

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA, EL POLITÉCNICO**

**Análisis y Evaluación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
de una Industria Textil**

Wendy Roxana Llive Carrillo
Marcelo Albuja, M.Sc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para
la obtención del título de Ingeniera Química

Quito, Diciembre de 2012

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Análisis y Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
de una Industria Textil**

Wendy Roxana Llive Carrillo

Ing. Marcelo Albuja, M.Sc.

Director de tesis y

Miembro del comité de tesis

Carlos Fabara, M.Sc.

Miembro del comité de tesis

Lourdes Orejuela, M.Sc

Miembro del comité de tesis

Santiago Gangotena, Ph.D.

Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito

Diciembre de 2012

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Wendy Roxana Llive Carrillo

C. I.: 1720230372

Fecha: 2012-12-04

Dedicatoria

Este trabajo realizado quiero dedicarlo a Dios porque ha sido mi fortaleza, guía y mi amigo fiel durante toda mi vida.

También quiero dedicar este trabajo a mis padres porque con su guía y apoyo incondicional he logrado culminar este trabajo. Para ustedes, Clarita y Mario, el fruto de cinco años de estudio, constancia, esfuerzo.

Agradecimientos

A Dios, porque siempre me ha brindado fortaleza, perseverancia y constancia en mi carrera universitaria.

A mis padres Clarita y Mario, mis hermanas Belén, Vero, Estefy, porque me han educado en esta prestigiosa universidad, y siempre he recibido de ellos el apoyo moral y espiritual cuando lo he necesitado.

A mis profesores, por haber impartido todos los conocimientos necesarios para poder culminar la carrera.

A Ing. Marcelo Albuja, M.Sc, Director de Tesis, por su paciencia y por el tiempo que dedicó a la revisión de esta tesis.

A Carlos Fabara, M.Sc., Director del Departamento de Química e Ingeniería Química, por las respuestas recibidas a las dudas presentadas en la realización de esta tesis.

A Lourdes Orejuela, M.Sc, por la gentil colaboración en el préstamo de materiales del laboratorio.

A todas mis queridas amigas, Gaby Naula, Naty Quiroz, Deisy Criollo por los momentos compartidos durante toda nuestra vida estudiantil, y por el apoyo moral recibido en los momentos difíciles. Gracias niñas se las aprecia mucho.

Resumen

La industria textil ha mostrado tener diversos problemas ambientales, entre uno de los principales se encuentra el uso y gestión del agua. Por tanto, el impacto ambiental de sus efluentes líquidos es variado, debido a las diferentes materias primas, reactivos y métodos o procesos de producción que se utilizan en ellos.

Con este estudio se analizó y evaluó la disposición de los residuos líquidos que se generan en los procesos productivos de una industria textil a través de un análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua tanto a la salida del Jet como en todo el tratamiento hasta la descarga del agua en el alcantarillado. Con los resultados obtenidos se comprobó la remoción de color, carga de sólidos suspendidos, DBO, DQO, turbidez, pH, alcalinidad, dureza, cloruros, presencia de metales, entre otros. En los tres análisis de agua que se realizaron, los parámetros fisicoquímicos que tienen valores altos son la conductividad, DQO, Sólidos Totales. Sin embargo, al comparar estos valores con la ordenanza municipal, estos no sobrepasan el límite permisible de la descarga de residuos líquidos según la Ordenanza Municipal.

Por otro lado, se determinó que la cantidad de dosis que se debe aplicar en la coagulación debe ser de 9 mL porque con esta cantidad de volumen el porcentaje de remoción de turbidez es del 34% en comparación con otras cantidades de coagulante.

Finalmente, con el estudio realizado sobre el seguimiento de los parámetros fisicoquímicos del agua, se determinó que se puede reutilizar el agua residual tratada, en especial en el proceso de tintorería.

Abstract

Textile industry has many environmental problems, being the most important one the use and management of water. Thus, the environmental impact of liquid effluents is varied due to different raw materials, reagents and methods or production processes that are used in them.

The purpose of this study is to analyze and evaluate the provision of wastewater generated in the production processes of a textile industry through an analysis of the physicochemical parameters of the water at the Jet and at the discharge water drain.

The removal of color, load of suspended solids, BOD, COD, turbidity, pH, alkalinity, hardness, chlorides, metals content, and others, was done. The physicochemical parameters with higher values are conductivity, COD, total solids. However, these values were compared with the regulation, and they do not exceed the permissible limit of discharge of liquid waste according to Municipal Rules.

