2:	Sistema de rejillas de limpieza manual	26
Figura 5-2:	Canales de desarenadores	26
Figura 6-2:	Desengrasador	27
Figura 7-2:	Tanque de homogenización.....	28
Figura 8-2:	Sedimentación	29
Figura 9-2:	Procesos de coagulación – floculación.....	30
Figura 10-2:	Precipitación química.....	30
Figura 11-2:	Filtración con medios granulares	31
Figura 12-2:	Procesos aerobios de aguas residuales	32
Figura 13-2:	Procesos anaeróbicos	33
Figura 14-2:	Procesos de tratamiento terciario	34
Figura 15-2:	Ensayos de tratabilidad	35
Figura 1-3:	Rediseño de la PTAR propuesto para la industria textil “Laboratorio del Denim”	62
Figura 2-3:	Diagrama del proceso de rediseño	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Procedimiento para realizar el test de jarras	48
Gráfico 2-3:	Comportamiento de turbidez en función de la concentración de PAC al 1%	50

ANEXOS

- ANEXO A:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD MEDIANTE EL TEST DE JARRAS
- ANEXO B:** ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL MUESTRA 1
“LABORATORIO DEL DENIM”
- ANEXO C:** ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL MUESTRA 2
“LABORATORIO DEL DENIM”
- ANEXO D:** ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA TRATADA “LABORATORIO
DEL DENIM”
- ANEXO E:** SEDIMENTADOR CIRCULAR CON FONDO CÓNICO Y AGITADOR DE
TURBINA
- ANEXO F:** EQUIPO DE SEDIMENTACIÓN Y TANQUE DOSIFICADOR
- ANEXO G:** DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES “LABORATORIO DEL DENIM”

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales de la fábrica textilera “Laboratorio del Denim”, se inició con la visita in situ para conocer la situación actual de la planta, posteriormente se realizó la caracterización físico – química de muestras de agua tratada que sale de la planta, encontrándose los parámetros de DQO 699 *mg/l*, DBO₅ 280 *mg/l*, sulfatos 595 *mg/l*, sólidos sedimentables 51,325 *mg/l*, color 1418 *Co/Pt*, turbiedad 137,5 UNT y conductividad 1421,15 $\mu S/cm$ que superan el límite máximo permisible establecido en la normativa ambiental vigente. Para definir el tratamiento más ideal se determinó el índice de biodegradabilidad en el cual se obtuvo un valor de 0,40, optándose por tratamientos físico- químicos (coagulación y sedimentación), por lo que se realizó las respectivas pruebas de tratabilidad donde se determinó que la concentración ideal de policloruro de aluminio (PAC) es de 60 ppm a 200 rpm por un tiempo de 2 min, luego disminuir a 40 rpm y mantener en constante agitación durante 30 min, posteriormente se dejó reposar por 1h logrando la clarificación del agua, así pues para determinar la eficiencia de los ensayos efectuados se realizó la caracterización del agua tratada donde se obtuvo que todos los parámetros se encuentran dentro de la normativa ambiental vigente. Finalmente se realizó el rediseño de la PTAR, siendo necesario la implementación de un sedimentador cilíndrico con fondo cónico para su fácil evacuación de lodos, un sistema de agitación y un tanque dosificador destinado para la solución de PAC, se recomienda la implementación de las unidades propuestas y aplicar procesos que impliquen una producción limpia y sostenible con lo cual se contribuirá con el medio ambiente.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <CARACTERIZACIÓN>, <AFUENTE>, <TRATABILIDAD>, <COAGULACIÓN>, <AGITACIÓN>, <SEDIMENTACIÓN>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PAREÑO UQUILLAS



16-04-2021

1023-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The objective of this study was to redesign the wastewater treatment plant of the textile factory “ Laboratorio del Denim”, which began with the on-site visit to find out the current situation of the plant, subsequently, the physical-chemical characterization of treated water samples leaving the plant was carried out, finding the parameters of COD 699 mg / l, BOD5 280 *mg/l*, sulphate 595 mg / l, sedimentable solids 51,325 mg / l, colour 1418 Co / Pt, turbidity 137.5 NTU and conductivity 1421.15 $\mu\text{S} / \text{cm}$ that exceed the maximum permissible limit established in current environmental regulations. To define the most ideal treatment, the biodegradability index was determined in which a value of 0.40 was obtained, opting for physicochemical treatments (coagulation and sedimentation), for which the respective treatability tests were carried out where it was determined that the ideal concentration of aluminium polychloride (PAC) is 60 ppm at 200 rpm for a time of 2 min, then decrease to 40 rpm and keep stirring constantly for 30 min, later, it was left to rest for 1h, achieving the clarification of the water, to determine the efficiency of the tests carried out, the characterization of the treated water was carried out, where it was obtained that all the parameters are within the current environmental regulations. Finally, the redesign of the WWTP was carried out, being necessary the implementation of a cylindrical settler with a conical bottom for easy sludge evacuation, an agitation system and a dosing tank for the PAC solution, the implementation of the proposed units is recommended. and apply processes that involve clean and sustainable products which will contribute to the environment.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <CHARACTERIZATION>, <AFLUENT>, <TRATABILITY>, <COAGULATION>, <AGITATION>, <SEDIMENTATION>.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la contaminación ambiental es uno de los problemas de mayor interés a nivel mundial, puesto que ha causado el deterioro de los ecosistemas y por lo tanto afecta ya sea de manera directa e indirecta la salud y el bienestar de los seres vivos, este efecto se debe principalmente al desarrollo y uso de tecnologías en los diversos procesos industriales, agrícolas, clínico, etc, sin una adecuada planificación y sin tener en cuenta las consecuencias ambientales que puede ocasionar dicha actividad (Domínguez, 2015). Tal es el caso de la industria textilera, la cual se constituye como la segunda cadena productiva que tiene un consumo de agua muy elevado en todos sus procesos, produciendo así el 20% de las aguas residuales a nivel general, así también genera alrededor del 10% de las emisiones de carbono (América retail, 2018).

Según Xicota (2018), menciona que para producir un kg de algodón se requiere de 2.700 litros de agua y alrededor entre 9 – 11 mil para un par de jeans, así pues por cada kg de textiles se emplean 600 litros de agua. De hecho, la industria del denim es probablemente una de las más contaminantes de la industria de la moda, puesto que según (Levi Strauss) destaca que para fabricar un par de jeans se requiere en promedio de 3.781 litros de agua, adicional a ello es importante resaltar que en la etapa de teñido se emplean cantidades de índigo sintético, lo cual incrementa un elevado impacto en la contaminación del agua.

Los líquidos residuales provenientes de esta actividad se caracterizan por presentar alto contenido en color, pH variante, temperaturas altas, elevada concentración de sólidos en suspensión y Demanda Química de Oxígeno, entre otros contaminantes presentes, esto como consecuencia al uso de materia primas diferentes, productos químicos y métodos o técnicas empleadas durante el proceso de producción (Torres, 2016). Por lo tanto, a fin de mitigar el impacto ambiental ocasionado por dichas actividades y hacer cumplir con la normativa actual vigente es importante realizar el tratamiento respectivo previo a ser vertido, es así que varios organismos ambientales y gubernamentales tales como el Ministerio del Ambiente (MAE), Gobierno provincial y el GAD Municipal de dicho lugar se han sumado para trabajar conjuntamente y enfrentar este inconveniente que ha venido afectando a la población en general.

Según Uzal (2012, p.543) indica que los tratamientos convencionales para la depuración de aguas residuales presentan ciertos inconvenientes durante la operación y a su vez el costo es elevado, lo que ocasiona deficiencia en la remoción de los contaminantes presentes y por lo tanto las empresas que se dedican a esta labor tienen problemas ya que la mayoría no pueden sustentarlo. Tal es el caso de la empresa textilera “Laboratorio del Denim”, la misma que se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuya actividad principal son los

Servicios de Ingeniería Industrial (procesos químicos de lavandería en prendas de vestir en jeans y punto), y como consecuencia de este proceso se genera afluentes líquidos con elevada concentración de contaminantes. Estos líquidos residuales reciben el tratamiento respectivo en la planta de tratamientos que dispone la empresa, sin embargo ciertos parámetros no cumplen con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

Razón por el cual, mediante el presente proyecto se pretende realizar el rediseño de la planta de tratamiento de aguas de residuales de la fábrica textilera “Laboratorio del Denim”, lo cual permite minimizar el impacto ambiental y contribuir con la gestión ambiental de la empresa.

CAPÍTULO I

1. DIAGNOSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

Hoy en día, el control ambiental en la provincia de Tungurahua es más estricto, lo que conlleva a la necesidad que el afluente proveniente del proceso industrial de las textileras sea tratada previo a su descarga, con la finalidad de cumplir con la normativa actual vigente. Los tratamientos de agua residual convencionales son costosos y presentan ciertos inconvenientes durante la operación, lo que ocasiona deficiencia en la remoción de los contaminantes presentes en el mismo y como consecuencia de ello las empresas que se dedican a este tipo de actividades presentan inconvenientes ya que la mayoría no pueden sustentarlos (Uzal, 2012, p. 543). Razón por el cual, el gobierno ecuatoriano por medio del Ministerio de Ambiente y los Gobiernos Provinciales y Descentralizados Municipales del país han tomado acciones al respecto con el propósito de disminuir el impacto ambiental que se da en el entorno.

La empresa textilera “Laboratorio del Denim” está ubicada en el Parque Industrial de Ambato, I etapa, 5ta avenida, en el norte de la ciudad del cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuya actividad principal son los Servicios de Ingeniería Industrial, y como consecuencia de este proceso se genera afluentes líquidos con elevada concentración de contaminantes.

De acuerdo con los antecedentes de la empresa “Laboratorio del Denim” es indubitable la necesidad de incluir una mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales, puesto que la empresa no cumple a cabalidad con las normativas ambientales, presentando ciertos inconvenientes al momento de descargar, por lo que se propone solucionar el problema mediante un rediseño en la planta de tratamiento que tienen construida, la cual tiene como función acoger las aguas industriales provenientes de los procesos productivos de la empresa, en este caso siendo el agua de lavado de su materia prima. Estos efluentes industriales no son tratados de una manera adecuada y son enviados directamente al alcantarillado público.

1.2. Justificación del Proyecto

En la industria textilera “Laboratorio del Denim” los requerimientos normativos, así como la obligación de economizar y reutilizar el agua en la industria, hacen preciso que se investigue nuevas alternativas en procesos que ayuden a mejorar la remoción de componentes difícilmente biodegradables en el efluente, así como también un proceso que permita la retención adecuada de lodos del efluente en el proceso productivo. Para el rediseño de la planta de tratamiento, es necesario considerar parámetros como: caudal de diseño, tiempo de vida útil del rediseño propuesto, factores de contaminación, insumos y reactivos utilizados en el proceso de elaboración del producto, concentración de las aguas industriales; todo basado en normas generales para el diseño de tratamiento de aguas residuales, que cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 097-A, sustitutivo del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), libro VI, tabla 8 que habla sobre el límite de descarga hacia el sistema de alcantarillado público (Ministerio del Ambiente, 2015).

La empresa está clasificada como una fábrica de tinturado y lavado que hacen uso de diferentes colorantes y utilizan un elevado volumen de agua para el teñido de su materia prima, tomando en cuenta el consumo de agua en los procesos productivos de la Empresa Laboratorio del Denim y además el impacto ambiental que provoca el hecho de no tener un sistema adecuado de tratamiento para las aguas residuales esta investigación tiene como objetivo encontrar un proceso adecuado para dar tratamiento a las aguas residuales de la empresa.

1.3. Línea base del Proyecto

1.3.1. Antecedentes de la empresa

La empresa “Laboratorio del Denim Ecuador Ldeec Cia. Ltda.”, es una empresa en Ecuador, se encuentra en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, en la quinta avenida del parque industrial de Ambato, primera etapa, se dedica al desarrollo de procesos químicos de lavandería en prendas de vestir en jeans y punto. Tuvo sus inicios el 28 de agosto de 2014, y desde entonces hasta la fecha viene trabajando en este ámbito, pues en la actualidad cuenta con una planta con capacidad de 1000 kg de prendas por día, y para cumplir dichas actividades emplea a 12 (2018) personas, las mismas que se desempeñan en las diferentes áreas.

Actualmente, la empresa cuenta con tres procesos principales tales como: área de lavado, manualidades y muestra, a continuación se describe las actividades que se desarrolla en cada una de ellas:

Por lo general, el proceso de lavado del denim comienza con la recepción de las piezas o lotes de prendas denim crudas que solicitan los clientes, luego éstas son clasificadas por el personal competente en el área, además se encargan de contabilizar las unidades que van a ingresar al proceso de lavado, posteriormente ingresan a ensayos preliminares en el laboratorio de control con el objetivo de obtener una muestra representativa para la validación según los requerimientos del cliente, siendo necesario realizar un análisis e investigación del tipo de tela y desarrollo del proceso, permitiendo determinar si la prenda es apta para ser sometida a los distintos procesos de lavado.

Una vez determinado el requerimiento del cliente se procede a llenar datos de información, para ello es importante considerar el peso y la cantidad por lote, adicionalmente se detalla el tipo de lavado, formulación de químicos a utilizar, tipo de prenda, tiempo de duración de cada etapa y finalmente se lleva el proceso como tal, posteriormente estas son puestas a secar, y finalmente son llevadas al área de manualidades para realizar el respectivo empaque y listo para entregar al cliente. Cabe destacar que se efectúa el control de calidad en cada una de las etapas con el fin de mejorar la calidad de la prenda

La empresa cuenta con 4 máquinas para el lavado y tinturado, 3 lavadoras industriales, las mismas que están equipadas adecuadamente. También posee el área que comprende el proceso de san blas químico, el cual consiste en realizar la decoloración de la prenda y una vez llevado a cabo el proceso las prendas regresan al área húmeda para continuar con el lavado y teñido,

También dispone de una bodega en el que se almacenan sustancias químicas como: colorantes, humectantes, suavizantes y otros, dichos productos son empleados para los respectivos procesos mencionados anteriormente.

La presente investigación se enfoca en tratamientos para el afluente que se genera en el proceso de lavado de denim, siendo muy importante considerar la información necesaria con la finalidad de dar solución a la problemática.

1.3.1.1 Proceso tecnológico de “Laboratorio del Denim”

El proceso general de lavado de denim consta de las siguientes etapas: desengomado, abrasión, bajado, neutralizado, blanqueo, remoción de peróxido de hidrógeno, tinturado y teñido (teñido, fijado y suavizado), suavizado.

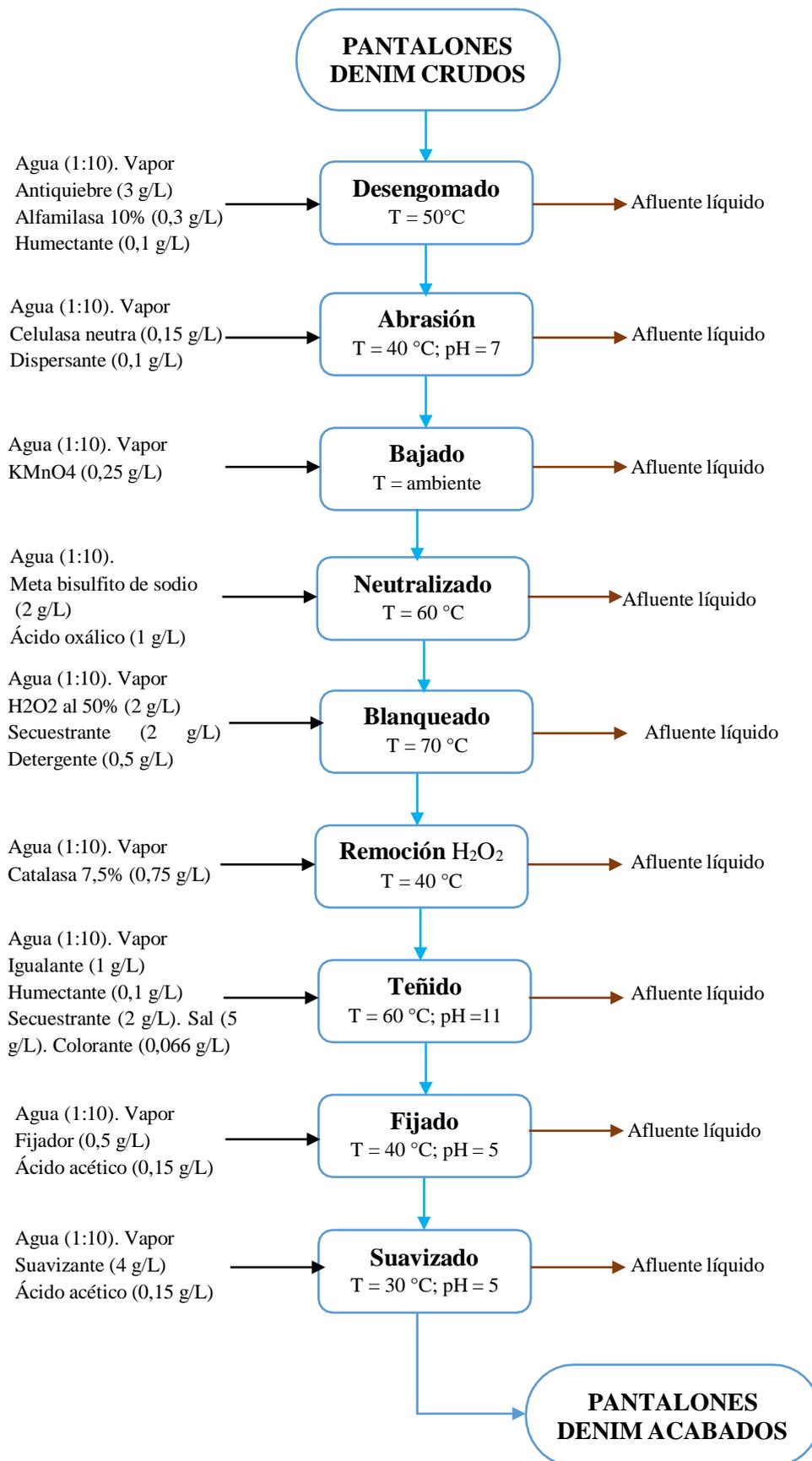


Figura 1-1: Diagrama del proceso de lavado “Laboratorio del Denim”

Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

✓ Productos químicos utilizados por la industria textilera “Laboratorio del Denim”

Tabla 1-1: Productos químicos utilizados en el “Laboratorio del Denim”

Proceso	Químicos empleados	Dosificación (g/L)
Desengomado	Antiquiebre	3,0
	Alfamilasa (10%)	0,3
	Humectante	0,1
Abrasión	Celulasa neutra	0,15
	Dispersante	0,1
Bajado	Permanganato de potasio	0,25
Neutralizado	Metabisulfito de sodio	2,0
	Ácido oxálico	1,0
Blanqueado	Peróxido de hidrógeno (50%)	2,0
	Secuestrante	2,0
	Detergente	0,5
Remoción de peróxido de hidrógeno	Catalasa (7,5%)	0,75
Teñido	Igualante	1,0
	Humectante	0,1
	Secuestrante	2,0
	Sal	5,0
	Colorante	0,066
Fijado	Fijador	0,5
	Ácido acético	0,15
Suavizado	Suavizante	4,0
	Ácido acético	0,15

Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

✓ Consumo de agua en el proceso de lavado “Laboratorio del Denim”

El sistema de lavado en el “Laboratorio del Denim” se efectúa mediante lotes o tipo batch, de modo que el lavado se lleva a cabo dentro de la máquina lavadora la cual dispone de un tambor rotatorio que gira permitiendo el contacto de las prendas con el agua y los productos químicos, a continuación se describe el consumo de agua promedio, este dato es en base a los 1000 kg de prendas lavadas.