It was determined that the amount of dose to be applied in the coagulation process should be 9 mL because, with this amount of volume, the removal percentage was 34% on turbidity compared with other quantities of coagulant.

Finally, the study of the physicochemical parameters analysis concludes that water can be reused for dyeing process.

Tabla de contenido

Dedicatoria _____	iv
Agradecimientos _____	v
Resumen _____	vi
Abstract _____	vii
Tabla de contenido _____	viii
Lista de figuras _____	xi
Lista de tablas _____	xiii
Nomenclatura _____	xiv
1 Introducción _____	1
1.1 Antecedentes _____	1
1.2 Justificación del problema _____	2
1.2.1 Objetivo general _____	3
1.2.2 Objetivos específicos _____	3
2 Fundamentos teóricos _____	4
2.1 Contaminación ambiental _____	4
2.2 Generalidades de Aguas residuales _____	4
2.3 Parámetros físico – químicos indicadores de la contaminación en el agua _____	6
2.3.1 Parámetros físicos _____	6
2.3.2 Parámetros químicos _____	8
2.4 Principales contaminantes de los efluentes de una fábrica textil _____	14
2.4.1 Materias en suspensión _____	14
2.4.2 Materias flotantes _____	14
2.4.3 Impurezas disueltas _____	14
2.5 Procesos que originan los efluentes de una fábrica textil _____	15
2.6 Colorantes _____	19
2.7 Procesos unitarios de tratamiento de aguas _____	20
2.7.1 Reacciones de Precipitación: Coagulación y floculación _____	20
3 Tinturación de Tela Polyester _____	25
3.1 Proceso de Tinturación de Tela Poliéster _____	25

3.2	Cuantificación de colorantes _____	27
3.3	Auxiliares _____	29
4	Planta de Tratamiento de agua _____	31
4.1	Descripción de Planta de la Tratamiento de agua residuales _____	31
4.2	Ingreso de Agua _____	33
4.2.1	Pozo de Agua _____	33
4.2.2	Saca Lodos _____	33
4.2.3	Cisterna _____	34
4.2.4	Reservorio de agua del caldero _____	36
4.3	Salida de agua del Jet después del proceso de tinturación _____	37
4.3.1	Tanque de revisión _____	37
4.3.2	Piscina de enfriamiento _____	38
4.3.3	Canal _____	39
4.3.4	Desarenador 1 _____	41
4.3.5	Desarenador 2 _____	43
4.3.6	Piscina _____	43
4.3.7	Reservorio 2 _____	46
4.3.8	Reservorio 3 _____	47
4.3.9	Alcantarillado _____	47
5	Parámetros fisicoquímicos analizados _____	49
5.1	Medición de pH _____	49
5.2	Medición de Conductividad _____	49
5.3	Medición de Temperatura _____	49
5.4	Medición de Turbidez _____	50
5.5	Determinación de DQO _____	50
5.6	Determinación de DBO _____	52
5.7	Determinación de Sólidos Disueltos _____	54
5.8	Determinación de Alcalinidad _____	55
5.9	Determinación de cloruros _____	56
5.10	Determinación de dureza _____	57
5.11	Determinación de sulfatos _____	58
5.12	Determinación de nitratos _____	58
5.13	Determinación de sustancias solubles en hexano _____	59
5.14	Determinación de metales _____	60

5.15	Análisis de jarras	60
6	Resultados y Discusión de Resultados sobre el Análisis Físicoquímico de agua residuales	63
6.1	Primer análisis	63
6.2	Segundo análisis	71
6.3	Tercer análisis	77
7	Resultados y Discusión de Resultados sobre el Análisis de Jarras	88
7.1	Análisis para la adición de coagulante	88
8	Conclusiones y Recomendaciones	95
9	Bibliografía	98
10	Anexos	101
	Anexo 1: Ordenanza Municipal descarga de agua	101
	Anexo 2: Cálculo de la capacidad de cada reservorio de Tratamiento de Aguas	105
	Anexo 3: Curvas de Calibración para detección de metales en el agua	109
	Anexo 4: Layout de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	114

Lista de figuras

Figura 2.1: Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa	21
Figura 2.1: Fuerzas de atracción y repulsión	22
Figura 3.1: Diagrama de flujo del proceso de tinturación de tela Poliéster	25
Figura 3.2: Estructura Química de un Colorante Ftalocianina de Cobre.....	28
Figura 3.3: Estructura Química de la Sal de sodio de Naftaleno Sulfonado	29
Figura 3.4: Estructura Química de un Tensioactivo No Iónico	30
Figura 3.5: Estructura Química de un Detergente	30
Figura 4.1: Diagrama de flujo de Planta de Tratamiento de agua residuales “Mallatex” ...	31
Figura 4.2: Diagrama de bloques tratamiento de agua “Mallatex”	32
Figura 4.3: Saca Lodos	34
Figura 4.4: Tuberías a la salida de la cisterna.....	35
Figura 4.5: Bomba de succión 2HP	35
Figura 4.6: Tanque de alimentación de agua al caldero	36
Figura 4.7: Tuberías de entrada y salida del jet.....	37
Figura 4.8: Tanque de revisión	38
Figura 4.9: Piscina de Enfriamiento	39
Figura 4.10. Entrada de agua a la piscina	39
Figura 4.11: Vista lateral del Canal	40
Figura 4.12: Vista superior del canal.....	41
Figura 4.13: Desarenador 1	42
Figura 4.14: Tubería de salida del desarenador.....	42
Figura 4.15: Salida de agua del desarenador	43
Figura 4.16: Tubos aireadores de la piscina	44
Figura 4.17: Piscina	45
Figura 4.18: Bomba ½ KW	45
Figura 4.19: Reservorio 2	46
Figura 4.20: Reservorio 3	47
Figura 4.21: Alcantarillado.....	48
Figura 5.1: Proceso de DQO.....	52
Figura 5.2: Muestras finales de DQO	52
Figura 5.3: Muestras iniciales para DBO	54
Figura 5.4: Muestras finales para DBO	54
Figura 5.5: Medidor de Sólidos disueltos.....	54
Figura 5.6: Muestra para determinación de alcalinidad	56
Figura 5.7: Muestra final cloruros	57
Figura 5.8: Muestra inicial cloruros	57
Figura 5.9: Muestra para determinación de nitratos	59
Figura 5.10: Proceso para determinación de sustancias solubles en hexano.....	60
Figura 5.11: Análisis de Jarras	62
Figura 6.1: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color rojo Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Reservorio 2	64

Figura 6.2: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color rojo Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Reservorio 2	65
Figura 6.3: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color café Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Alcantarillado.	68
Figura 6.4: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color café Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Alcantarillado	69
Figura 6.5: Variación de parámetros fisicoquímicos de Pozo, Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento	72
Figura 6.6: Variación de parámetros fisicoquímicos de Pozo, Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento	73
Figura 6.7: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado.	84
Figura 6.8: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado	84
Figura 6.9: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado	85
Figura 7.1: Variación de pH con la adición de diferentes cantidades de coagulante	89
Figura 7.2: Variación de Sólidos Disueltos Totales con la adición de diferentes cantidades de coagulante	90
Figura 7.3: Variación de Conductividad con la adición de diferentes cantidades de coagulante	91
Figura 7.4: Variación de Turbidez con la adición de diferentes cantidades de coagulante.	92
Figura 7.5: Porcentaje de remoción con la adición de diferentes cantidades de coagulante	93
Figura A. 1: Curva de Calibración de Calcio	110
Figura A. 2: Curva de Calibración de Cobre	111
Figura A. 3: Curva de Calibración de Cromo.....	111
Figura A. 4: Curva de Calibración de Potasio	112
Figura A. 5: Curva de Calibración de Sodio	113
Figura A. 6: Curva de Calibración de Zinc	113