Tabla 2-1: Consumo de agua por etapa en el “Laboratorio del Denim”

Descripción	Producción diaria (kg)	Producción mensual (kg)
Prendas de denim crudas	1.000	20.0000
Consumo de agua		
Etapas	Diario (m³)	Mensual (m³)
Desengomado	10	200
Enjuagado doble	20	400
Abrasión	10	200
Enjuagado doble	20	400
Bajado	10	200
Enjuagado doble	20	400
Neutralizado	10	200
Enjuagado doble	20	400
Blanqueo	10	200
Enjuagado doble	20	400
Remoción de peróxido de hidrógeno	10	200
Enjuagado doble	20	400
Teñido	10	200
Enjuagado doble	20	400
Fijado	10	200
Enjuagado doble	20	400
Suavizado	10	200
Total	250	5.000

Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

1.3.1.2 Impacto ambiental generado en el “Laboratorio del Denim”

Producto del lavado de las prendas de denim crudas se genera problemas medioambientales, puesto que afecta los recursos más importantes del entorno como: agua, suelo y aire, siendo indispensable realizar el respectivo tratamiento con la finalidad de mantener un proceso tecnológico limpio y sostenible. A continuación, se describe los tipos de residuos que se generan en el “Laboratorio del Denim”:

- ✓ Efluentes líquidos producidos en el lavado de “denim”

En el lavado de denim el agua es el recurso más utilizado, puesto que está presente en todos los procesos, así pues según la tabla 2-1 se observa que para lavar 1.000 kg de prendas de denim crudas se necesita 250 m³ de agua y debido al uso de productos químicos presenta una gran

variación en su composición ya que existe la presencia de colorantes, tensoactivos, ácidos, álcalis, aceites minerales, etc, con el propósito de mantener una gestión sostenible del agua es importante realizar el tratamiento respectivo, previo a ser vertido al medio receptor, con lo cual se contribuirá a la protección del medio ambiente y la optimización de los procesos productivos. Por otro lado, el consumo de agua depende de algunos factores tales como: ciclos de lavado utilizados en cada caso, disponibilidad de sistemas de reciclaje y la necesidad de lavado en instalaciones y equipos.

- ✓ Residuos sólidos que se generan en el proceso de lavado de “denim”

Generalmente, en los procesos de lavado denim se generan residuos de diferente naturaleza, entre los que sobresalen son: residuos no peligrosos, corresponden a aquellos residuos textiles, encontrándose los recortes de tejidos, hilos, fibras, piezas, lodos de depuradora textil, etc.; residuos peligrosos tales como residuos químicos, colorantes, pastas de estampación, grasas y trapos impregnados de aceites, baterías, equipos eléctricos y electrónicos, residuos de disolventes.

1.3.2 Localización del proyecto

El presente proyecto será implementado en la empresa textilera “Laboratorio del Denim”, situada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, en la quinta avenida del parque industrial de Ambato, I etapa.

Tabla 3-1: Condiciones meteorológicas de la ciudad de Ambato

Parámetros	Valores promedios
Temperatura promedio (°C)	14,6
Latitud	-1.196683
Longitud	-78.590116
Altitud	2671m.s.n.m.

Fuente: (CLIMATE-DATA.ORG, 2020).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.



Figura 2-1: Ubicación geográfica de la empresa “Laboratorio del Denim”

Fuente: Google Maps, 2020.

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Directos

Los beneficiarios directos del presente proyecto serán:

- ✓ La empresa “Laboratorio del Denim”, ya que permitirá evitar sanciones económicas por los organismos de control, así como el Ministerio de Ambiente y los Gobiernos Provincial y Cantonal.
- ✓ El personal que labora en la planta ya que están directamente inmersos en los diferentes procesos, de manera que garantice proteger la integridad de los mismos.

1.4.2 Indirectos

Las personas que se beneficiarán de forma indirecta son:

- ✓ La población aledaña a la planta industrial ya que con un tratamiento adecuado mejoraría la calidad del medio que los rodea.

- ✓ El Ministerio de Ambiente, GAD Provincial de Tungurahua y del cantón Ambato, debido a que son organismos de control que buscan minimizar la contaminación ambiental generada en este tipo de industrias.

1.5 Objetivos del proyecto

1.5.1 Objetivo general

- ✓ Rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales de la fábrica textilera “Laboratorio del Denim” del cantón Ambato.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar el diagnóstico inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales
- ✓ Caracterizar el agua residual que va a ser utilizada, tomando en cuenta parámetros físicos, químicos.
- ✓ Establecer las variables del proceso que se hallen fuera del límite máximo permisible de acuerdo a la normativa ambiental vigente que se encuentra en el artículo 097-A, sustitutivo del TULSMA, libro VI, tabla 8.
- ✓ Realizar los cálculos correspondientes para el rediseño de la planta de tratamiento aplicando operaciones de ingeniería.
- ✓ Validar el rediseño de la planta de tratamiento, mediante el análisis del agua que se evacua del proceso industrial de acuerdo a la normativa ambiental vigente al artículo 097-A, sustitutivo del TUSLMA, libro VI, tabla 8, que habla sobre los límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público.
- ✓ Analizar la viabilidad técnica y económica de la propuesta.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes de la investigación

Hasta la actualidad existen diversos estudios con temas relacionados al diseño, rediseño de plantas de tratamientos de aguas residuales de la industria textil, así también proyectos de producción sostenible y amigable con el medio ambiente, siendo el fundamento ideal para ejecutar la presente investigación, pues conforme a ello se logra mejorar y buscar estrategias y alternativas más adecuadas de acuerdo al requerimiento de la empresa, a continuación se describen algunas investigaciones realizadas:

En 2013, Oña y Falconí en su estudio denominado “Tratamiento avanzado de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “Mundocolor” mediante electrocoagulación” mencionan que la electrocoagulación es el método más ideal para la depuración de afluentes de la industria textil, para lo cual realizaron una serie de experimentos y la construcción de un prototipo, el mismo que consta de un tanque ecualizador, una celda de electrocoagulación, un sistema de remoción de lodos mediante barrido y un tanque sedimentador y habiendo puesto en marcha lograron remover los parámetros críticos del agua, de manera que cumplan con la normativa actual vigente, con lo cual indica que obtuvieron una remoción de color del 96%.

En 2016, Narváez en su proyecto “Estudio de tratabilidad de las aguas residuales industriales para la industria textilera de jean” menciona que al realizar varios ensayos de tratabilidad determinó que el coagulante ideal es el Policloruro de aluminio al 30% y floculante de alto peso molecular de tipo catiónico, logrando obtener buenos resultados con los siguientes porcentajes de remoción: sólidos suspendidos 72,02%, DQO 63,5%, DBO5 45,38% y fenoles 63,5%. Dichos resultados permitieron realizar el diseño preliminar de una planta de tratamiento de aguas residuales para la textilera ECUATINTEX para una capacidad de 120 $m^3/día$, la misma contiene tanques homogenizadores, sedimentadores, para mezclar los productos químicos se destinan bombas, y finalmente los lodos generados serán secados por filtración y acción solar.

Según Henao y Ramírez (2016), en su estudio “Tratamiento de aguas residuales del sector textil mediante proceso acoplado electro – coagulación y electro – oxidación”, indica que realizaron experimentos para los dos procesos, así pues para el proceso de electrocoagulación realizaron

bajo las siguientes condiciones: electrodos de Fe, tiempo de electrólisis 5 min y densidad de corriente de 10 mA/cm^2 , con lo cual obtuvieron una degradación de DQO de 49,36% y color del 100% con un consumo energético de $0,976 \text{ KWh/m}^3$, esto mediante un diseño estadístico factorial 3^k . Por otro lado, el proceso de electro - oxidación fue realizado mediante un diseño de experimentos de superficie de respuesta Box – Behnken, para lo cual utilizaron agua tratada por electrocoagulación bajo las condiciones anteriormente descritas, adicional a ello un ánodo de grafito y un cátodo de titanio, una vez finalizado el tratamiento y caracterizado el líquido tratado encontraron valores óptimos de pH 7, conductividad de $5,5 \text{ mS/cm}$ con una densidad de corriente de 20 mA/cm^2 , con lo cual alcanzaron una remoción de DQO 62,16% y DCOT 74,23% y un consumo energético de $14,98 \text{ KWh/m}^3$. De hecho, se destaca que la eficiencia global del proceso reportó una reducción de DQO 80,85% y de color 100%, tiempo de operación de 35 min, consumo energético de $15,96 \text{ KWh/m}^3$ y una producción de lodos de $0,882 \text{ kg/m}^3$ con una humedad del 20%, dicho resultados permitieron realizar el diseño de una PTAR para $400 \text{ m}^3/\text{día}$.

Según Chávez (2017), en su proyecto denominado “Estudio de la reducción del consumo de agua en el proceso enzimático de lavado de pantalones denim mediante combinación de etapas”, realizó un estudio empleando tanto el proceso convencional como el combinado, así pues indica que el proceso con etapas combinadas en el mismo baño es viable, donde obtuvo que la calidad de la prenda tratada por este proceso dio una puntuación promedio de 16,8/20, mientras que por el proceso convencional dio un valor de 15,6/20, de igual manera al analizar las propiedades físico – mecánicas de cambios dimensionales y de peso fueron similares, pero se difieren en la carga a la rotura y elongación puesto que resultó mayor la prenda tratada por el proceso combinado; asimismo es importante destacar que el consumo de agua al efectuarse por medio del proceso combinado se redujo en un 70%, consumo de energía en forma de vapor en un 52,85% y tiempo de operación en un 18,88%.

Según Olovacha (2017), en su estudio “Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa textil Andelas” destaca que el afluente procedente de los diversos procesos de lavado es de naturaleza poco biodegradable esto de acuerdo al índice de biodegradabilidad determinado, con lo cual ha definido el tipo de tratamiento a aplicar, optándose por tratamientos físicos químicos, así pues según las pruebas de tratabilidad indica que el coagulante más idóneo es el Policloruro de aluminio, con dosificación de 240 ml donde la turbiedad se redujo a un valor de 694,91 NTU, pH de 8,52 a 200 rpm por un tiempo de agitación de 30 min, sin embargo al emplear el auxiliar de coagulación CHEMFLOCK – N100 con dosis de 280 ml obtuvo una turbiedad final de 0,63 NTU con una remoción de 99,91%, de igual manera la remoción máxima de color 99,89%, DBO_5 99,94% y DQO 99,99%. Las unidades del rediseño consta de un

mezclador rápido de turbina, sedimentador de flujo horizontal de tasa alta y un filtro lento combinado de arena y carbón activado adecuado para efectuar el tratamiento de acuerdo a las necesidades de la planta.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Industria textilera

Empresa que se dedica a la fabricación de fibras (naturales y sintéticas), telas, hilados y otros productos relacionados con la vestimenta y ropa, e incluso procesos como el punto, anudado de alfombras, acabado, enfurtido y tinción de tejidos (Herbert y Plattus, 2001; Neefus y Lee, s.f). Se caracteriza por ser una industria que ha marcado la economía de la mayoría de los países, principalmente de los países que se encuentran en vías de desarrollo ya que no requieren de una tecnología especializada y elevados costos de inversión en equipos y materias primas para su fabricación.

2.2.2 Denim

El Denim es un tejido de algodón constituido por dos hilos, una de urdimbre de color azul y la otra de trama sin teñir de color blanco, siendo empleado para la fabricación de ropa desde jeans hasta bikinis (Saavedra, 2017). Trama es el hilo de forma horizontal, transversal; mientras que urdimbre corresponde al hilo vertical, longitudinal.

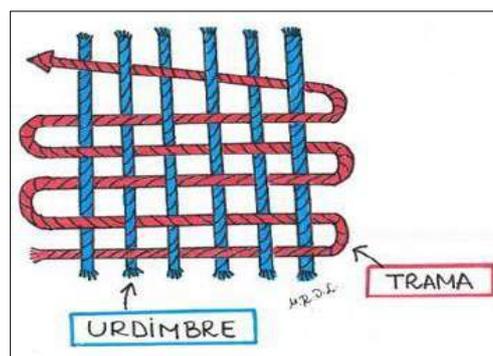


Figura 1-2: Combinación del tejido

Fuente: Palacio, 2018.

Tela creada en el siglo XVII, en la ciudad de Nimes, Francia, pues en honor a esta localidad se conoce como el tejido de Nimes o denim, fue utilizado para la confección de toldos, velas para barcos, carpas, tiendas de campaña y lonas por presentar una buena resistencia a las condiciones

climáticas y su durabilidad (Saavedra, 2017), es así en el año de 1850 se convirtió en vestimenta cuando el francés Levi Strauss viajó a Estados Unidos y analizó que la tela era muy resistente y desde entonces empezaron a confeccionar prendas, overoles, pantalones y vestiduras específicamente para el personal que se dedicaban a las actividades de minería y obras de ferrocarriles. Posteriormente en los años 40 y 50 fueron empleados para la elaboración de pantalones de los actores, transformándose en un vestuario muy anhelado por los jóvenes de ese tiempo, más tarde en los años 60 los muchachos empezaron a utilizar como un traje de uso cotidiano y de hecho los genoveses se interesaron por teñir la tela con un exclusivo color azul índigo proveniente de la India, constituyéndose como la vestidura más representativa de la moda debido a las características y propiedades únicas, gracias a este avance en la actualidad es la base de la industria textil (Capitán Denim, 2019; Chávez, 2017, p. 1).

2.2.2.1 *Características del denim*

Por lo general el tejido denim presenta las siguientes características:

- Se caracteriza por ser una tela de urdimbre azul o índigo y de trama blanco por el revés de la tela.
- Tela muy resistente a las arrugas y de mayor tiempo de duración.
- De aspecto muy rígido previo a los acabados, siendo importante ejecutar el proceso de lavado.
- El tejido está constituido por fibras 100% de algodón, así también de mezcla de algodón y spandex, algodón y lino o 100% lino.
- Por tratarse de un tejido de composición en fibras de algodón suele desteñirse con el lavado.

2.2.2.2 *Propiedades mecánicas del denim*

Dentro de las propiedades mecánicas del denim se encuentran dos parámetros muy indispensables que es necesario considerar, tales como:

Estabilidad dimensional: se refiere a la capacidad que tiene la tela para resistir la contracción o el estiramiento, pues mientras mejor y mayor sea la estabilidad dimensional de un tejido menor será su encogimiento durante el procesamiento y tratamiento. El tejido puede verse afectada por 3 factores tales como: tensión, hinchazón y lana de fieltro. A continuación se detalla cada uno de ellos:

- **Tensión:** este factor influye de forma directa durante la fabricación cuando los hilos se mantienen estirados, es así telas de estructura bien definida son más estables.
- **Hinchazón:** este fenómeno se produce cuando las fibras están expuestas a la humedad ya que presentan propiedades hidrofílicas (afinidad con el agua), por tanto la fibra se expande y da lugar a la contracción.

Resistencia a la rigidez y tensión: hace referencia a la capacidad que tiene el hilo para resistir la fuerza de rotura, pues se constituye la propiedad que define la durabilidad de la tela. Así según estudios indican que la resistencia de desgarrar de los jeans disminuye debido al lavado y aun mas con el número de lavados, de igual manera cuando se efectúa el lavado con la adición de enzimas y al no ser controlados adecuadamente y finalmente cuando se utilizan suavizantes durante el lavado. Por lo tanto, la resistencia al desgarrar se ve perjudicado por el lavado y el contenido de elastano de la tela (Nilson y Lindstam, 2012: pp. 10-11).

2.2.2.3 *Productos colorantes para el denim*



Figura 2-2: Color índigo

Fuente: (Fotomanias, 2019).

El colorante principal empleado para teñir el denim es el índigo, se caracteriza por ser uno de los colorantes más antiguos utilizados para el tinturado en la industria textil y en imprenta, es así que países asiáticos como: India, China, Japón han utilizado durante muchos años para realizar dicha actividad. Antiguamente el índigo era extraído de forma natural de las plantas del género *Indigofera* originario de las zonas tropicales, sin embargo en los últimos años debido al crecimiento y desarrollo de la moda moderna, este producto es sustituido por productos sintéticos.

El índigo es un colorante azul utilizado principalmente para brindar el color a los tejidos del denim, de manera exclusiva los jeans azules, se caracteriza por proporcionar mayor durabilidad del color en el tiempo, estabilidad a los rayos UV e insoluble en agua. En la actualidad existen

dos tipos de colorantes de índigo: naturales y sintéticos, este último siendo el más utilizado por las industrias textiles.

2.2.3 Lavado de denim

Es el proceso que consiste en realizar los acabados correspondientes a la prenda del denim, es decir ayuda a mejorar la apariencia de la prenda luego de haber sido confeccionada, constituyendo un gran desafío para las lavanderías de jeans.

2.2.3.1 Procesos que se efectúan en el lavado de denim

Desengomado: proceso mediante el cual el tejido es tratado con enzimas amilasas, puesto que el objetivo principal es eliminar la sustancia adhesiva llamada goma que se encuentra presente en la urdimbre. Además permite que la tela logre alcanzar una buena humectación garantizando así un mejor descruce, tinturación y obtener un producto con las mejores características. Este proceso suele llevarse a cabo mediante la degradación biológica del almidón empleado en la etapa anterior, convirtiéndolo en subproductos solubles de fácil eliminación mediante el lavado (Lockúan, 2012, p. 8).

Por lo general, el proceso de desengomado más habitual suele efectuarse mediante el tratamiento con enzimas amilasas, puesto que permite remover en su totalidad el almidón de la prenda sin ocasionar ningún daño tanto al tejido como al medio ambiente, lo cual hace que el proceso sea biodegradable y el efluente generado no cause ningún efecto negativo al ambiente (Lockúan, 2012, p. 8).

Stone Washing: también conocido como el proceso de abrasión, el cual consiste en tratar la prenda con piedras pómez o volcánicas dentro de una lavadora, debido al lavado permite remover partículas de colorante de la tela de denim dando lugar a una prenda de apariencia decolorada o desgastada. Sin embargo, en la actualidad la piedra pómez es sustituida por la enzima celulasa, siendo la más utilizada para el acabado de prendas de denim ya que brinda múltiples ventajas como: evita el daño en las máquinas lavadoras y el tejido, genera menor impacto en el agua residual ya que se trata de un proceso biodegradable, ayuda al incremento de la carga de tejidos en la lavadora, reduce el tiempo de operación, entre otros (Chávez, 2018).