Lista de tablas

Tabla 2.1 Valores límites de metales pesados en el agua.....	13
Tabla 6.1 Muestras de Color Rojo.....	63
Tabla 6.2 Parámetros físico - químicos color rojo tanque de revisión	63
Tabla 6.3 Parámetros físico-químicos de piscina de enfriamiento.....	63
Tabla 6.4 Parámetros físico – químicos muestra reservorio 2.....	64
Tabla 6.5 Muestras color café.....	67
Tabla 6.6 Parámetros físico- químicos tanque de revisión.....	67
Tabla 6.7 Parámetros parámetros físico- químicos piscina de enfriamiento.....	67
Tabla 6.8 Parámetros físico- químicos muestras de alcantarillado	68
Tabla 6.9 Muestras de agua (Lavado)	71
Tabla 6.10 Parámetros físico- químicos de muestra pozo.....	71
Tabla 6.11 Parámetros físico- químicos de muestra pozo.....	72
Tabla 6.12 Parámetros físico- químicos de muestra tanque de revisión	74
Tabla 6.13 Parámetros físico- químicos de muestra piscina de enfriamiento	75
Tabla 6.14 Muestras color azul marino	77
Tabla 6.15 parámetros físico- químicos de muestra pozo	77
Tabla 6.16 Parámetros físico- químicos muestra tanque de revisión	78
Tabla 6.17 Parámetros físico- químicos Piscina de enfriamiento	79
Tabla 6.18 Parámetros físico- químicos muestra reservorio 2	80
Tabla 6.19 Parámetros físico- químicos muestra reservorio 3	81
Tabla 6.20 Parámetros físico-químicos muestra alcantarillado.....	82
Tabla 6.21 Parámetros físico- químicos muestra tanque de revisión	83
Tabla 7.1 Concentración de coagulante de Sulfato de Aluminio	88
Tabla 7.2 Volumen usado para la floculación	88
Tabla 7.3 Concentración de floculante en cada jarra.....	88
Tabla 7.4 Medición de pH.....	89
Tabla 7.5 Sólidos disueltos totales en cada jarra	90
Tabla 7.6 Conductividad en cada jarra	91
Tabla 7.7 Turbidez en cada jarra	92
Tabla 7.8 Determinación de Eficiencia y Porcentaje de Remoción de la Turbidez con el coagulante.....	93
Tabla A. 1: Datos para la Curva de Calibración de Calcio.....	110
Tabla A. 2: Datos para la Curva de Calibración de Cobre	110
Tabla A. 3: Datos para la Curva de Calibración de Cromo.....	111
Tabla A. 4: Datos para la Curva de Calibración de Potasio	112
Tabla A. 5: Datos para la Curva de Calibración de Sodio.....	112
Tabla A. 6: Datos para la Curva de Calibración de Zinc.....	113

Nomenclatura

<i>ppm</i>	Partes por millón	[mg/L]
<i>NTU</i>	Unidades de Turbidez Nefelométrica	
<i>V_r</i>	Volumen de cada reservorio	[m ³]
<i>T</i>	Temperatura	[°C]
<i>Q</i>	Flujo de agua	[L/s]
<i>Ω</i>	Conductividad	[μS]
<i>DBO</i>	Demanda Biológica de Oxígeno	[mg/L]
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno	[mg/L]
<i>OD</i>	Oxígeno Disuelto	[mg/L]
<i>SST</i>	Sólidos Solubles Totales	[mg/L]
<i>A</i>	Absorbancia	
<i>C_j</i>	Concentración del coagulante en cada jarra	[mg/L]
<i>C_s</i>	Concentración del coagulante	[mg/L]
<i>V_s</i>	Volumen del coagulante en cada jarra	[mL]
<i>V</i>	Volumen de agua	[mL]
<i>f</i>	Factor de Dilución DBO	
<i>P₂</i>	Peso del balón n + 3 a 4 bulbos de ebullición	[mg]
<i>P₁</i>	Peso del balón n + 3 a 4 bulbos de ebullición + residuo	[mg]

1 Introducción

1.1 Antecedentes

Una industria textil se caracteriza por utilizar una gran cantidad de materia prima para la elaboración de sus productos; sin embargo, en esta industria se generan grandes cantidades de desechos que se producen al realizar los diferentes procesos de la misma. Por otro lado, los procesos productivos de este tipo de industria comprenden una cadena de operaciones que requieren amplias cantidades de agua, la misma que proviene generalmente de pozos y además por su calidad serviría para el consumo humano, cría de animales y riego (1).

En los últimos años, la industria textil ha mostrado tener diversos problemas ambientales, entre uno de los principales se encuentra el uso y gestión del agua. Por tanto, el impacto ambiental de sus efluentes líquidos es variado, debido a las diferentes materias primas, reactivos y métodos o procesos de producción que se utilizan en ellos (1).

En la mayoría de los procesos de la industria textil se consumen diariamente grandes cantidades de agua. No obstante, estos efluentes líquidos se caracterizan generalmente por su elevada cantidad de demanda química de oxígeno (DQO), temperaturas elevadas, alto contenido en color, pH inestable, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos clorados entre otros (1) (2) .

Generalmente, los efluentes líquidos sometidos a un tratamiento son descargados en el alcantarillado público. En consecuencia, las leyes del país buscan y exigen a las industrias de este sector y otros realizar un tratamiento de agua antes de verterlas. Con esta decisión se busca gestionar racionalmente los limitados recursos hídricos y la agresión ambiental que generan las aguas contaminadas. Por este motivo, se ha buscado el

desarrollo e investigación de tecnologías para el tratamiento de aguas usadas en industrias (1).

Actualmente, existen estudios acerca de la implementación de tecnologías de remediación eficaces que puedan lograr una depuración eficiente como para poder reutilizar las aguas tratadas y de esta manera reducir el consumo del recurso hídrico (2)

1.2 Justificación del problema

Existen dos problemas ambientales graves debido a la presencia de color en el agua como es la interrupción del grado de iluminación en el medio acuático y la liberación de moléculas tóxicas por la descomposición de los colorantes (1). De hecho, el primero tiene un efecto directo sobre los procesos fotosintéticos de plantas acuáticas y microorganismos, lo que afecta a la capacidad de autodepuración de las aguas. El segundo, tiene un impacto negativo sobre la salud de humanos y animales al tratarse de moléculas muta génicas (2).

Por este motivo, la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito que es una organización que vela por el cumplimiento de las leyes municipales en cuanto al ambiente se refiere, exige que el agua residual descargada en un cuerpo receptor debe presentar ciertos parámetros permisibles según la ordenanza 31 Anexo 1. Por lo tanto, las industrias textiles que descarguen los efluentes líquidos a un cuerpo receptor, deberán cumplir con esta norma (3).

La empresa textil beneficiada es Mallatex ubicada en el sur de la ciudad de Quito. Es una empresa que se dedica a fabricar tejidos de punto. Además quiere iniciar sus actividades en la tintorería de tejidos de punto. Sin embargo, se conoce por reglamentos y ordenanzas municipales que debe existir un imprescindible y correcto tratamiento de agua al realizar este tipo de actividades puesto que el agua debe tener los límites máximos

permitidos para las descargas líquidas de actividades industriales, comerciales y de servicios

La importancia de esta investigación establece en ayudar a erradicar el Impacto Ambiental que puede generar al contaminar el agua. Por lo tanto, es necesario y exige la ley, realizar un tratamiento de aguas residuales de una industria textil. Además, la empresa necesita un permiso correspondiente para poder realizar las actividades de tintorería de tejidos de punto. Por esa razón, es preciso aplicar un tratamiento de aguas residuales en la empresa para que pueda trabajar sin ningún problema en las actividades con el correspondiente permiso según las ordenanzas municipales.

1.2.1 Objetivo general

- Analizar y evaluar el funcionamiento de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales de una Industria Textil

1.2.2 Objetivos específicos

- Proporcionar una apropiada disposición de los residuos líquidos que se generan en los procesos productivos de la industria Mallatex
- Remover el color, carga de sólidos suspendidos, carga de DBO, DQO de las aguas residuales con el sistema de tratamiento.
- Determinar los valores óptimos del coagulante que debe ser añadido al sistema de tratamiento de agua.
- Estudiar el diseño del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales aplicado en la industria Mallatex.

2 Fundamentos teóricos

2.1 Contaminación ambiental

La contaminación ambiental se ha convertido en uno de los problemas más peligrosos que existe en el planeta, pues afecta a la Tierra, la naturaleza y principalmente al ser humano (2)

La contaminación se refiere a la introducción de agentes químicos, físicos y biológicos en un medio al que no pertenecen, por lo tanto el uso indebido de estos agentes genera consecuencias indeseables de la composición natural del medio, es decir, agua, aire, alimentos etc. (2)

2.2 Generalidades de Aguas residuales

“Agua residual se refiere a aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias.....” (2)

Según el origen las aguas residuales se clasifican como:

Aguas industriales domésticas, son los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e instituciones. *Aguas residuales municipales*, son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal. *Aguas residuales industriales*, son aquellas provenientes de las descargas de industrias de manufactura. Por otro lado, se denominan *aguas negras* aquellas provenientes de inodoros las mismas que transportan excrementos humanos y orina que contienen sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Se denominan *agua grises* a las aguas residuales provenientes de tinas, duchas, lavamanos, y

lavadoras, éstas poseen DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas, y coliformes fecales, es decir aguas residuales domésticas (3)

2.3 Parámetros físico – químicos indicadores de la contaminación en el agua

2.3.1 Parámetros físicos

2.3.1.1 Turbiedad

En una muestra de agua se refiere a la reducción de la transparencia ocasionada por el material particulado en suspensión. El material particulado puede ser arcilla, material orgánico dividido, plancton, que se suspende por ser coloide o por la turbulencia que genera el movimiento. Existen especies acuáticas que requieren para su supervivencia una transparencia total de agua, sin embargo otras no necesitan. El límite máximo permisible en el agua potable es de 10 NTU (unidades de turbidez nefelométricas) (1) (2) (4).