Bajado: proceso que consiste en bajar el color de las prendas de denim mediante la adición de permanganato de potasio ya que es un agente oxidante fuerte y propio para este fin, aunque existen otros productos químicos como: el hipoclorito de sodio que permite obtener prendas con casi

todos los tonos disponibles, sin embargo, su uso es limitado debido a que genera un gran impacto ambiental requiriendo de un control estricto para su tratamiento; la glucosa suele ser utilizado también como agente reductor para colorantes sulfurosos, al igual que el químico anterior presenta un inconveniente debido a las altas temperaturas a la cual debe ser sometida (Khalil et al., 2015, pp. 271-273).

Neutralizado: proceso que permite eliminar el agente oxidante empleado en la etapa de bajado, ajustándolo a un pH normal, lo cual ayuda a mantener la fuerza de la fibra, disminuye el olor desagradable de la prenda, previene que la prenda se vuelva amarilla y evita que se produzca irritación de la piel (Chávez, 2018). Comúnmente, para este proceso utilizan metasulfito de sodio y ácido oxálico por brindar una alta eficiencia para su neutralización.

Blanqueado: el objetivo principal de esta etapa es decolorar el denim en zonas específicas, permitiendo obtener un material estable para el teñido sin que afecte el color final de la prenda, así el grado de la acción de blanqueo depende de la fuerza del agente blanqueador, temperatura, duración de tratamiento y uso de estabilizantes del blanqueo (Lockúan, 2012, pp. 10-11).

Las sustancias químicas empleadas como agentes blanqueadores para fibras celulósicas son el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el hipoclorito de sodio ($NaClO$), pues para alcanzar un carácter alcalino en el baño de blanqueo se requiere del uso de hidróxido de sodio ($NaOH$) para los dos casos, lo que permitirá la formación del ion blanqueador (Lockúan, 2012, pp. 10-11).

Remoción de peróxido de hidrógeno: consiste en la eliminación de peróxido de hidrógeno empleado en la etapa de blanqueo, para lo cual se utiliza una enzima llamada catalasa la cual permite que la prenda esté preparada para el proceso de teñido.

Teñido: es el proceso que proporciona color a la prenda de denim para cambiar tonos claros de índigo, hoy en día existe una amplia variedad de colorantes con características específicas de solidez, tonalidad, economía, aplicación y brillantez, a continuación se describe en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Características de los tipos de colorantes utilizados en la industria textil

Tipos de colorantes	Características
Colorantes directos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ideal para teñir tejidos de algodón. ✓ De fácil aplicación para fibras celulósicas ya que es un colorante soluble y de gran afinidad. ✓ Suele efectuarse a temperaturas medias.

Colorantes reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requiere de mayor tiempo de proceso de teñido con respecto a los colorantes directos. ✓ Su costo tiende a incrementarse debido a la duración del proceso. ✓ Existen dos clases: Alta reactividad: reaccionan de manera fácil con las fibras sin el requerimiento de condiciones especiales. Baja reactividad: condiciones más estrictas para el control de proceso.
Colorantes sulfurosos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Brinda tonalidades fuertes. ✓ Su costo es bajo. ✓ Genera prendas de aspecto áspero y con olor sulfuroso.
Colorantes pigmentados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Proporciona tonalidades limitados y fuertes. ✓ Su costo es eficiente. ✓ Son insolubles en agua pero solubles en medio alcalino y en presencia de sulfuro de sodio como agente reductor. ✓ Genera efluentes con elevada carga de contaminantes.
Colorantes a la tina	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Son in solubles en agua. ✓ De costo elevado con respecto a los otros tipos. ✓ Excelente cuando se desee obtener colorantes apagados. ✓ Genera impacto negativo al medio ambiente y puede causar algún efecto en la salud humana.

Fuente: Lockúan, 2012, pp. 82-85.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Suavizado: es el proceso húmedo final que permite mejorar la apariencia de la prenda de denim, puesto que esta al ser sometida a los diferentes tratamientos suele verse modificado su composición y aspecto. Habitualmente los suavizantes utilizados para esta etapa son los de tipo catiónico.

2.2.4 Aguas residuales

Hace referencia a aquellas aguas con residuos procedentes de vertidos de diferentes actividades que realiza el ser humano que pueden ser de origen domésticos e industriales, alterando su composición físico – química y biológica original, por lo que previo a ser descargado a un medio receptor o reutilizado debe ser tratado de manera adecuada (Metcalf & Eddy, 1995: pp. 2-3). Cabe destacar que los residuos líquidos se diferencian ya que tienen diferente procedencia.

El agua residual procedente de los procesos de lavado de denim tiene una composición muy variada, puesto que este tipo de afluentes se caracterizan por presentar elevada carga contaminante debido al uso de productos químicos como colorantes, neutralizantes, surfactantes, secuestrantes, humectantes, suavizantes, agentes anti quiebre, blanqueadores químicos, entre otros, ocasionando la degradación original de la calidad de este recurso hídrico.

2.2.4.1 Tipos de aguas residuales

Aguas residuales domésticas: este tipo de aguas provienen de las actividades domésticas que se realizan en los domicilios. Contienen principalmente materia orgánica y microorganismos, acompañado de detergentes, lejía y grasas (Espigares & Pérez, 1985: p. 2).

Aguas residuales industriales: proceden de las diferentes actividades industriales y se caracterizan por poseer un mayor grado de contaminación que el resto tipo de aguas. Suelen contener compuestos orgánicos e inorgánicos como: aceites, antibióticos, ácidos, grasas, detergentes, metales, entre otros, la carga contaminante depende del tipo de industria por lo que su composición es muy variable (HIDROTEC, 2016).

Aguas residuales pecuarias y agrícolas: residuos líquidos que se generan en las actividades agrícolas y ganaderas, incluyen contaminantes de origen orgánico y microorganismos (Espigares & Pérez, 1985: p. 2).

Aguas residuales urbanas: proceden de una mezcla de aguas domésticas y de limpieza urbana de calles, parques y lugares públicos, así como agua lluvia, nieve o hielo.

2.2.4.2 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual textil

✓ Parámetros físicos

Color



Figura 3-2: Color del agua residual del lavado de denim

Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Se refiere a las diferentes tonalidades que presentan las aguas residuales, por lo general los afluentes que proceden del proceso de lavado de denim poseen un color azul violeta, esto debido a la presencia del índigo empleado para teñir el tejido denim, característico de esta prenda. Es importante mencionar que el color de las aguas residuales cambia de manera gradual con el tiempo, por otro lado, la presencia del color en el agua supone un obstáculo en el paso de luz al acuífero y un efecto desagradable visual (López y Crespi, 2017).

Olor: por lo general los olores se producen debido a los gases liberados por descomposición anaerobia de la materia orgánica. Así el olor que se genera del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (H_2S), gas tóxico que se produce por la reducción de sulfatos a sulfitos; mientras que las aguas procedentes de las industrias pueden abarcar compuestos olorosos en sí mismos (Metcalf & Eddy, 1995: pp. 63-70).

Temperatura: mide el nivel térmico del agua residual, por lo general suele ser más elevada que la del agua de suministro, así la temperatura del afluente líquido que procede del lavado de denim es elevado puesto que para este proceso utilizan aguas que varían entre la temperatura ambiente y $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, el vertido de agua caliente hacia un medio receptor de agua dulce afecta de manera directa las especies que habitan en ella e incluso la muerte debido a la falta de oxígeno.

Turbidez: parámetro que permite determinar la luminosidad del agua residual, es decir mide el grado en el cual el agua pierde su transparencia por la presencia de materiales en suspensión, por consiguiente, mientras mas oscura sea el afluente mayor será la turbidez. De hecho, las partículas en suspensión absorben calor de los rayos solares dando lugar a que las aguas turbias se tornen más calientes, lo cual disminuye la concentración de oxígeno en el agua y por tanto, afectaría la vida acuática, actividad de la fotosíntesis en plantas y algas y organismos que están involucrados directamente en este ambiente (González, 2011).

pH: indicador que permite determinar el grado de acidez o alcalinidad del agua residual. Se mide en un rango que oscila entre 0-14, de modo que si se aproxima a 0 tiende a ser ácida, mientras que si se acerca a 14 tiende a ser básica (PURE WATER, 2019). Por lo general, las aguas que provienen del proceso de lavado de denim se encuentran entre valores de 5 – 11 debido a la adición de productos químicos como: ácidos oxálico y acético, permanganato de potasio, meta bisulfito de sodio, peróxido de hidrógeno, entre otros.

Conductividad: mide la capacidad que tiene el agua residual para conducir la corriente eléctrica, este parámetro puede modificarse debido a la presencia de iones como I^- , NO_3^- , SO_4^{-2} , entre

otros, también suele ser influenciado por el pH y la temperatura a la cual es tomada la medición (Goyenola, 2007, p. 1).

Sólidos totales: es el material sólido que está suspendida, disuelta o sedimentada en el agua residual, así pues el afluente líquido procedente del proceso de lavado está constituido por residuos de fibras y partículas coloidales que se generan en los diferentes procesos, viéndose afectada la calidad del agua y por tanto puede causar efectos adversos en la vida de los seres vivos (Carpio, 2007, pp. 2-7).

- **Sólidos suspendidos:** son aquellas partículas que se encuentran en suspensión en el agua residual debido al movimiento del líquido o a la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. Contienen materiales que pueden ser de origen orgánico e inorgánico tales como: limo, plancton, residuos de papel, madera en descomposición, arcilla, sólidos fecales, restos de comida y desechos (Beltrán & Rangel, 2012: p. 192).
- **Sólidos disueltos:** son materiales sólidos disueltos en el agua residual, incluye sales minerales, metales, cationes o aniones, así como concentraciones pequeñas de materia orgánica (Fluence, 2017).

✓ **Parámetros químicos**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos como bacterias, hongos y plancton para degradar la materia orgánica presente en el afluente líquido, garantizando así su estabilidad en condiciones aeróbicas (Metcalf & Eddy, 1995: pp. 80-81). En efecto, mientras mayor sea la cantidad de materia orgánica se requiere de más oxígeno para oxidarlo.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual, así pues se efectúa bajo determinadas condiciones de agente oxidante, temperatura y tiempo, convirtiéndola en CO₂ y H₂O. Cabe resaltar que la DQO abarca el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es decir contempla todo este material y lo oxida químicamente por completo. De hecho, el valor de DQO de cualquier tipo de muestras será mayor que el de DBO (Nihon Kasetsu, 2017).

Agentes tensoactivos: son sustancias químicas que se encuentran disueltos en el afluente líquido procedentes de las diferentes etapas del proceso de lavado de denim, se solubilizan con gran

facilidad en el agua lo cual puede generar inconvenientes operativos en los sistemas de depuración y los medios receptores, esto debido a la formación de espuma (López y Crespi, 2017).

Por lo general, los agentes tensoactivos utilizados en las diferentes actividades pueden ser de tipo aniónicos y no iónicos: los primeros representan el 55% de la producción anual y son los más utilizados debido a la efectividad y coste, se caracterizan porque presentan moléculas cargados negativamente y tienen la capacidad de enlazarse con cationes orgánicos e inorgánicos; y los no iónicos sin ionizarse se solubilizan a través de un efecto combinado de un cierto número de solubilizantes débiles (hidrófilos) así como enlace tipo éter e hidroxilos (OH) (Sanz, s.f.).

Grasas y aceites: corresponden a aquellas sustancias de carácter lipídica, se caracterizan por ser inmiscibles con el agua y por ser menos denso que el agua, lo cual hace que floten por la superficie, dando lugar a la aparición de natas y espumas en el agua residual (Toapanta, 2009, p. 1). Así pues, este parámetro si no es previamente tratado dificulta en la depuración de las aguas residuales y genera un cambio estético no agradable, este efecto se da debido a la disminución de oxígeno disuelto, es muy importante que las grasas y aceites deben ser tratados inicialmente para evitar inconvenientes en los tratamientos posteriores (Aqualia, 2018).

Oxígeno disuelto (OD): hace referencia a la concentración de oxígeno disuelto en el agua residual. Este parámetro puede ser un indicador del grado de contaminación del afluente, así pues un nivel elevado de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad, mientras que si los niveles de OD son demasiado bajos, los organismos acuáticos no pueden habitar debido a la insuficiencia de oxígeno disuelto ya que puede provocar la muerte de ciertas especies acuáticas (Goyenola, 2007, p. 1). La temperatura es el factor principal que varía la concentración de OD en los afluentes líquidos, puesto que si la temperatura del agua residual aumenta, la cantidad de oxígeno disuelto disminuye; mientras que si la temperatura disminuye se obtiene un agua con más cantidad de oxígeno disuelto, lo cual favorece un hábitat adecuado para las especies que habitan en ella (Peña, 2007, p.2).

Por lo general, la concentración de oxígeno disuelto suele oscilar entre 0 – 18 ppm, no obstante en la mayoría de los ríos y riachuelos necesitan entre un rango mínimo de 5 – 6 ppm con la finalidad de conservar una diversidad de vida acuática, caso contrario si se tienen valores por debajo de 3 ppm perjudican la mayor parte de los seres acuáticos y valores menores de 2 o 1 ppm los organismos vivos mueren (Peña, 2007, p.2).

Sulfuros: representa a la forma reducida del azufre, se caracteriza por encontrarse en la naturaleza en forma de sólido constituyéndose como parte de una mena del hierro, la pirita, así como gas sulfhídrico procedente de erupciones volcánicas y en pequeñas a discretas concentraciones en las

aguas termales naturales (20 – 25 mg/L) (Abia, 2017). Por otro lado, la presencia de sulfuros se encuentran en las aguas residuales que contienen cantidades altas de sulfatos, y pues mediante la acción de las bacterias sulfato – reductoras y el oxígeno de los sulfatos lo convierten a sulfuros produciendo el ácido sulfhídrico (H_2S); este efecto, en el caso de las industrias textiles se origina como consecuencia del uso de productos químicos así como el meta bisulfito de sodio en el proceso de producción, siendo un parámetro que requiere de mayor control debido al gas tóxico y corrosivo que ocasiona, por lo que más adelante puede verse afectado la salud de la población aledaña puesto que genera olores desagradables debido a este gas, así también la vida útil de los alcantarillados, tuberías, bombas, accesorios y la ineficiencia en las plantas de tratamiento (López, 2012, p. 26).

Cloruros: se presentan en forma de iones cloruro (Cl^-) y se caracteriza como uno de los iones inorgánicos de mayor abundancia, puesto que se encuentra en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, el primer caso suele originarse a partir de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua, el segundo y el último proceden de las heces humanas, es así que según (Metcalf & Eddy, 1995: p. 96) indica que cada persona aporta entre 6 – 9 g. Las aguas que presentan elevadas concentraciones de cloruros puede afectar la calidad del agua, ocasionando así inconvenientes para el consumo, riego y reutilización, por lo que resulta de gran interés realizar el respectivo control.

Alcalinidad: se refiere a la capacidad de neutralizar ácidos, así pues las aguas residuales domésticas habitualmente son alcalinas, debido a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo muy empleado en el tratamiento químico de agua residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, de amoníaco y en tratamientos anaeróbicos (López, 2012, p. 26).

Metales pesados: hace referencia a un grupo de elementos químicos que puede estar disueltos en las aguas residuales. Según (Bae et al., 2006: pp. 30 - 35) destaca que los afluentes textiles suelen contener metales pesados tales como: cadmio, cobre, plomo, cromo, mercurio, níquel, cinc, arsénico, cobalto, estaño, manganeso, plata y titanio, dichos contaminantes se generan principalmente en la etapa de teñido, siendo el cobre el metal que se genera con más frecuencia en los colorantes. Dicho elemento se caracteriza por los efectos negativos que puede causar tanto a cultivos vegetales y microorganismos, y por lo tanto afecta la fertilidad del suelo.

✓ **Parámetros biológicos**

Coliformes totales: suelen encontrarse con mayor periodicidad en la naturaleza tanto en el suelo, aire y en las superficies del agua dulce, así pues no son siempre intestinales, también su presencia indica que el agua está contaminada con heces fecales que pueden ser de origen animal o humano.

Coliformes fecales: pertenecen al subgrupo de los coliformes totales, tienen la capacidad de fermentar la lactosa a 44,5°C. Dentro de este grupo prevalece la *Escherichia Coli* y ciertas especies de *Klebsiella*, su presencia proviene de las heces fecales tanto de animales como humanos, se caracterizan porque son capaces de resistir temperaturas elevadas, lo cual los han denominados como termo tolerantes.

2.2.4.3 *Tratamiento de aguas residuales*

Generalmente el tratamiento de las aguas residuales nos da una idea clara sobre la conservación de una vida acuática saludable y limpia, es decir permite mitigar el impacto ambiental. De hecho, se constituye una herramienta muy útil para reducir la contaminación ambiental, cumplir con las especificaciones establecidas por la normativa actual vigente y posteriormente puedan ser descargadas al medio receptor sin ningún inconveniente (Marín, 2012). Por lo tanto, el sistema o tipos de tratamientos de aguas residuales tienen como propósito principal de eliminar los contaminantes presentes en los afluentes líquidos, previo a ello es muy importante considerar ciertos aspectos tales como: caudal, composición, concentraciones, calidad requerida del efluente, abundancia del agua, posibilidad de reutilización, posibilidad de vertido a una depuradora municipal, tasas de vertido, etc (Rigola, 2005, p. 137).

Según Lombeida (2017, p. 38) destaca que los tipos o sistemas de tratamiento de aguas residuales abarca una serie de operaciones y procesos unitarios de origen físico – químico o biológico, que mediante una combinación adecuada permite la remoción de contaminantes de manera eficiente.

❖ **Tratamiento preliminar**

Esta etapa consiste en la retención de sólidos de gran tamaño tales como: restos de madera, plástico, recortes de tela, arena, etc, que trae consigo las aguas residuales, de modo que más adelante se lleve a cabo los tratamientos respectivos sin ningún inconveniente, evitando así daños de tuberías, bombas, válvulas y accesorios. Por otro lado, también permite disminuir la concentración de grasas y aceites, siendo unos de los parámetros de mayor relevancia ya que puede ocasionar bajos rendimientos en los procesos posteriores. Este tratamiento abarca un conjunto de operaciones entre ellos se tiene los siguientes:

✓ Cribado o desbaste

Operación que permite retener los sólidos de gran tamaño que provienen en el afluente, esto mediante el uso de rejillas, con el propósito de proteger los equipos mecánicos ya que podrían interferir en el funcionamiento de los mismos, por lo que afectará la eficiencia del sistema tratamiento empleado.



Figura 4-2: Sistema de rejillas de limpieza manual

Fuente: Lozano, 2012, p. 55.

Según Hernandez indica que al efectuarse esta operación se logra una remoción del preliminar 25%

✓ Desarenado

Es aquella operación que tiene como objetivo principal la remoción de partículas arenosas y otros sólidos similares, es así que mediante el efecto de gravedad las partículas descienden hacia el fondo desnivelado del desarenador. Según Lozano (2012, p. 59) menciona que las partículas tienen un peso específico próximo a $2,65 \text{ g/cm}^3$ y de diámetro superior a los $0,15 \text{ mm}$, así como por ejemplo las cáscaras, semillas, etc.



Figura 5-2: Canales de desarenadores

Fuente: (Padilla, 2007).

Para efectuar esta operación intervienen los desarenadores, mismos que se caracterizan por presentar un ensanchamiento del canal de entrada, donde la velocidad del agua disminuye a medida que avanza y debido a este efecto se lleva a cabo la sedimentación de las partículas discretas.

Tabla 2-2: Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de arenas

Temperatura = 16 °C; Remoción = 90%	
Diámetro de partícula (mm)	Velocidad de sedimentación (m/h)
0,15	40 - 50
0,20	65 - 75
0,25	85 - 95
0,30	105 - 120

Fuente: Moreno, 2010.

✓ **Desengrasado o flotación**

Esta operación consiste en remover las grasas, aceites, espumas, entre otros materiales flotantes que vienen adheridas en las aguas residuales, puesto que pueden ocasionar interferencias en los tratamientos subsiguientes debido a la viscosidad que presenta, causando así la obstrucción de tuberías e imposibilitando la correcta aireación en los reactores biológicos (Lozano, 2012, pp. 62 -63).



Figura 6-2: Desengrasador

Fuente: Padilla, 2007.

Así pues, el desengrasado se efectúa cuando el baffle incorporado disipa la energía generada a través de los difusores aireadores, de modo que facilita el ascenso de grasas desmenuzadas, aceites y otros flotantes adheridos a las microburbujas de aire que generan dichos difusores.

❖ **Tratamiento primario**

✓ Homogenización

Operación que permite mantener un efluente de composición homogénea y uniforme, para evitar los inconvenientes de operación ocasionados por las variaciones en la calidad y caudal de entrada a la planta, lo que ayuda a mejorar la eficiencia de los procesos posteriores. De hecho, ayuda a mejorar la calidad del efluente y el rendimiento de la sedimentación secundaria posterior, optimizar los tratamientos químicos y biológicos, disminuye los requisitos de superficie de filtración para el efluente (Ferrer y Seco, 2005: pp. 9 – 10).



Figura 7-2: Tanque de homogenización

Fuente: Universidad da Coruña & INDITEX, 2014: p. 15.

Para evitar malos olores y que se dé la sedimentación de sólidos es importante mantener agitado.

✓ Neutralización

Consiste en disminuir o eliminar la acidez o alcalinidad que la mayoría de las aguas residuales presentan, donde el líquido residual es ajustado su pH a valores que oscilan entre 6 – 9 mediante la adición de un ácido o base. Las sustancias químicas más empleadas para neutralizar ácidos son los reactivos alcalinos tales como: cal, óxido de calcio y magnesio, hidróxido de sodio y calcio e hidróxido de magnesio, siendo del hidróxido de sodio el más recomendado debido a su alta efectividad y no se genera elevada cantidad de lodos, en cambio que para neutralizar efluentes alcalinas suelen emplear con más frecuencia las disoluciones de ácidos sulfúrico y clorhídrico y dióxido de carbono gaseoso, de manera que permita la formación de agua y sales neutras (Rigola, 2005, p. 139).

✓ Sedimentación

Operación que permite la separación sólido – líquido, donde el material sólido de una suspensión

es más denso que el del efluente y por efecto de la gravedad, esto tienden a descender hacia la superficie inferior del recipiente o tanque que lo contiene, dando lugar a un líquido o agua tratada transparente, es decir permite mejorar el aspecto visual del líquido a tratar. Por consiguiente, la sedimentación tiene la finalidad de obtener un efluente clarificado, además ayuda a reducir los niveles de concentración de DQO, DBO₅ y partículas suspendidas (Metcalf & Eddy, 1995: p. 251).



Figura 8-2: Sedimentación

Fuente: (CONAGUA, s.f).

Según Romero (2006, p. 141) menciona que la sedimentación luego de la adición de coagulantes y floculantes tiene como objetivo principal la remoción de sólidos sedimentables, color y turbiedad que se generan debido al tratamiento químico empleado. Así pues, en el tratamiento de aguas residuales la sedimentación es considerada como una operación de tratamiento primario, ya que ayuda a remover sólidos suspendidos sedimentables, material orgánico y biomasa preformada en los sistemas de tratamiento secundario y para espesamiento de lodos.

Los tipos de sedimentación dependen de la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación, entre los que más se destacan se tiene: sedimentación tipo 1, aquella que permite la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida; sedimentación de tipo 2, ayuda a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, siendo indispensable considerar las propiedades floculentas de la suspensión, principalmente se caracteriza por estar precedidos por procesos de coagulación y floculación; sedimentación zonal, cuando se lleva a cabo la sedimentación de partículas suspendidas de concentración intermedia de material floculento, en el cual se presenta un asentamiento interferido a causa de la cercanía entre partículas; y finalmente la sedimentación de compresión, suele efectuarse cuando la concentración aumenta a un valor en el que las partículas están en contacto físico unas con otras y el peso de estas lo mantiene de forma parcial la masa compactada (Romero, 2006, pp. 141-143)

- ✓ Coagulación – floculación

La coagulación – floculación es un proceso que consiste en la adición de sustancias químicas denominados coagulante y/o floculante, facilitando que las partículas coloidales presentes en el efluente líquido logren aglomerarse y puedan formar un floculo de mayor tamaño, los cuales debido a este efecto descienden hacia la parte inferior del recipiente dando lugar a la formación de lodos o fangos, y un agua más transparente, es decir permite mejorar su calidad.

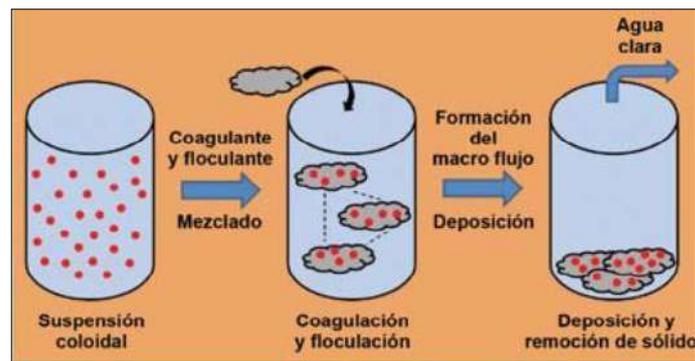


Figura 9-2: Procesos de coagulación – floculación

Fuente: (Lee, s.f).

Según Ferrer y Seco (2005: pp. 9 – 10) resalta que las partículas que se encuentran como coloides son las arcillas, óxidos metálicos hidratados, bacterias, fibras de pulpa, proteínas, además indica que estos presenta una carga eléctrica, que por lo general en las aguas y aguas residuales son negativas.

Para determinar el coagulante y floculante más idóneo y la dosificación adecuada es importante realizar ensayos mediante la “prueba de jarras”, lo cual permite optimizar la eficiencia del tratamiento.

✓ Precipitación química

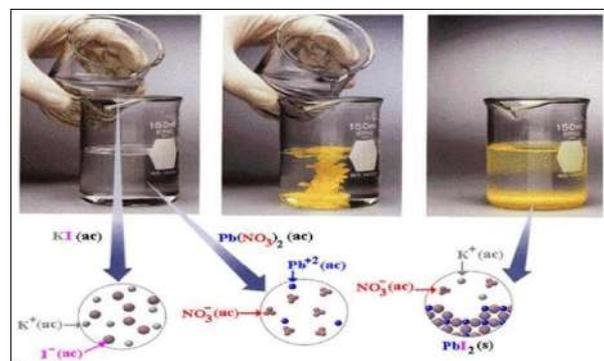


Figura 10-2: Precipitación química

Fuente: (Narváez, s.f.)

Proceso que permite la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales, así como metales pesados (cromo, níquel, cadmio, plomo, cobre, etc), fosfatos y nitrógeno mediante la formación de precipitados, logrando así mejorar la calidad del agua con la finalidad de dar mayor estabilidad a los procesos biológicos que implican la eliminación de iones sulfuros y materia orgánica. De hecho, para efectuar la precipitación química de efluentes líquidos es importante realizar ensayos experimentales mediante el “test de jarras, lo que permite seleccionar el reactivo más idóneo y determinar la dosificación adecuada, pues para ello es necesario considerar ciertos factores tales como: pH, tiempo de mezclado, sedimentabilidad del sólido y producción de fangos (Ferrer y Seco 2005: pp. 108 – 109).

Por lo general, los reactivos químicos más empleados para tratar aguas y aguas residuales son: hidróxido de sodio, compuestos de sulfato (alumbre o sulfato férrico), sulfuros (sulfuro de sodio o de hierro), y una vez reaccionado dan lugar a la formación de hidróxidos de metal o sulfuros de metal, interfiriendo en la solubilidad del agua (Centro Europeo de Postgrado, s.f.).

✓ Filtración

Proceso unitario empleado con frecuencia para eliminar las partículas suspendidas que se encuentran presentes en el agua, habitualmente son sólidos suspendidos que no han sido eliminados en la sedimentación, así pues consiste en hacer pasar el agua a través de un medio filtrante (medios granulares), quedando retenidos las partículas de todo tipo y tamaño en el medio incluyendo algas, coloides, compuestos húmicos coloidales, virus, fibras de asbesto, partículas coloidales de arcilla, etc (Ferrer y Seco 2005: pp. 57 – 58). . El objetivo de la filtración es mejorar el aspecto estético del agua, es decir la turbidez.

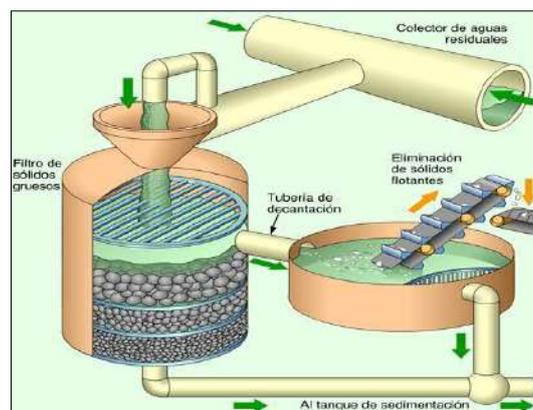


Figura 11-2: Filtración con medios granulares

Fuente: Denis, 2017.

❖ Tratamiento secundario

Conocido como tratamiento biológico, pues mediante la acción de los microorganismos, principalmente de bacterias que tienen la capacidad de degradar las materias orgánicas solubles y coloidales que se encuentran presentes en el efluente, permitiendo así la disminución de parámetros como DBO₅, DQO, así también de bacterias patógenas y compuestos que tienen elementos nutrientes como fósforo y nitrógeno. Por lo tanto, los procesos que ayudan llevar a cabo este fin son: aeróbicos y anaeróbicos, a continuación se describe cada una de ellas:

- Procesos aeróbicos

Son procesos que mediante la acción de microorganismos y la presencia de oxígeno permiten degradar la materia orgánica biodegradable del agua residual, convirtiéndola en lodos o fangos que pueden retirarse de una forma más factible. Estos lodos al contener y ser fuente de alimento de los microorganismos y mediante condiciones aerobias permite la transformación en biomasa, dióxido de carbono y agua.



Figura 12-22-1: Procesos aerobios de aguas residuales

Fuente: HANNA, 2017.

Actualmente, existen dos tecnologías que se pueden implementar tales como: procesos de biopelículas y de lodos activados. El primero se lleva a cabo cuando el agua residual entra en contacto con la biopelícula (capa formada por microorganismos) fijada sobre el material portador, dentro de estos se encuentran los filtros percoladores, donde el efluente se riega con un distribuidor rotatorio sobre una capa de material portador (lecho fijo), y a medida que el agua atraviesa el material portador es depurada biológicamente por los microorganismos; el segundo consiste en emplear un sistema de aireación, donde se suministra oxígeno al agua residual en el que actúan los microorganismos, y como resultado de la degradación se aglomeran en flóculos

llamado lodo activado, posteriormente se separa por sedimentación (Gunt Hamburg, s.f.).

- Procesos anaeróbicos

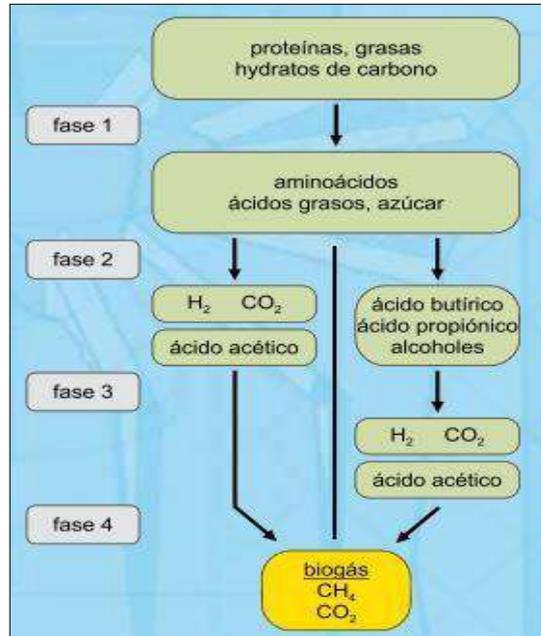


Figura 13-2: Procesos anaeróbicos

Fuente: Gunt Hamburg, s.f., p. 43.

Son aquellos procesos que se efectúan mediante la acción de microorganismos, los mismos se encargan de metabolizar la materia orgánica presente en las aguas residuales sin la presencia de oxígeno, dando lugar a la formación de ácidos volátiles, y posteriormente transformándolo en metano (60%) y dióxido de carbono (35%). Cabe mencionar que este tipo de procesos es ideal cuando se tienen aguas residuales con concentraciones elevadas de sustancias orgánicas (Gunt Hamburg, s.f., p. 43).

Dentro de este proceso se destaca la digestión anaerobia, donde se produce reacciones bioquímicas, mientras que solo una pequeña parte de la energía es liberada y la mayor parte permanece como energía química en el metano producido.

❖ Tratamiento terciario

Es el tratamiento que permite eliminar la carga orgánica residual y otros contaminantes que no han sido eliminados en los tratamientos biológicos, así pues comprende procesos y operaciones más avanzadas con el objetivo de mitigar el impacto ambiental de manera eficiente, e incluso este

recurso pueda ser reutilizado en los respectivos procesos, puesto que hoy en día este recurso es muy limitado (Belzona, 2010).



Figura 14-2: Procesos de tratamiento terciario

Fuente: (Boss Tech., 2018).

Actualmente, entre los procesos y operaciones más destacadas para el tratamiento de efluentes se tiene los siguientes: intercambio iónico, ósmosis inversa, adsorción, ultrafiltración, desinfección, electrodiálisis, oxidación química, nitrificación – desnitrificación, ozonización, radiación ultravioleta, etc.

2.2.5 Consideraciones para la tratabilidad de aguas residuales

2.2.5.1 Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad es el factor clave para seleccionar los tratamientos de depuración más adecuados, puesto que los afluentes tienen diferentes procedencias por lo tanto la concentración de los contaminantes presentes varían de forma radical. Así pues, para conocer si la materia orgánica presente en el agua residual es biodegradable o inerte es importante determinar la relación que existe entre DBO_5/DQO y mediante los criterios de biodegradabilidad se define el tratamiento ideal, a continuación, en la siguiente tabla se indican los criterios de biodegradabilidad:

Tabla 3-2: Criterios de biodegradabilidad según la relación entre DBO_5/DQO

DBO_5/DQO	Carácter	Tipo de Tratamiento
> 0,8	Muy biodegradable	Por poseer materia muy biodegradable, es idóneo emplear tratamientos biológicos.
0,7 – 0,8	Biodegradable	Empleo de tratamientos físico-químicos o biológicos.

0,3 – 0,7	Poco biodegradable	Por contener materia no biodegradable (de naturaleza inorgánica) se puede emplear tratamientos físico-químicos, restringiéndose al uso de sistemas biológicos.
< 0,3	No biodegradable	Tratamiento físico-químico por contener material inorgánico.

Fuente: Bedoya et al., 2014: p. 7

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

2.2.5.2 Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad son ensayos que se realizan a escala de laboratorio, para lo cual con frecuencia se emplea el test de jarras ya que permite verificar la eficiencia del tratamiento, este tipo de pruebas es importante llevar a cabo previo a la ejecución del diseño y posterior implementación.



Figura 15-2: Ensayos de tratabilidad

Fuente: gaia Servicios Ambientales, s.f.

El test de jarras es una prueba que permite determinar la dosificación adecuada de ciertas sustancias químicas tales como coagulantes y floculantes que se utilizan para la potabilización de aguas o depuración de aguas residuales. Tiene por objetivo eliminar la materia orgánica y material coloidal presente en el agua residual lo cual garantiza la remoción de color y turbiedad y así evitar problemas en los tratamientos posteriores. El ensayo consiste en emplear una serie de jarras al mismo tiempo, aplicar diferentes dosis de químicos en el que se debe variar la velocidad de agitación, con lo cual se logra la formación de flocs de mayor tamaño capaces de sedimentarse,

2.2.6 Marco legal ambiental vigente

Con el propósito de conservar la sostenibilidad del recurso hídrico es importante acatar las medidas que establece la legislación ambiental, la misma que se encarga de controlar, regular y monitorear durante el tratamiento y posteriormente su descarga hacia los cuerpos de agua sin

ningún inconveniente. En este caso para el presente estudio se basará en el acuerdo ministerial 097-A publicado en el registro oficial – edición especial N° 387: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, tal como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 4-2: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/l	0,00
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro Total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso Total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH	-	6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220,0

Sólidos totales	ST	<i>mg/l</i>	1600,0
Sulfatos	SO_4^{-2}	<i>mg/l</i>	400,0
Sulfuros	S	<i>mg/l</i>	1,0
Temperatura	°C	-	<40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	<i>mg/l</i>	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	<i>mg/l</i>	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	<i>mg/l</i>	1,0

Fuente: TULSMA, 2015, p. 15.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

El presente estudio es un proyecto de Tipo Técnico, siendo indispensable realizar revisiones bibliográficas tanto de artículos, libros, revistas acerca de las normativas, técnicas y guías para efectuar ensayos experimentales, con lo cual se busca mejorar la calidad del efluente, logrando así la remoción de contaminantes presentes en el agua residual procedentes del proceso de lavado de denim. Las pruebas realizadas a nivel de laboratorio permiten determinar las variables que están inmersas en el problema de contaminación y conforme a ello se propone las soluciones más efectivas de acuerdo al requerimiento de la planta.