2.3.1.2 Sólidos Totales

Se define analíticamente el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene del residuo de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático. Los sólidos sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que resulta de la decantación del agua residual. Se expresan en mg/L (4).

2.3.1.3 Color

Esta característica del agua puede depender de la turbiedad o presentarse independientemente de ella. El color del agua se debe frecuentemente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etcétera. Se considera que el color natural del agua, excluyendo el que resulta de descargas industriales, puede originarse por las siguientes causas: la extracción acuosa de sustancias de origen vegetal, la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo, presencia de hierro,

manganeso y otros compuestos metálicos; y una combinación de los procesos descritos etc. Sin embargo, el color también depende de otros factores como son: pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados (4).

2.3.1.4 Olor

El olor se debe a las sustancias volátiles (COV's) o gaseosas como el H_2S , NH_3 , etc, y también se puede producir por la materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria y tratamiento de aguas residuales (4) (5).

2.3.1.5 Sabor

Generalmente está relacionado con el olor. Existen sustancias, como el cobre, zinc o hierro que pueden alterar el sabor, sin alterar el color del efluente (4).

2.3.1.6 pH

El pH es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia. Ésta propiedad es una de las más importantes del agua porque disuelve casi todos los iones. Además, el pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua. Por otro lado, el resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH). Si el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. En caso de que el pH este por encima de 7, más básica será la solución (4).

2.3.1.7 Temperatura

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C (5). Este parámetro es importante puesto que influye en la vida acuática y también

interviene en la velocidad de reacción y reacciones químicas que son desarrolladas. Por otro lado, la temperatura influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (4) (5).

2.3.1.8 Conductividad

El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias en ella disueltas las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica.

La corriente eléctrica es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución como son: cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio. En las descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl^- y SO_4^{2-} , u otros iones. La unidad para medir la conductividad es el *siemens por centímetro*. El agua destilada tiene una conductividad en el rango de 0,5 a 3 $\mu\text{Siemens/cm}$. La conductividad de sistemas continentales es baja, oscila entre 50 y 1.500 $\mu\text{S/cm}$. En sistemas dulces acuícolas, la conductividad está por fuera de este rango. Por lo tanto, el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Por otra parte, algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10.000 $\mu\text{S/cm}$. Este parámetro mide el contenido total de sales en el agua (3) (7).

2.3.2 Parámetros químicos

2.3.2.1 Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) se refiere al volumen de oxígeno que está contenido en agua y determina la presencia o no de muchos organismos en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. El OD proviene del aire que se ha disuelto en el agua del proceso de fotosíntesis que realizan las plantas en el agua. La cantidad de OD depende de la

temperatura del agua, salinidad y presión. La solubilidad del gas aumenta con la disminución de la temperatura (agua fría contiene más oxígeno). Solubilidad del gas aumenta con la disminución de la salinidad (agua dulce contiene más oxígeno que la de agua salada). Tanto la presión parcial y el grado de saturación de oxígeno va a cambiar con la altitud. Finalmente, la solubilidad del gas disminuye a medida que disminuye la presión. Así, “la cantidad de oxígeno absorbido en agua disminuye a medida que la altitud aumenta debido a la disminución de la presión relativa” (3).

2.3.2.2 *Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O)*

Es una medida del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua, es decir, en una muestra que es susceptible a oxidación por un fuerte oxidante químico como el dicromato potásico ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$). Por lo tanto, mide la cantidad de oxígeno equivalente al dicromato potásico usado en la oxidación de una muestra de agua residual. Es una reacción intensa en la que se oxida la mayoría de la materia orgánica, entre el 95 y el 100% (no oxida: piridina, benceno, amonio, ..), también oxida algunos compuestos inorgánicos como sulfuros, cianuros etc. Las unidades en que se expresa son mg/L de oxígeno. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 mg/L. Las aguas residuales domésticas están entre 260 y 600 mg/L. Hay un índice que indica que tipo de aguas se están analizando y se obtiene con la relación (DBO/DQO); si es menor de 0.2 el vertido será de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 se interpretará como un vertido orgánico (3).