3.2 Métodos y técnicas

3.2.1 *Métodos*

3.2.1.1 *Método deductivo*

Método científico que parte de una serie de principios generales para llegar a conclusiones específicas, es decir se sustenta en leyes, teoremas, enunciados, postulados con respecto al tratamiento de aguas residuales, de manera que garantice la eficiencia de las soluciones a emplear, así pues en el presente estudio se aplicó al realizar revisiones bibliográficas acerca del muestreo, caracterización inicial conforme a los requerimientos de la tabla 2-4, pruebas de tratabilidad, y finalmente el respectivo rediseño de la planta de tratamiento, permitiendo así brindar el tratamiento más idóneo donde haya una remoción eficiente de los contaminantes presentes en el afluente y que posteriormente pueda ser descargado hacia el sistema de alcantarillado sin ningún problema.

3.2.1.2 *Método inductivo*

Este método se caracteriza porque inicia con la recolección de hechos particulares y son recolectados a través de la observación directa con el propósito de establecer conclusiones generales, motivo por el cual se comenzó con el diagnóstico inicial de la planta de tratamiento actual que dispone la empresa, pues siendo necesario la caracterización físico- químico del agua

Tabla 2-3: Manejo y conservación de la muestra de agua residual

Fundamento	Permite conservar la muestra de agua residual sin que varíe los parámetros físicos, químicos y biológicos del mismo.
Alcance	No realizar los análisis en el punto de muestreo, siendo necesario que sea transportada al laboratorio para efectuar el respectivo análisis.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Recipientes de vidrio o plástico. ❖ Cajas térmicas (2 – 5 °C).
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Lavar con agua y detergente el recipiente nuevo de vidrio para eliminar el polvo o residuos del material de empaque y enjuagar con agua destilada. ❖ Rotular con los datos pertinentes descritos en la tabla 1-3. ❖ Colocar en las cajas térmicas de manera inmediata a una temperatura que oscile entre 2 – 5°C. Proteger de la luz. ❖ Transportar al laboratorio donde se va a efectuar los análisis correspondientes. ❖ La muestra a analizarse debe mantenerse a temperatura menor a la que fue muestreada. <p>Nota: se recomienda realizar los análisis o caracterización lo más antes posible y tomar en cuenta la tabla 1. Técnicas generales para la conservación de muestras, parámetros físico – químicos.</p>

Fuente: NTE INEN 2169, 2013.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

✓ Técnicas de laboratorio

Para el presente estudio se emplearon técnicas establecidas en el manual que dispone y maneja el Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH, así también en los documentos de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN, dichos documentos están basados en métodos estandarizados por American Public Health Association (APHA), Water Pollution Control Federation (WPCF), American Water Works Association (AWWA) y el manual de Análisis de Agua HACH.

Tabla 3-3: Determinación de potencial de hidrógeno (pH)

Fundamento	Permite cuantificar la concentración de iones hidronio que se encuentran presentes en el efluente líquido, determinándose así si el agua a tratar es ácida, básica o neutra.
Método	Potenciométrico
Equipo	pH - metro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vasos de precipitación ❖ Limpiadores
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Soluciones buffer pH ± 4 y pH ± 7 ❖ Muestra de agua residual ❖ Agua destilada
Procedimiento	❖ Encender el equipo y asegurarse que el equipo este completamente calibrado.

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Colocar agua destilada en un vaso de precipitación, e introducir el electrodo para cerciorarse que esté completamente limpio. ❖ Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación de 250 ml. ❖ Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra, agitar suavemente y presionar READ. ❖ Esperar hasta que se estabilice, y registrar los resultados emitidos en la pantalla.
Cálculo	Lectura directa

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 12-13).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 4-3: Determinación de turbiedad

Fundamento	Es la expresión de la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión.
Método	Método Nefelométrico: consiste en la medición de la luz dispersada por la muestra en condiciones adecuadas, con respecto a la intensidad de la luz dispersada de una solución patrón de referencia.
Equipo	Turbidímetro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cubetas de vidrio ❖ Limpiadores
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Aceite de silicona ❖ Muestra de agua residual ❖ Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Encender el equipo ❖ Colocar la muestra de agua residual en la cubeta hasta el nivel de aforo, tapar. ❖ Limpiar la cubeta utilizando una franela suave con trazas de aceite de silicona. ❖ Colocar la celda en el equipo y presionar READ. ❖ Esperar hasta que se estabilice. ❖ Registrar los resultados.
Cálculo	Lectura directa en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU)

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 20-21).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 5-3: Determinación de Conductividad

Fundamento	Hace referencia a la capacidad que tiene el agua residual para conducir la corriente eléctrica, debido a la presencia de iones disueltos.
Método	Método 2510 - 2520
Equipo	Conductímetro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vasos de precipitación ❖ Limpiadores
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual ❖ Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Encender el equipo

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Colocar agua destilada en un vaso de precipitación, e introducir el electrodo para asegurarse que esté completamente limpio. ❖ Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación. ❖ Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra, presionar READ. ❖ Esperar hasta su estabilización y registrar resultados.
Cálculo	Lectura directa en unidades ($\mu S/cm$) o (mS/cm)

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 23-25).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 6-3: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fundamento	Se refiere a la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica presente en la muestra de agua residual, realizado a una temperatura y tiempo establecido.
Método	Incubación por 5 días
Equipo	Incubadora termostáticamente a $20 \pm 1^\circ C$
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Balón aforado de 200 ml ❖ Botellas de winkler de 300 ml ❖ Tapa de sello ❖ Cabezales de medición ❖ Agitador magnético ❖ Pipeta ❖ Probeta
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual ❖ Agua destilada ❖ Bolsa de solución tampón de nutrientes ❖ Pastilla de hidróxido de potasio
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tomar un balón aforado, diluir 10 ml de muestra de agua residual con 100 ml de agua destilada. Nota: repetir este procedimiento hasta conseguir 200 ml de muestra diluida. ❖ Tomar 150 ml de la muestra diluida y colocar en la botella de winkler ❖ Añadir una bolsa de nutrientes y colocar el agitador magnético. ❖ En la tapa colocar una pastilla de hidróxido de potasio y taponar la botella. ❖ Enroscar el cabezal de medición y encender. ❖ Llevar la botella a la incubadora y dejar por un período de 5 días. ❖ Una vez transcurrido el tiempo determinado anotar los resultados obtenidos.
Cálculo	Lectura directa

Fuente: (HACH COMPANY, 2000, pp. 169 - 181).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 7-3: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno

Fundamento	Es la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra que es susceptible de oxidación en condiciones determinadas.
Método	Método de digestión/colorimétrico
Equipo	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Reactor DQO ❖ Espectrofotómetro

Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vaso de precipitación ❖ Pipeta de 5 ml ❖ Limpiadores ❖ Gradilla
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual ❖ Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Encender el reactor DQO y precalentar hasta una temperatura de 150 °C. ❖ Preparación de muestra: homogenizar la muestra de afluente durante un tiempo de 30 s. ❖ Extraer la tapa de un tubo que contiene el reactivo de DQO. ❖ Adicionar con la pipeta 2 ml de muestra a tratar, tapar el tubo y limpiar la parte exterior del tubo. Rotular el tubo con una M (significa que contiene muestra). ❖ Mezclar bien el contenido del tubo invirtiendo varias veces. Durante la mezcla es normal que se presente elevación de la temperatura, por lo que el tubo debe ser colocado en el reactor precalentado. ❖ Preparación de blanco: repetir los dos pasos anteriores, pero en este caso añadir 2 ml de agua destilada y rotular el tubo con una B (significa blanco). ❖ Introducir los dos tubos e invertir varias veces y colocar en la gradilla hasta que alcance la temperatura ambiente. ❖ Encender el espectrofotómetro y seleccionar el número de programa para DQO. ❖ Limpiar bien la parte externa de los dos tubos, colocar en el equipo el blanco y presionar la tecla cero, dejar hasta su estabilización. ❖ Luego colocar el tubo M (muestra a analizar) en el equipo, presionar READ y esperar hasta que se estabilice para registrar los resultados emitidos en la pantalla.
Cálculo	Lectura directa en (mg/l).

Fuente: (HACH COMPANY, 2000, pp. 182 - 189).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 8-3: Determinación de Sólidos Totales

Fundamento	Consiste en determinar la cantidad de materiales disueltos y suspendidos presentes en el agua residual.
Método	Método gravimétrico: permite determinar el peso de sólidos totales tras evaporar la muestra en una cápsula pesada y secada a peso constante en una estufa a 103 – 105 °C.
Equipo	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Placa calefactora ❖ Estufa ❖ Balanza analítica ❖ Desecador
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cápsulas de porcelana ❖ Probetas ❖ Pinza
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual
Procedimiento	<p>Preparación de la capsula de evaporación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Encender la estufa a temperatura de 103 – 105 °C ❖ Colocar la cápsula limpia en la estufa por un período de 1 h.

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Llevar la cápsula al desecador hasta el momento de utilizar. ❖ Pesar la cápsula seca y registrar el peso (Peso A) <p>Determinación de sólidos totales</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Colocar 25 ml de agua residual en una probeta, mezclar a fin de obtener una muestra representativa. ❖ Colocar la muestra medida en la capsula previamente tarada. ❖ Introducir la cápsula en una placa calefactora hasta su evaporación total. ❖ Colocar la muestra evaporada en la estufa a 103 – 105 °C durante 1 h. ❖ Llevar la cápsula al desecador, hasta que se enfríe. ❖ Pesar la cápsula y registrar el valor obtenido. <p>Nota: realizar el secado hasta alcanzar un peso constante, dicho peso final de denominará como peso B.</p>
Cálculo	<p>La cantidad de sólidos totales se determina mediante la siguiente ecuación:</p> $\text{Sólidos totales (mg/l)} = \frac{(B - A) * 1000}{\text{Volumen de muestra (ml)}}$ <p>Dónde:</p> <p>A: Peso de la cápsula de evaporación vacía, (mg).</p> <p>B: Peso de la cápsula de evaporación con residuo seco, (mg).</p> <p>Nota: para determinar el valor del peso se debe promediar los valores constantes finales.</p>

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 44 - 46).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 9-3: Determinación de sólidos sedimentables

Fundamento	Hace referencia a la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un lapso determinado de tiempo, puede expresarse en función de un volumen (ml/l) o de una masa (mg/l).
Método	Método volumétrico
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Cono Imhoff ❖ Varilla de agitación ❖ Soporte ❖ Cronómetro
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Agitar la muestra de agua residual ❖ Llenar el cono himhoff hasta la marca. ❖ Dejar sedimentar durante 45 min, remover suavemente las paredes del recipiente con una varilla de agitación. ❖ Dejar reposar por 15 min más. ❖ Anotar el volumen de sólidos sedimentables contenida en el cono en ml/l
Cálculo	$\frac{mg \text{ sólidos sedimentables}}{l} = \frac{mg \text{ sól. totales en suspensión}}{l} - \frac{mg \text{ sól. no sedimentables}}{l}$

Fuente: (Carpio, 2007, pp. 1-4).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 10-3: Determinación de sulfatos

Fundamento	El ion sulfato (SO_4^{2-}) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y puede estar presente en bajas concentraciones en aguas naturales y en concentraciones elevadas en aguas residuales. Este ion suele precipitarse al hacer reaccionar cloruro de bario ($BaCl_2$) en presencia de ácido acético, dando lugar a la formación de cristales de sulfato de bario ($BaSO_4$) de tamaño uniforme.
Método	Método turbidimétrico
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Varilla de agitación. ❖ Vasos de precipitación de 100 ml. ❖ Espectrofotómetro.
Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Muestra de agua residual ❖ Solución acondicionadora para sulfato. ❖ Cloruro de bario di hidratado, ($BaCl_2 \cdot 2H_2O$). ❖ Solución patrón de sulfato.
Procedimiento	<p>Preparación de la curva de calibración:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Pipetear volúmenes crecientes de la solución patrón de sulfato y completar a volumen con agua des ionizada para obtener al menos 6 concentraciones comprendidas en el intervalo de 0 a 40 mg/L. ❖ Colocar los patrones en vasos de precipitación de 100 ml, luego añadir a cada patrón 2.5 ml de solución acondicionadora y agitar utilizando la varilla de agitación. ❖ Adicionar una cucharada de cristales de cloruro de bario y agitar de manera vigorosa. ❖ Leer antes de 5 min en espectrofotómetro a 420 nm con celdas de 1 cm de paso óptico. ❖ En función del espectrofotómetro utilizado, crear la curva de calibración. ❖ Verificar la curva de calibración, si el resultado es coincidente $\pm 10\%$ se considera que la curva es válida.
Cálculo	Resultado directo en la curva de calibración del equipo.

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 66 - 68).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

3.3 Toma y monitoreo de muestras

3.3.1 Determinación del caudal

El caudal se determinó in situ, para lo cual se llevó a cabo mediante el método volumétrico que consiste en determinar el tiempo que se demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Además es importante considerar que para el proceso de lavado de 1000 kg de prendas se requiere de 250 m³ de agua.

Tabla 11-3: Datos de medición de caudal del “Laboratorio del Denim”

N° de ensayos	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	6	11,85	0,506
2	6	12,02	0,499
3	6	11,56	0,519
4	6	12,04	0,498
5	6	11,59	0,518
Promedio			0,508

Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

3.3.2 Muestreo de agua residual

El muestreo se realizó conforme a los protocolos establecidos por la norma NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo y la tabla 1-3. Habiendo acogido las consideraciones establecido por la norma mencionada se procedió a la recolección de la muestra, debido a que el flujo de agua es variable se efectuó un muestreo puntual en el que se realizó de forma manual en el punto de descarga al sistema de alcantarillado, es decir el efluente que sale de la planta de tratamiento previo a ser descargado. Cabe resaltar que la muestra recolectada fue trasladada en las condiciones indicadas en la tabla 2-3.

3.3.3 Caracterización inicial del agua residual

Una vez obtenida la muestra se envió al Laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos (SAQMIC) de la ciudad de Riobamba, donde se determinaron parámetros como: color, pH, conductividad, turbiedad, sólidos totales, sólidos sedimentables, DQO, DBO₅, sulfuros, dichos resultados permitieron conocer la calidad del afluente, pues conforme a los parámetros establecidos en la tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público del Libro VI TULSMA se realizó la respectiva comparación de los

parámetros que están fuera de los límites permisibles establecidos, permitiendo así seleccionar el tratamiento más idóneo para este caso. Los resultados respectivos se describen en el capítulo VI. Resultados.

Tabla 12-3: Caracterización inicial del afluente procedente de la PTAR “Laboratorio del Denim”

Parámetros	Unidad	Método	Límite máximo permisible	Resultados promedio
pH	-	4500 - B	6 - 9	7,23
Temperatura	°C	-	<40	20
Color	Co/Pt	2120 – B	-	1418
Conductividad	μS/cm	2510 – B	-	1421,15
Turbiedad	UNT	2130 – B	-	137,5
Sólidos sedimentables (SD)	mg/l	2540 – F	20,0	51,325
Sólidos suspendidos (SST)	ml/l	2540 – B	220	210
Sólidos totales (ST)	mg/l	2540 – D	1600	2775
DQO	mg/l	5220 – C	500	699
DBO5	mg/l	5210 – B	250	280
Aceites y grasas	mg/l	-	70,0	39,75
Sulfatos	mg/l	-	400	595
Tensoactivos	mg/l	-	2,0	1,525
* Metales pesados: cobre	mg/l	-	1,0	0,813

Fuente: (Laboratorio SAQMIC, 2020; Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH; * Alverca, 2020)

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Conforme a la tabla 12-3, se puede constatar que la mayoría de los parámetros del agua residual generada en la empresa “Laboratorio del Denim” no cumplen con la normativa ambiental vigente.

3.4 Determinación del índice de biodegradabilidad (IB)

Para seleccionar y definir el sistema de depuración más idóneo se realizó la determinación del índice de biodegradabilidad con los valores de DQO y DBO₅ obtenidos en la caracterización inicial del agua a ser descargada, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 13-3: Índice de biodegradabilidad del agua tratada del “Laboratorio del Denim”

Parámetro	Resultado (mg/l)	Índice de biodegradabilidad (DBO5/DQO)	Tipo de tratamiento
DBO ₅	280	$IB = \frac{280 (mg/l)}{699 (mg/l)} = 0,40$	Tratamiento físicos – químicos con restricciones al empleo de sistemas biológicos.
DQO	699		

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Conforme a la tabla 13-3 se destaca que el agua tratada procedente de la planta de tratamiento del “Laboratorio del Denim” presenta un carácter poco biodegradable, es decir el agua contiene material de tipo inorgánico, siendo ideal aplicar la combinación de un sistema de tratamiento en el que implique operaciones y procesos físicos – químicos, limitándose al uso de sistemas biológicos.

3.5 Ensayos de tratabilidad a nivel de laboratorio

Son ensayos que permiten determinar los parámetros de diseño, la dosis exacta de reactivos químicos como: coagulantes, floculantes, neutralizantes, etc, utilizados para la depuración de aguas residuales , así como el tamaño y tipo de las diferentes unidades que conforman una planta de tratamiento de agua, así pues se efectúan a nivel de laboratorio mediante el test de jarras, de manera que garantice la eliminación de material coloidal y materia orgánica presente en el efluente líquido para la remoción de color y turbiedad que podrían ocasionar problemas en los tratamientos posteriores. A continuación, se describe el procedimiento correspondiente:

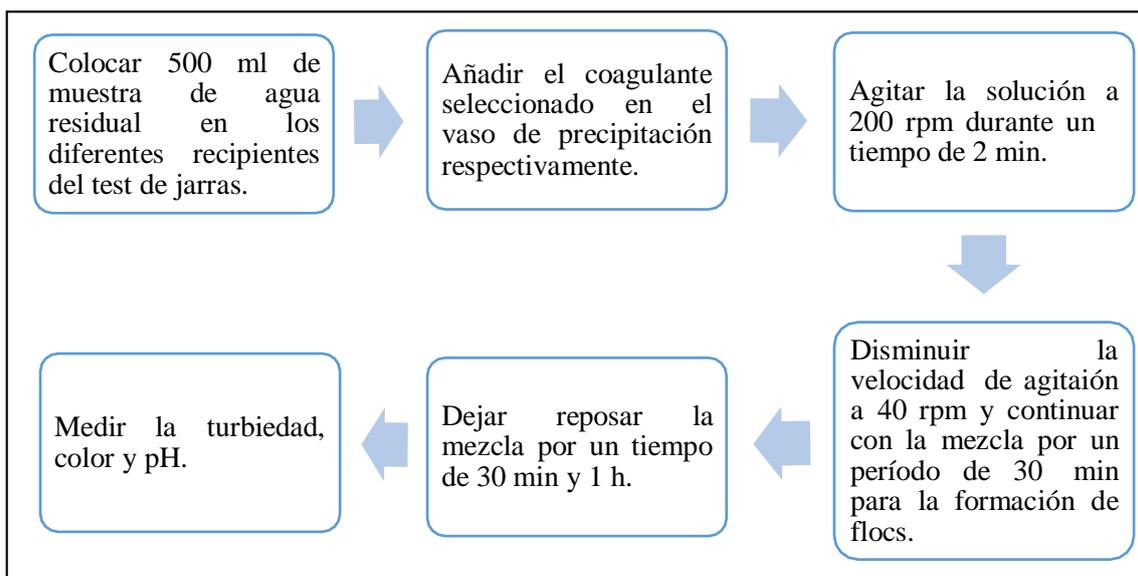


Gráfico 1-3: Procedimiento para realizar el test de jarras

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

3.5.1 Prueba 1 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de coagulantes

Esta prueba consiste en añadir diferentes coagulantes y seleccionar el más efectivo para la depuración de las aguas residuales del laboratorio del denim.

➤ Selección de coagulante

Tabla 14-3: Dosificación de los diferentes coagulantes al 1%

Volumen de muestra = 500 ml; Turbiedad inicial = 137,5NTU; Color inicial = 1418							
Velocidad de agitación = 200 rpm por 2 min, luego disminuir a 40 rpm y agitar durante 30 min.							
Tipo de coagulante	Dosificación (ml)	Tiempo de sedimentación				% de Remoción	
		30 min		(1 h)		Turbiedad	Color
		Turbiedad (NTU)	Color	Turbiedad (NTU)	Color		
Cloruro de hierro (III)	5	88,1	837	87,9	826	36,1	41,7
Policloruro de aluminio (PAC)	5	29,1	275	27,2	270	80,2	80,9
Sulfato de aluminio	5	67,9	635	67,2	629	51,1	55,6
Sulfato de hierro (II)	5	70,2	699	69,0	686	49,8	51,6

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Según la tabla 14-3 se observa que el coagulante más idóneo para la depuración de aguas residuales es el Policloruro de aluminio (PAC) a una concentración de 10.000 ppm, puesto que este reactivo químico permite una remoción de turbiedad del 80,2% y de color del 80,9%, caso que no sucede con los otros coagulantes ya que presentan valores más bajos de remoción.

➤ Dosificación de PAC al 1% a diferentes concentraciones

Habiendo seleccionado el mejor coagulante se procedió a determinar la dosis óptima para el tratamiento respectivo, esto con la finalidad de evitar consumos innecesarios de productos químicos.

Tabla 15-3: Dosis de PAC al 1% a diferentes concentraciones

Volumen de muestra = 500 ml; Turbiedad inicial = 137,5NTU; Color = 1418; pH = 7,23 Velocidad de agitación = 200 rpm por 2 min, luego disminuir a 40 rpm y agitar durante 30 min.								
Concentración (ppm)	Tiempo de sedimentación						% de Remoción	
	30 min			1 h			Turbiedad	Color
	pH	Turbiedad (NTU)	Color	pH	Turbiedad (NTU)	Color		
20	7,08	28,4	360	7,05	27,3	346	80,1	75,6
40	6,99	21,6	269	7,03	21,2	268	84,6	81,1
60	6,99	20,4	254	6,97	19,1	242	86,1	82,9
80	6,94	25,9	347	7,02	24,8	338	81,9	76,2
100	7,04	27,6	348	7,05	27,2	345	80,2	75,7

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

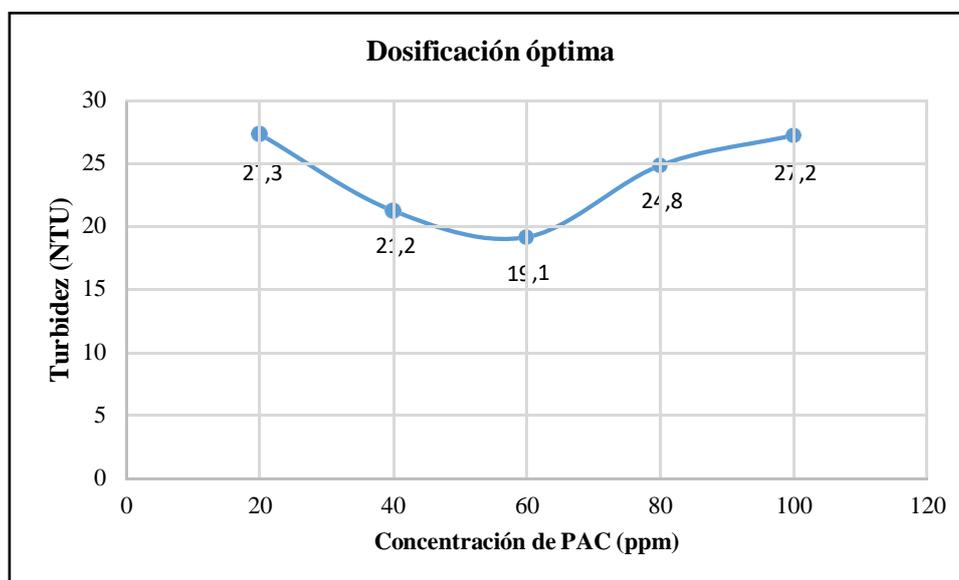


Gráfico 2-3: Comportamiento de turbidez en función de la concentración de PAC al 1%

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Ramalho (1990, p. 557) indica que la dosificación óptima corresponde al punto más bajo de la curva, por lo tanto, según el gráfico 2-3 la dosis adecuada de PAC es a 60 ppm, obteniéndose una remoción de turbidez del 86,1% y color del 82,9%.

3.5.2 Prueba 2 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de cal y PAC al 1%

Consiste en adicionar cal al líquido residual con la finalidad de ajustar el pH a un intervalo entre 8-9 ideal para llevar a cabo la coagulación, posteriormente se adicionó PAC a una concentración de 10.000 ppm y finalmente se dejó sedimentar por 30 min y 1 h, en esos tiempos se midió la

turbiedad y color para posteriormente verificar la remoción de dichos contaminantes y la efectividad del tratamiento, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 16-3: Determinación de la dosis adecuada de cal y PAC al 1%

Volumen de muestra = 500 ml; pH inicial = 7,23; Turbiedad = 137,5 NTU, Color = 1418 Dosificación de PAC = 3ml							
Dosificación de cal (g)	pH	Turbiedad (NTU)		Color (Pt/Co)		% Remoción	
		30 min	1 h	30 min	1 h	Turbiedad	Color
0,5	8,13	95,4	45,7	265	290	66,8	79,5
1	12,36	80,2	26,4	235	248	80,8	82,5
1,5	12,59	76,1	41,6	244	252	69,7	82,2
2,0	12,61	42	23,5	190	212	82,9	85,0
2,5	12,60	42,1	41,4	188	242	69,9	82,9

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

En la tabla 16-3, se observa que la muestra de agua residual tratada con cal a diferentes dosis y PAC al 1% presentan una remoción de turbiedad y color muy buenos, sin embargo el pH del afluente tiende a subir a medida que se añade más dosis de cal, resultando un agua de carácter alcalino, por lo tanto este tratamiento se descartó ya que al ser descargado al sistema de alcantarillado puede ocasionar cambios drásticos al medio receptor.

3.5.3 Prueba 3 – Tratamiento físico – químico. Dosificación de PAC al 1% y floculante

En este caso se realizó el ensayo en base a la prueba 1, donde se utilizó como coagulante el PAC al 1% y adicional a ello se añadió floculante de tipo aniónico poli electrolito a diferentes dosis, a fin de llevar a cabo la acción de los químicos se realizó la agitación a una velocidad de 200 rpm durante 2 min, luego se redujo a 40 rpm por un lapso de 30 min con el propósito de evitar la destrucción de los flóculos, posteriormente se dejó sedimentar por un tiempo de 30 min y 1 h para que se dé la formación de flóculos de mayor tamaño capaces de sedimentarse y obtener un agua transparente, a continuación se muestran los resultados correspondientes:

Tabla 17-3: Dosificación de PAC al 1% y floculante aniónico

Volumen de muestra = 500 ml; pH inicial = 7,23; Turbiedad = 137,5 NTU; Color = 1418 Concentración de coagulante = 60 ppm; dosificación de coagulante = 3 ml; concentración de floculante = 10 ppm.							
Dosis de floculante (ml)	pH	Turbiedad (NTU)		Color (Pt/Co)		% Remoción	
		30 min	1 h	30 min	1 h	Turbiedad	Color
0,5	7,5	12,8	20,2	124	282	85,3	80,1
1,0	7,03	8,5	9,6	115	115	93,0	91,9
1,5	4,22	9,9	10,4	129	130	92,4	90,8
2,0	4,12	36,2	32,7	312	311	76,2	78,1
2,5	4,4	22,4	25,6	208	207	81,4	85,4

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Conforme a la se observa que al añadir 3 ml de PAC y floculante al 1% a diferentes dosificaciones se obtuvo una remoción de turbiedad y color muy altos, sin embargo a medida que se incrementa la dosis de floculante, el pH tiende a disminuir tornándose ácido, así pues de igual forma que la prueba 2 no se considera para utilizar en las pruebas de tratabilidad, puesto que al ser vertido puede generar un impacto negativo hacia el medio ambiente.

3.6 Dimensionamiento de unidades para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la fábrica textilera “Laboratorio del Denim”

3.6.1 Caudal de diseño

El caudal promedio que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales del “Laboratorio del Denim” es de 0,508 L/s, dicho valor se obtuvo mediante el método volumétrico, pues para determinar el caudal de diseño varios autores recomiendan considerar un factor de seguridad entre 10 - 15% a fin de evitar rebose de agua.

$$Q_D = Q_C * F_S$$
$$Q_D = 43,89 \frac{m^3}{día} * 1,15$$
$$Q_D = 50,474 \frac{m^3}{día}$$

Dónde:

Q_D : Caudal de diseño, ($m^3/día$).

Q_C : Caudal calculado, ($m^3/día$).

F_s : Factor de seguridad, 15%.

3.6.2 *Diseño del tanque sedimentador*

El tanque sedimentador es destinado para llevar a cabo la operación de sedimentación, siendo de gran utilidad para la separación de sólidos suspendidos puesto que mediante la adición de químicos permite que los sólidos por acción de la gravedad descendan hacia el fondo del recipiente, lográndose obtener un agua transparente en la parte superior y lodos o fangos en la parte inferior.

Criterios de diseño:

- Recipiente de forma cilíndrico con fondo troncónico (inclinación de 30°), puesto que facilita la evacuación de lodos
 - Carga superficial: para sedimentadores convencionales (Romero, 2006, p. 182) recomienda en un intervalo de 18 – 27 m/d, de manera específica para floc con polímero.
 - La profundidad del sedimentador está comprendida entre 1,5 – 2,5 m (Organización Panamericana de la Salud, 2005).
 - El tanque estará montado por un sistema de agitación de paletas planas, el cual permite llevar a cabo la agitación habiendo añadido los productos químicos. Adicionalmente el recipiente contendrá dos placas deflectoras para evitar que produzca remolinos o vórtices.
- Área superficial del sedimentador

$$A_s = \frac{Q_D}{C_s}$$
$$A_s = \frac{50,474 \text{ m}^3/día}{27 \text{ m/día}}$$
$$A_s = 1,869 \text{ m}^2$$

Dónde:

Q_D : Caudal de diseño, ($m^3/día$).

C_s : Carga superficial, (m/d).

- Volumen del sedimentador

$$V_s = A_s * h_s$$

$$V_s = 1,869 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V_s = 3,738 \text{ m}^3$$

Dónde:

A_s : Área superficial del sedimentador, (m^2).

h_s : Altura del sedimentador, (m).

- Diámetro del sedimentador

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}}$$

$$\phi_s = \sqrt{\frac{4 * 1,869 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi_s = 1,543 \text{ m}$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$T_{rh} = \frac{Q_D}{V_S}$$

$$T_{rh} = \frac{2,103 \text{ m}^3/\text{h}}{3,738 \text{ m}^3}$$

$$T_{rh} = 0,563 \text{ h} = 33,78 \text{ min}$$

Dónde:

Q_D : Caudal de diseño, (m^3/h).

V_S : Volumen del sedimentador, (m^3).

- Volumen parte cilíndrica

Mediante ensayos efectuados a nivel de laboratorio se obtuvo 0,034 L de lodo por cada litro de agua tratada, por lo tanto en 3738 L se generará 0,127 m^3 de fangos.

$$V_S = V_{SC} + V_{SCN}$$

$$V_{SC} = 3,738 \text{ m}^3 - 0,127 \text{ m}^3$$

$$V_{SC} = 3.611 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{SC} : Volumen del sedimentador parte cilíndrica, (m^3).

V_{SCN} : Volumen del sedimentador parte cónica, (m^3).

- Altura del sedimentador parte cónica

$$V_{SCN} = \frac{h_{SCN} * \pi}{3} * [R_{SC}^2 + r_{SCN}^2 + R_{SC} * r_{SCN}]$$

$$0,127 \text{ m}^3 = \frac{h_{SCN} * \pi}{3} * \{(0,821 \text{ m})^2 + (0,05 \text{ m})^2 + [(0,821 \text{ m}) * (0,05 \text{ m})]\}$$

$$h_{SCN} = \frac{0,127 * 3}{\pi * (0,824)}$$

$$h_{SCN} = 0,147 \text{ m}$$

Dónde:

R_{SC} : Radio del sedimentador parte cilíndrica, (m).

r_{SCN} : Radio del sedimentador parte cónica, (m).

V_{SCN} : Volumen del sedimentador parte cónica, (m^3).

- Altura total del sedimentador

$$H_{TS} = h_S + h_{SCN}$$

$$H_{TS} = 2 \text{ m} + 0,147 \text{ m}$$

$$H_{TS} = 2,147 \text{ m}$$

Dónde:

h_S : Altura del sedimentador parte cilíndrica, (m).

h_{SCN} : Altura del sedimentador parte cónica, (m).

Sistema de agitación

Para llevar a cabo el mezclado del coagulante se diseñó un agitador de turbina de 6 palas planas ya que permite operar en un amplio rango de viscosidades.

❖ Consideraciones para el diseño

Tabla 18-3: Dimensiones recomendadas para una cámara cilíndrica

Diámetro del agitador:	$D_a = \frac{1}{3} D_s$	Altura del agitador respecto del fondo:	$h_a = D_a$
Anchura de las palas del agitador:	$A_p = \frac{1}{5} D_a$	Longitud de las palas del agitador montadas en el disco central:	$L_{pm} = \frac{L_p}{2} = \frac{1}{8} D_a$
Longitud de las palas del agitador:	$L_p = \frac{1}{4} D_a$	Altura del líquido:	$H_L = D_s$
Anchura de los deflectores:	$A_d = \frac{1}{10} D_s$	Diámetro del disco central:	$\phi_d = \frac{1}{4} D_t$

Fuente: (Eddy y Metcalf, 1995: p. 247; Romero, 2006, p. 64).

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

- Diámetro del agitador

$$D_a = \frac{1}{3} \phi_s$$

$$D_a = \frac{1}{3} * (1,543 \text{ m})$$

$$D_a = \mathbf{0,514 \text{ m}}$$

Dónde:

ϕ_s : Diámetro del sedimentador, (m).

- Altura del agitador, respecto del fondo

$$h_a = D_a$$

$$h_a = \mathbf{0,514 \text{ m}}$$

Dónde:

D_a : Diámetro del agitador, (m).

- Ancho de la paleta del agitador

$$A_{pa} = \frac{1}{5} * D_a$$

$$A_{pa} = \frac{1}{5} * (0,514 \text{ m})$$

$$A_{pa} = \mathbf{0,1028 \text{ m}}$$

- Longitud de la paleta del agitador

$$L_{pa} = \frac{1}{4} * (D_a)$$

$$L_{pa} = \frac{1}{4} * (0,514 \text{ m})$$

$$L_{pa} = \mathbf{0,1285 \text{ m}}$$

- Longitud de la paleta del agitador montadas en el disco central

$$L_{pm} = \frac{1}{8} * D_a$$

$$L_{pm} = \frac{1}{8} * (0,514 \text{ m})$$

$$L_{pm} = \mathbf{0,0643 \text{ m}}$$

- Altura del líquido

$$H_l = \phi_s$$

$$H_l = \mathbf{1,543 \text{ m}}$$

- Diámetro de turbina

$$\phi_t = \frac{\phi_s}{a}$$

$$\phi_t = \frac{1,543 \text{ m}}{2}$$

$$\phi_t = \mathbf{0,7715 \text{ m}}$$

Dónde:

ϕ_s : Diámetro del sedimentador, (m).

a : Relación de geometría, (adimensional).

- Consumo de potencia del motor

$$P = N_p * n^3 * D_a^5 * \rho_{H2O-20^\circ C}$$

Dónde:

N_p : Número de potencia específica.

n : Velocidad de rotación, (rev/s).

D_a : Diámetro del agitador, (m).

$\rho_{H2O-20^{\circ}C}$: Densidad del agua a 20°C, (kg/m^3).

Número de Reynolds:

Estimación del número de potencia: →

$N_{Re} < 10; N_p = KL/Re$ $N_{Re} > 10.000; N_p = K_T$
--

$$N_{Re} = \frac{n * D_a^2 * \rho_{H2O-20^{\circ}C}}{\mu_{H2O-20^{\circ}C}}$$
$$N_{Re} = \frac{(1,67 \frac{rev}{s}) * (0,514 m)^2 * (998,2 \frac{kg}{m^3})}{1,102 * 10^{-3} \frac{kg}{m.s}}$$

$$N_{Re} = 399.648,95 = 3,99 * 10^5 \rightarrow \text{Régimen Turbulento}$$

Dónde:

n : Velocidad de rotación, (rev/s). (100 rpm/60 s)

$\mu_{H2O-20^{\circ}C}$: Viscosidad dinámica del agua a 20°C, (kg/m.s). ($1,102 * 10^{-3} kg/m.s$)

Se deduce que el número de Reynolds es mayor 10.000, por lo tanto el $N_p = N_T = 6,30$

El consumo de potencia queda:

$$P = 6,30 * (1,67 \frac{rev}{s})^3 * (0,514 m)^5 * (998,2 \frac{kg}{m^3})$$
$$P = 1050,807 Watt = 1,41 Hp$$

Al considerar una eficiencia del motor de 70%, se tiene:

$$P = \frac{1434,314}{0,70} = 2,01 Hp \approx 2 Hp$$

Placas deflectoras:

El tanque sedimentador contendrá en su interior 2 placas deflectoras de tipo vertical, de manera que evite la formación de remolinos y vórtices y serán instaladas de forma perpendicular a la pared del recipiente.

- Ancho de las placas deflectoras

$$A_{pd} = \frac{1}{10} * \phi_s$$

$$A_{pd} = \frac{1}{10} * 1,543 \text{ m}$$

$$A_{pd} = \mathbf{0,1543 \text{ m}}$$

Dónde:

A_{pd} : Ancho de las placas deflectoras, (m).

ϕ_s : Diámetro del sedimentador parte cilíndrica, (m).

- Diámetro del disco central

$$\phi_{dc} = \frac{\phi_s}{4}$$

$$\phi_{dc} = \frac{1,543 \text{ m}}{4}$$

$$\phi_{dc} = \mathbf{0,3858 \text{ m} = 38,58 \text{ cm}}$$

3.6.2.1 Dosificación de productos químicos

El químico utilizado para tratar el afluente líquido generado en la textilera “Laboratorio del Denim” es únicamente el Policloruro de aluminio al 1%, es así que según la pruebas efectuadas a nivel de laboratorio se obtuvo que se requiere de 3 ml (60 ppm) de esta solución para tratar 0,5 L de agua residual, obteniéndose buenos resultados. Para lo cual es importante mencionar que la dosificación se realiza conforme al volumen del sedimentador que corresponde a 3,738 m^3 .

$$D_{PAC} = V_S * C_2$$

$$D_{PAC} = 3738 \text{ L} * 60 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 * 10^6 \text{ mg}}$$

$$D_{PAC} = 0,22428 \frac{\text{kg}}{\text{carga}} = 224,28 \frac{\text{g}}{\text{carga}}$$

Dónde:

D_{PAC} : Dosificación óptima de PAC, (kg/carga).

V_S : Volumen del sedimentador, (m^3).

C_2 : Concentración de PAC en la dosis óptima, (60 ppm). Dato obtenido experimentalmente.

3.6.3 Diseño del tanque dosificador

El tanque dosificador es destinado para preparar de la solución de PAC al 1%.

Consideraciones:

- Tanque de forma cilíndrica.
- Altura del tanque: 0,90 m.
- Volumen del tanque dosificador

Sabiendo que al realizar las pruebas a nivel de laboratorio se requiere de 6 ml de solución de PAC al 1% para tratar 1 L de agua residual, por lo tanto para un caudal de $50,474 \text{ m}^3/\text{día}$ resulta de $0,3028 \text{ m}^3$.

$$\begin{aligned}V_{TD} &= V_{SP} * f_s \\V_{TD} &= 0,3028 \text{ m}^3 * 1,15 \\V_{TD} &= \mathbf{0,34822 \text{ m}^3 = 348,22 \text{ L}}\end{aligned}$$

Dónde:

V_{TD} : Volumen del tanque dosificador, (m^3).

V_{SP} : Volumen de solución de PAC al 1%, (m^3).

f_s : Factor de seguridad, (15%).

- Radio del tanque dosificador

$$\begin{aligned}r_{TD} &= \sqrt{\frac{V_{TD}}{\pi * h_{TD}}} \\r_{TD} &= \sqrt{\frac{0,34822 \text{ m}^3}{\pi * 0,90 \text{ m}}} \\r_{TD} &= \mathbf{0,351 \text{ m}}\end{aligned}$$

Dónde:

r_{TD} : Radio del tanque dosificador, (m).

h_{TD} : Altura del tanque dosificador, (m).

- Diámetro del tanque dosificador

$$\begin{aligned}\phi_{TD} &= 2 * r_{TD} \\ \phi_{TD} &= 2 * (0.351 \text{ m}) \\ \phi_{TD} &= \mathbf{0,702 \text{ m}}\end{aligned}$$

Dónde:

ϕ_{TD} : Diámetro del tanque dosificador, (m).

3.7 Propuesta para el rediseño

3.7.1 Diagrama preexistente de la PTAR “Laboratorio del Denim”

La planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa en la actualidad cuenta con 7 tanques de sedimentación de hormigón armado y sistemas de rejillas. A continuación, se presenta el diagrama de la planta:

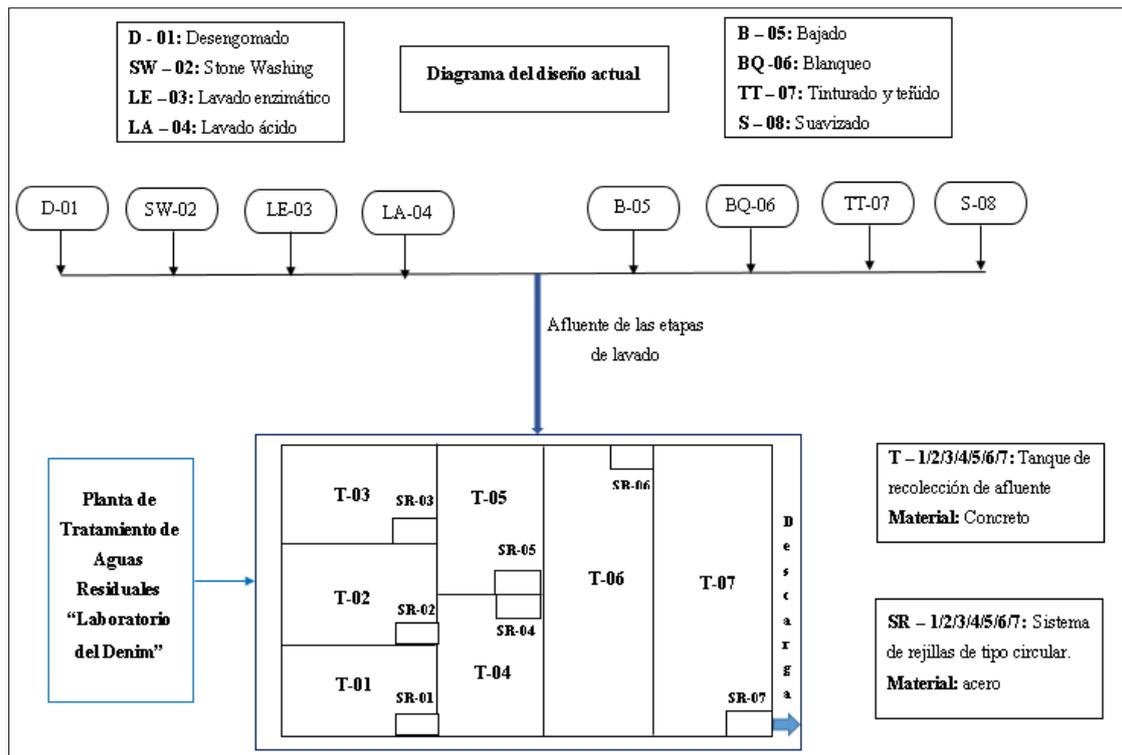


Figura 3-1: Distribución del proceso de tratamiento preexistente

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

3.7.2 Diagrama propuesto para el rediseño de la PTAR “Laboratorio del Denim”

A continuación, mediante el siguiente diagrama se indica el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, como se puede observar incluye los procesos de coagulación y sedimentación adicionales a la PTAR de la industrias textil “Laboratorio del Denim”.

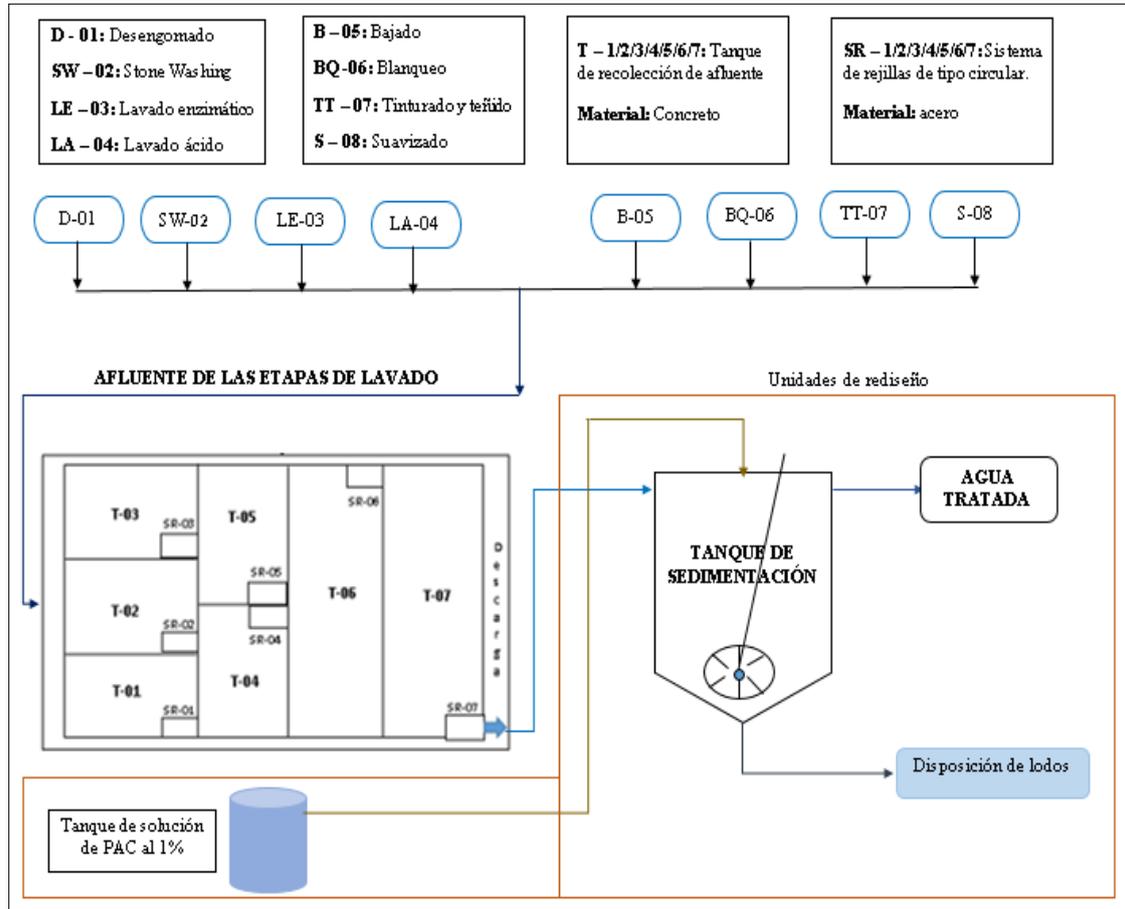


Figura 1-3: Rediseño de la PTAR propuesto para la industria textil “Laboratorio del Denim”

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

3.7.3 Información operativa de la planta de tratamiento

La industria textil “Laboratorio del Denim” debido a la actividad productiva a la que se dedica genera afluentes líquidos, pues a fin de mitigar el impacto ambiental la empresa cuenta con una planta de tratamiento específicamente para tratar líquidos residuales. A continuación se detalla la operación de la misma.

El afluente se genera en los diferentes procesos de lavado, tales como desgomado, Stone Washing, lavado enzimático, lavado ácido, bajado, blanqueo, tinturado y teñido, y suavizado, puesto que

estos procesos como tal se lleva a cabo mediante vía húmeda (haciendo uso del agua). Es así que el agua residual sale de los diferentes equipos y máquinas empleados, y es descargado hacia una tubería de hormigón armado por donde es conducida hacia los tanques **T – 1/2/3/4/5/6/7** de material de concreto, dichos tanques se han destinado para regular el caudal y la concentración de los contaminantes presentes, adicional en la salida de los tanques se encuentran dispuestos un sistema de rejillas de tipo circular de material de acero, seguidamente con la ayuda de una bomba el líquido residual es enviado al tanque de sedimentación donde se llevará a cabo la adición de PAC al 1% (la solución del coagulante es preparada en un tanque dosificador) y mediante el sistema de agitación se procede la mezcla de los reactivos químicos con el agua, una vez llevado a cabo este proceso la mezcla debe quedar completamente en reposo por el tiempo establecido, logrando así que los sólidos presentes en el agua desciendan a la parte inferior del recipiente, y en la parte superior obtener un agua más transparente y que pueda descargarse sin ningún inconveniente cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Los lodos generados serán destinados al relleno sanitario de la misma localidad, debido a que la industria al momento no dispone de suficiente espacio para el diseño de un lecho de secado.

3.7.4 Diagrama del proceso

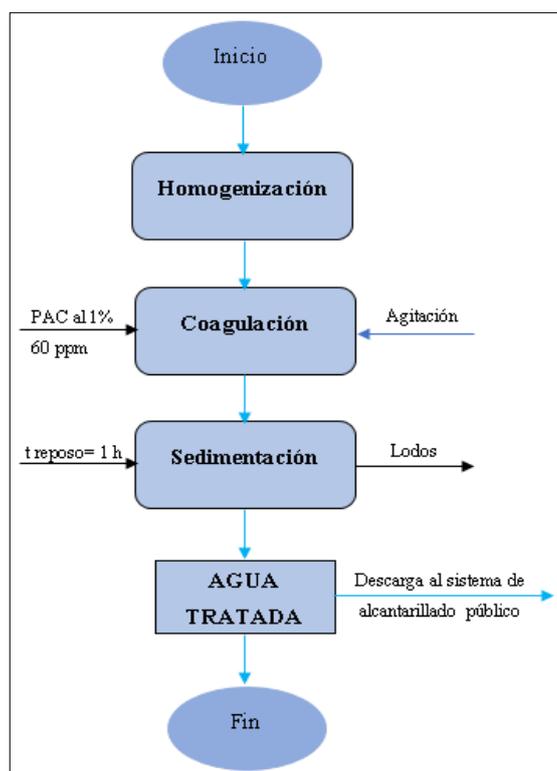


Figura 2-3: Diagrama del proceso de rediseño

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Diagnóstico inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales

4.1.1 Sistema actual de tratamiento de aguas residuales del “Laboratorio del Denim”

Para el diagnóstico inicial de la PTAR se visitó las instalaciones de la industria textil “Laboratorio del Denim” durante el mes de junio del 2020, obteniéndose la siguiente información: los afluentes líquidos generados en los diferentes procesos de lavado son conducidos a la planta mediante tuberías de hormigón donde suelen ser descargados a unos tanques de hormigón armado, con la finalidad de llevar a cabo el proceso de sedimentación para la precipitación de sólidos suspendidos que trae consigo el agua residual y posteriormente ser vertidos hacia el sistema de alcantarillado público. Actualmente la planta cuenta con 7 tanques de tipo rectangular ubicados de forma secuencial, cuya función principal es llevar a cabo el proceso de sedimentación, donde los sólidos suspendidos presentes en el afluente por acción de la gravedad tienden a descender hacia el fondo del tanque, dando lugar un agua más transparente y resultado de aquello se genera el lodo (este residuo es destinado hacia el relleno sanitario de dicha localidad). Por otro lado, a la entrada de los tanques se encuentra ubicado un sistema de rejillas de tipo circular, el cual se encarga de retener los sólidos de mayor tamaño así como retazos de tela a fin de brindar protección al sistema de drenaje, a continuación se indica el sistema de tratamiento actual mediante la siguiente tabla:

Tabla 1-4: Sistema de tratamiento de aguas residuales del “Laboratorio del Denim”

Descripción	Evidencia
<p>El agua residual generado en los diferentes procesos de lavado es conducido mediante tuberías hasta llevarlo a la planta de tratamiento.</p> <p>Tanque 1, 2 : tienen la capacidad de 0,706 m³.</p> <p>Tanque 3: capacidad de 0,675 m³.</p> <p>Tanque 4: capacidad de 0,536 m³.</p> <p>Tanque 5: capacidad de 1,216 m³.</p> <p>Tanque 6: capacidad de 1,615 m³.</p> <p>Tanque 7: capacidad de 1,761 m³.</p>	 Una fotografía que muestra una serie de siete tanques rectangulares de hormigón armado, etiquetados como T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7, dispuestos en una línea. Los tanques están parcialmente llenos de agua oscura. En el fondo de los tanques se pueden ver algunos objetos flotantes, como bolsas blancas y una bolsa verde. El tanque T1 está en primer plano y tiene un tubo vertical que sobresale de su superficie.

El sistema de cribado se encuentra ubicado a la salida de los tanques de sedimentación, como se puede observar son de tipo circular cuya función es retener los sólidos gruesos.



Tanques de sedimentación, donde se efectúa los procesos de coagulación y floculación.



Fuente: Laboratorio del Denim, 2020.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Con el propósito de conocer más a fondo la situación actual de la planta se solicitó la siguiente información: caudales de ingreso, plan de mantenimiento y limpieza, manual de operación, sustancias químicas empleadas y dosificación de las mismas, no obstante previo a la realización del presente documento dicha información no fue emitida, con lo cual se puede corroborar que no disponen de lo expuesto anteriormente, por lo que resulta importante trabajar con mayor énfasis en este aspecto ya que a más de evitar sanciones económicas por parte del Ministerio del Ambiente y otras entidades que controlan dichas actividades industriales, también contribuirá de manera radical con el cuidado del medio ambiente y su entorno.

4.1.2 Evaluación de la eficiencia de la PTAR existente “Laboratorio del Denim”

A continuación se indica la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales existente en la empresa.

Tabla 2-4: Determinación de la eficiencia de agua residual “Laboratorio del Denim”

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Evaluación de PTAR existente	% de Eficiencia
DQO	mg/l	699	580	17,02
DBO ₅	mg/l	280	263	6,07
Color	mg/l	1418	1256	11,42
Sulfatos	mg/l	595	460	22,69
Tensoactivos	mg/l	1.525	1.204	21,05

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Según la tabla 2-4, se puede constatar que la eficiencia de la PTAR existente es muy baja, por lo cual es importante realizar el rediseño respectivo.

4.2 Caracterización del agua tratada procedente de la planta de tratamiento del “Laboratorio del Denim”

A fin de conocer el grado de contaminación y verificar el cumplimiento conforme a la normativa ambiental se realizó la caracterización inicial del afluente, donde se determinaron parámetros de mayor relevancia en este tipo de aguas servidas, obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3-4: Caracterización inicial del afluente procedente de la PTAR “Laboratorio del Denim”

Parámetros	Unidad	Método	Límite máximo permisible	Resultados promedio
pH	-	4500 - B	6 - 9	7,23
Temperatura	°C	-	<40	20
Color	Co/Pt	2120 – B	-	1418
Conductividad	μS/cm	2510 – B	-	1421,15
Turbiedad	UNT	2130 – B	-	137,5
Sólidos sedimentables (SD)	mg/l	2540 – F	20,0	51,325
Sólidos suspendidos (SST)	ml/l	2540 – B	220	210

Sólidos totales (ST)	mg/l	2540 – D	1600	2775
DQO	mg/l	5220 – C	500	699
DBO5	mg/l	5210 – B	250	280
Aceites y grasas	mg/l	-	70,0	39,75
Sulfatos	mg/l	-	400	595
Tensoactivos	mg/l	-	2,0	1,525
* Metales pesados: cobre	mg/l	-	1,0	0,813

Fuente: (Laboratorio SAQMIC, 2020; Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH; * Alverca, 2020)

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

En la tabla 3-4, se puede apreciar que la mayoría de los parámetros analizados del afluente procedente de la PTAR “Laboratorio del Denim” no cumplen con los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, el cual al ser vertido sin previo tratamiento implica un gran riesgo para el medioambiente y el ser humano, por lo que es indispensable llevar a cabo el respectivo tratamiento para garantizar la remoción de dichos contaminantes y disminuir el impacto ambiental.

El sistema de tratamiento se seleccionó de acuerdo al índice de biodegradabilidad, que consiste en la relación entre DBO₅ y DQO dando el valor de 0,40, el cual indica que el agua residual es de carácter poco biodegradable (contiene material de tipo inorgánico), optándose por los tratamientos físicos y químicos, con restricción por sistemas biológicos.

4.3 Unidades que conforman el rediseño de la PTAR del “Laboratorio del Denim”

Las unidades que constituyen el rediseño de la PTAR “Laboratorio del Denim” son: un tanque sedimentador con fondo cónico, montado por un sistema de agitación (agitador de turbina de palas planas), además se diseñó un tanque dosificador, a continuación en las tablas 4 – 4 y 5 – 4 se tiene las dimensiones de cada una de las unidades.

Tabla 4-4: Dimensiones del tanque sedimentador de tipo cónico

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Área superficial del sedimentador	A_s	1,869	m^2
Volumen del sedimentador	V_s	3,738	m^3
Volumen del sedimentador parte cilíndrica	V_{sc}	3,611	m^3

Volumen del sedimentador parte cónica	V_{SCN}	0,127	m^3
Diámetro del sedimentador parte cilíndrica	\varnothing_s	1,543	m
Altura del sedimentador parte cilíndrica	h_s	2,0	m
Altura del sedimentador parte cónica	h_{SCN}	0,147	m
Altura total del tanque sedimentador.	H_{TS}	2,147	m
Sistema de agitación			
Diámetro del agitador	D_a	0,514	m
Altura del agitador	h_a	0,514	m
Ancho de la paleta del agitador	A_{pa}	0,1028	m
Longitud de la paleta del agitador	L_{pa}	0,1285	m
Longitud de la paleta del agitador montadas en el disco central	L_{pm}	0,0643	m
Diámetro de turbina	\varnothing_t	0,7715	m
Diámetro del disco central	\varnothing_{dc}	0,3858	m
Potencia del motor	P	2	Hp
Placas deflectoras			
Número de placas deflectoras	N_{pd}	2	unidad
Ancho de las placas deflectoras	A_{pd}	0,1543	m

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Tabla 5-4: Dimensiones del tanque dosificador

Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Volumen del tanque dosificador	V_{TD}	0,34822	m^3
Radio del tanque dosificador	r_{TD}	0,351	m
Altura del tanque dosificador	h_{TD}	0,90	m
Diámetro del tanque dosificador	D_{TD}	0,702	m

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

4.4 Validación del rediseño de la PTAR mediante caracterización físico – química de agua tratada

4.4.1 Caracterización final del agua tratada

Para corroborar la eficiencia del sistema de tratamiento llevado a cabo a escala de laboratorio y el cumplimiento de la misma se realizó la respectiva validación mediante la caracterización físico – química del agua tratada. Dichos análisis se realizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 6-4: Caracterización físico – química final del agua tratada

Parámetros	Unidad	Método de medición	Límite máximo permisible	Resultados
pH	-	4500 - B	6 - 9	7,70
Temperatura	°C	-	<40	20
Color	Co/Pt	-	-	239
Conductividad	$\mu S/cm$	2510 - B	-	978,9
Turbiedad	UNT	2130 - B	-	18,7
Sólidos sedimentables (SD)	mg/l	2540 - B	20,0	0,00
Sólidos suspendidos (SST)	mg/l	-	220	45
Sólidos totales (ST)	mg/l	2540 - A	1600	1560
DQO	mg/l	5220 - C	500	295
DBO5	mg/l	5210 - B	250	65
Aceites y grasas	mg/l	-	70,0	23
Sulfatos	mg/l	-	400	205
Tensoactivos	mg/l	-	2,0	0,802

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

En la tabla 6-4 se aprecia que la mayoría de los parámetros analizados cumplen con la normativa ambiental vigente, es decir que los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido en la normativa ambiental vigente, mientras que el color presenta todavía un valor alto, del mismo modo sucede con la conductividad, sin embargo, según (Pérez, 2016, p. 5) indica que para el caso de aguas tratadas la conductividad debe encontrarse entre 500 – 1000 $\mu S/cm$, puesto que se ve influenciada por la presencia de iones y sales, temperatura, pH, gases disueltos, entre otros que afectan la solubilidad.

A continuación, se describe una comparación de los resultados que corresponden a la caracterización inicial del efluente y agua posterior al tratamiento:

Tabla 7-4: Comparación de resultados de la caracterización inicial del efluente y agua posterior al tratamiento

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Agua sin tratar		Agua tratada	
			Resultado	Cumplimiento	Resultado	Cumplimiento
pH	-	6 – 9	7,23	Si	7,70	Si
Temperatura	°C	<40	20	Si	20	Si
Color	<i>Co/Pt</i>	-	1418	No	239	Si
Conductividad	$\mu S/cm$	-	1421,15	No	978,9	Si
Turbiedad	UNT	-	137,5	No	18,7	Si
Sólidos sedimentables (SD)	<i>mg/l</i>	20,0	51,325	No	0,00	Si
Sólidos suspendidos (SST)	<i>mg/l</i>	220	210	Si	45	Si
Sólidos totales (ST)	<i>mg/l</i>	1600	2775	No	1560	Si
DQO	<i>mg/l</i>	500	699	No	295	Si
DBO5	<i>mg/l</i>	250	280	No	65	Si
Aceites y grasas	<i>mg/l</i>	70,0	39,75	Si	23	Si
Sulfatos	<i>mg/l</i>	400	595	No	205	Si
Tensoactivos	<i>mg/l</i>	2,0	1,525	Si	0,802	Si

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

El efluente procedente de la PTAR de la empresa muestra que al aplicar una concentración de 60 ppm de PAC al 1% (tratamiento ideal según ensayos de laboratorio) produjo que la mayoría de los parámetros analizados cumplan con la normativa ambiental vigente, resultando un tratamiento efectivo para tratar este tipo de aguas.

4.4.2 Eficiencia del sistema de tratamiento

Tabla 8-4: Porcentaje de remoción del agua tratada

Parámetro	Unidad	% de Remoción				
Color	Co/Pt	<div style="text-align: center;"> <p>Porcentaje de remoción 83,1%</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>1418</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>239</td> </tr> </table> </div>	■ Agua sin tratar	1418	■ Agua tratada	239
■ Agua sin tratar	1418					
■ Agua tratada	239					
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<div style="text-align: center;"> <p>Porcentaje de remoción 31,1%</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>1421,15</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>978,9</td> </tr> </table> </div>	■ Agua sin tratar	1421,15	■ Agua tratada	978,9
■ Agua sin tratar	1421,15					
■ Agua tratada	978,9					
Turbiedad	NTU					

		<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 86,4%</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Turbiedad (NTU)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua sin tratar</td> <td style="text-align: center;">137,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua tratada</td> <td style="text-align: center;">18,7</td> </tr> </tbody> </table>	Turbiedad (NTU)		■ Agua sin tratar	137,5	■ Agua tratada	18,7
Turbiedad (NTU)								
■ Agua sin tratar	137,5							
■ Agua tratada	18,7							
Sólidos Sedimentables (SD)	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 100%</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Sólidos sedimentables (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua sin tratar</td> <td style="text-align: center;">51,325</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua tratada</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>	Sólidos sedimentables (mg/l)		■ Agua sin tratar	51,325	■ Agua tratada	0
Sólidos sedimentables (mg/l)								
■ Agua sin tratar	51,325							
■ Agua tratada	0							
Sólidos suspendidos (SST)	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 78,6%</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Sólidos suspendidos totales (ml/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua sin tratar</td> <td style="text-align: center;">210</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">■ Agua tratada</td> <td style="text-align: center;">45</td> </tr> </tbody> </table>	Sólidos suspendidos totales (ml/l)		■ Agua sin tratar	210	■ Agua tratada	45
Sólidos suspendidos totales (ml/l)								
■ Agua sin tratar	210							
■ Agua tratada	45							
Sólidos Totales (ST)	(mg/l)							

		<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 43,8%</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Sólidos totales (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>2775</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>1560</td> </tr> </tbody> </table>	Sólidos totales (mg/l)		■ Agua sin tratar	2775	■ Agua tratada	1560
Sólidos totales (mg/l)								
■ Agua sin tratar	2775							
■ Agua tratada	1560							
DQO	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 57,8%</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DQO (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>699</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>295</td> </tr> </tbody> </table>	DQO (mg/l)		■ Agua sin tratar	699	■ Agua tratada	295
DQO (mg/l)								
■ Agua sin tratar	699							
■ Agua tratada	295							
DBO ₅	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 76,8%</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DBO5 (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>280</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>	DBO5 (mg/l)		■ Agua sin tratar	280	■ Agua tratada	65
DBO5 (mg/l)								
■ Agua sin tratar	280							
■ Agua tratada	65							
Aceites y grasas	(mg/l)							

		<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 42,1%</p> <p style="text-align: center;">Aceites y grasas (mg/l)</p> <table border="1"> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>39,75</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>23</td> </tr> </table>	■ Agua sin tratar	39,75	■ Agua tratada	23
■ Agua sin tratar	39,75					
■ Agua tratada	23					
Sulfatos (SO_4^{-2})	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 65,5%</p> <p style="text-align: center;">Sulfatos (mg/l)</p> <table border="1"> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>595</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>205</td> </tr> </table>	■ Agua sin tratar	595	■ Agua tratada	205
■ Agua sin tratar	595					
■ Agua tratada	205					
Tensoactivos	(mg/l)	<p style="text-align: center;">Porcentaje de remoción 47,4%</p> <p style="text-align: center;">Tensoactivos (mg/l)</p> <table border="1"> <tr> <td>■ Agua sin tratar</td> <td>1,525</td> </tr> <tr> <td>■ Agua tratada</td> <td>0,802</td> </tr> </table>	■ Agua sin tratar	1,525	■ Agua tratada	0,802
■ Agua sin tratar	1,525					
■ Agua tratada	0,802					

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

Los resultados descritos en la tabla 8-4 indican la eficiencia del proceso que se determina en porcentajes de remoción de los contaminantes del agua residual vs agua tratada mediante la caracterización inicial y final, para así corroborar si mediante el tratamiento a la cual fue sometida es efectiva. De hecho, color, turbiedad, sólidos suspendidos y sedimentables, demanda bioquímica de oxígeno presentaron una remoción significativa de 83,1%, 86,4%, 78,6% , 100% y 76,8% respectivamente, así también existieron parámetros que presentaron una remoción de sólidos totales 43,8%, conductividad 31,1%, DQO 57,8%, aceites y grasas 42,1%, tensoactivos 47,4% y sulfatos 65,5%, dichos parámetros se encuentran dentro de la normativa ambiental vigente.

4.5 Análisis técnico y económico del proyecto

El estudio técnico y económico permite verificar la viabilidad de un proyecto, es decir analizar la conveniencia o inconveniencia en la utilización de recursos destinados a la ejecución del proyecto, pues para lo cual es muy indispensable manejar criterios que garanticen la eficiencia financiera, económica, social y ambiental.

4.5.1 Presupuesto para la implementación de equipos

Tabla 9-4: Cotización para la implementación del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

Rubro	Cantidad requerida	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Sistema de sedimentación			
Tanque de sedimentación	1	1.500	1.200
Impulsor con motor reductor	1	2.000	2.000
Sistema de dosificación de químicos			
Tanque de polipropileno	1	250	250
Otros			
Instalaciones y materiales (tuberías y accesorios)			350
Subtotal			3.800
IVA 12%			456
TOTAL			4.256

Fuente: Spanish Alibaba.com, 2020

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

El costo para la implementación de las unidades de rediseño para la fábrica textilera “Laboratorio del Denim” es de \$4.256 tal como se describe en la tabla 9-4, este valor incluye la instalación de equipos, accesorios y materiales necesarios para que la PTAR funcione correctamente, cabe

destacar que el valor mencionado variará de acuerdo al coste de los materiales y equipos al momento de construir la planta, el cual será manejado de manera particular por el dueño de la industria.

4.5.2 Presupuesto de consumo de reactivos

Es importante destacar que en el presente estudio el único reactivo químico empleado para la depuración de líquidos residuales es el coagulante (policloruro de aluminio), esto de acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de tratabilidad. A continuación, se describe en la siguiente tabla:

Tabla 10-4: Costo de químicos por mes para el tratamiento de aguas residuales “Laboratorio del Denim”

Reactivo químico	Caudal a tratar (L/día)	Concentración empleada (ppm)	Cantidad (kg/día)	Cantidad (kg/mes)	Costo unitario (USD/Kg)	Costo mensual
Policloruro de aluminio	43891,2	60	2,633	52,66	1,15	60,56
Subtotal						60,56
IVA (12%)						7,27
Total						67,83

Realizado por: Garcés Torres, Vinicio, 2021.

El costo de inversión en químicos para tratar aguas residuales durante un mes es de \$67,83, cabe mencionar que la cotización se puede realizar mensual o anualmente.

En conclusión, la inversión en equipos se realizará una sola vez si la fábrica decidiera implementarlo, en tanto que la cotización en sustancias químicas se efectuará de acuerdo al requerimiento de la empresa ya sea anual o mensualmente.

CONCLUSIONES

- Mediante una visita in situ se realizó el diagnóstico inicial de la PTAR de la industria textil “Laboratorio del Denim”, así pues, actualmente la planta cuenta con 7 tanques rectangular de hormigón armado, ubicados de forma secuencial que tienen la finalidad de llevar a cabo el proceso de sedimentación, adicionalmente dispone de sistemas de rejillas con el propósito de retener retazos de tela para evitar daños en los tratamientos posteriores.
- Se realizó la caracterización físico – química de las muestras del agua previo a ser descargada procedente de los tanques de sedimentación, dichos resultados permitieron determinar los parámetros que están fuera del límite permisible conforme a lo establecido en el acuerdo ministerial 097-A, siendo los siguientes: sólidos sedimentables 51,325 mg/l, DQO 699 mg/l, DBO5 280 mg/l, sulfatos 595 mg/l, así también color 1418 Co/Pt, conductividad 1421,15 $\mu S/cm$ y turbiedad 137,5 presentaron valores altos, verificando que los límites máximos permisibles están fuera de norma, así también se determinó cobre con valor de 0,813 mg/l, sin embargo dicho parámetro se encuentra bajo la normativa.
- De acuerdo al índice de biodegradabilidad se seleccionó el tratamiento más idóneo, optándose por tratamientos físicos y químicos (coagulación y sedimentación) con restricción a los sistemas biológicos, puesto que arrojó un valor de 0,40 lo cual indica que el afluente procedente de los procesos de lavado contiene material poco biodegradable.
- Habiendo determinado el tratamiento más ideal se ejecutó las pruebas de tratabilidad respectivas, donde se logró identificar las variables que influyen en el proceso tales como: caudal de diseño, concentración y dosificación de coagulante, tiempo de sedimentación y velocidad de agitación.
- Conforme a los resultados obtenidos en los ensayos de tratabilidad se realizó los correspondientes cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la textilera, para lo cual se propone un tanque de sedimentación circular con fondo cónico de capacidad de 3,738 m^3 , diámetro de

1,543 m, y altura de 2,147 m, el mismo que contendrá un agitador de turbina de 6 palas planas para efectuar el mezclado; un tanque dosificador con capacidad de $0,34822 m^3$, diámetro de 0,702 m y altura de 0,90 m.

- La validación del rediseño de la planta de tratamiento propuesto se realizó mediante la caracterización físico – química del agua tratada, donde los resultados indican que todos los parámetros analizados cumplen con los límites de la normativa ambiental vigente, lográndose obtener los siguientes porcentajes de remoción: color 83,1%, turbiedad 86,4%, conductividad 31,1%, sólidos sedimentables 100%, sólidos suspendidos 78,6%, sólidos totales 43,8%, DQO 57,8%, DBO₅ 76,8%, aceites y grasas 42,1%, sulfatos 65,5% y tensoactivos 47,4%.
- La implementación de las unidades de rediseño para la empresa textilera requiere de \$4.256, este valor abarca los costos en equipos, materiales y accesorios; así también el costo en reactivos químicos es de \$67,83 por mes, con lo cual se destaca que el proyecto es económicamente viable.

RECOMENDACIONES

- Efectuar la caracterización físico – química del afluente antes y después del tratamiento, para lo cual se recomienda realizar semestralmente, de manera que permita mantener un control adecuado de la PTAR, garantizando así mitigar el impacto ambiental.
- Capacitar al personal que labora en la empresa, especialmente al operario o encargado de la PTAR, de este modo se garantiza la correcta operación de la misma. Así pues, es importante la implementación de un manual de operación para que el tratamiento se lleve de manera eficiente.
- La dosificación adecuada del coagulante debe efectuarse de acuerdo a la cantidad del afluente a tratar, la adición de la misma se realizará de forma manual.
- Realizar el mantenimiento y limpieza de los equipos luego de terminar cada lote, de modo que garantice seguridad y el correcto funcionamiento de los mismos.
- Es sustancial que se realice la caracterización de los lodos generados en la empresa para conocer la calidad de los mismos y una vez analizado pueda ser reutilizado dentro del proceso de lavado, lo cual garantiza mitigar el impacto ambiental. Posteriormente es importante la implementación de un lecho de secado para la deshidratación de lodos, puesto que en el presente estudio no se ha diseñado ya que la empresa no cuenta con suficiente espacio.
- Se recomienda llevar un registro diario de las actividades realizadas, la cantidad de químicos empleados en el tratamiento de las aguas residuales, puesto que permitirá llevar un control y monitoreo ideal.
- Aplicar los principios de producción limpia, lo cual implica generar menor cantidad de residuos tanto líquidos como sólidos. Para el proceso de producción utilizar productos biodegradables con mínima toxicidad para los organismos acuáticos y bajo contenido de halógenos orgánicos absorbibles.

GLOSARIO

Abrasión: hace referencia al tejido, prenda desgastada o gradualmente dañada, cuando estos se frotan repetidamente entre los tejidos o con otros materiales (piedra pómez o auxiliares químicos) durante el lavado (TESTEX, 2018)

Acabado: proceso que preparara un textil con el propósito de modificar ciertas características como la apariencia, tacto o comportamiento (Ortiz, s.f.)

Amilasa: enzima que se emplea para extraer el almidón que recubre la fibra, proceso conocido como desengomado (ENZQUIM, 2018).

Antiquiebre: son productos químicos que se utilizan para lubricar el denim crudo, con lo cual se evita los quiebres o marcas de arrugas que se forman en los procesos húmedos (Auxitex, 2008).

Denim: es un tejido de algodón constituido por dos hilos, una de urdimbre de color azul y la otra de trama sin teñir de color blanco, utilizado para la fabricación de ropa desde jeans hasta bikinis (Saavedra, 2017).

Desengomado: se refiere a la eliminación de residuos de goma o aceites adheridos en la prenda, utilizado para lograr una buena humectación y mejorar el descruce, tinturado y acabados (LAFAYETTE SPORTS, 2020)

Enfurtido: proceso tecnológico cuando el tejido de lana alcanza su apariencia gruesa, íntegra al tacto y estabilización, se lleva a cabo de forma más acelerada, a elevadas temperaturas haciendo uso de aditivos, jabones y sustancias ácidas y alcalinas (TEXSITE, 2008).

Fijador: es empleado como auxiliar químico para que el teñido resista a los lavados (Chávez, 2017).

Humectante: producto químico neutro que tiene la capacidad de humectar las prendas textiles, es decir facilita la absorción de químicos en la tela y dar un excelente acabado haciendo que resalte el color (Humectante, 2017).