2.3.2.3 *Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)*

Mide la cantidad de oxígeno consumida en la eliminación de la materia orgánica del agua a través de procesos biológicos aerobios. Se mide en mg/L de O_2 . “En aguas subterráneas suelen contener menos de 1 mg/L, un contenido superior es sinónimo de contaminación por infiltración freática. En las aguas superficiales es muy variable y depende de las

fuentes contaminantes aguas arriba. En aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 mg/L. En aguas industriales alcanza varios miles de mg/L”. Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la D. B. O. (5)”.

2.3.2.4 Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH (capacidad para neutralizar ácidos). La alcalinidad del agua también indica la capacidad ácido neutralizante de una solución e indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido (4).

Las sustancias que le imparten alcalinidad al agua son fundamentalmente, los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (6). Otros materiales también le imparten alcalinidad al agua, como son los silicatos, boratos y fosfatos, pero su contenido en las aguas naturales es generalmente insignificante y su efecto puede ignorarse (6).

La propiedad amortiguadora que permite que las aguas reciban sustancias ácidas sin sufrir cambios fuertes en su pH, debido a la presencia de los CO_3^- , HCO_3^- , e OH^- se explica en las siguientes reacciones: (6)



Es decir, los CO_3^- , HCO_3^- y OH^- , reaccionan o absorben los iones H^+ para constituir otras moléculas que no le dan acidez al agua, puesto que el hidrógeno no se encuentra en su forma iónica (7). El pH de una muestra de agua no es una buena guía para conocer la alcalinidad del agua, debido a que las bases débiles anteriormente mencionadas son mucho más abundantes que los iones OH^- (7). Así, la alcalinidad total es igual a la suma de las

concentraciones de HCO_3^- , CO_3^{2-} y OH^- (7). Usualmente esta alcalinidad se expresa como el peso equivalente de CaCO_3 que reaccionaría con la misma cantidad de iones H^+ necesarios para titular un litro de la muestra de agua (7). El carbono inorgánico total presente en una muestra de agua es igual a la suma de las concentraciones de H_2CO_3 , HCO_3^- y CO_3^{2-} (2). La alcalinidad de una solución se mide mediante una titulación con ácido estandarizado (7).

Los Rangos de alcalinidad son los siguientes: menor a 75 mg/L de CaCO_3 el rango es bajo. Concentraciones de 75-150 mg/L de CaCO_3 pertenece a un rango medio, y mayor a 150 mg/L de CaCO_3 , su rango es alto (7).

2.3.2.5 Dureza

La dureza determina la existencia de metales alcalinotérreos en el agua como son el calcio y el magnesio. La mayoría de los suministros de agua potable tienen un promedio de 250 mg/L de dureza. Niveles superiores a 500 mg/L son indeseables para uso doméstico. Los niveles de dureza en el agua son 0 a 75 mg/L se considera agua suave, 75 a 150 mg/L agua poco dura, 150-300 mg/L agua dura, mayor 300 mg/L agua muy dura. El agua dura deja depósitos sólidos en las tuberías cuando se evapora. El calor convierte los bicarbonatos solubles en carbonatos por pérdida de CO_2 y se forma un precipitado de CaCO_3 que puede llegar a obstruir las tuberías de una caldera (3) (11).

2.3.2.6 Cloruros

“El ion cloruro es uno de los iones inorgánicos que existe en gran cantidad en aguas tratadas, aguas residuales y aguas naturales, siendo esta necesaria en agua potable. El sabor salado que se produce en aguas potables por concentraciones de cloruros es viable, pero es importante siempre saber la cantidad de cloruro de sodio que poseen los productos que son consumidos diariamente, agua y alimentos” (2).

El contenido de cloruros en aguas naturales normalmente no sobrepasan los 50 a 60 mg/L, las regulaciones que existen en algunos países establecen acerca de reglamentaciones sanitarias que el valor de calidad debe ser de 250 mg/L de Cl^- y como un máximo valor 350 mg/L, lo que indicaría que con estos valores el agua no presenta problemas de consumo para el ser humano (3). Al contener el agua 25 mg/L de Cl^- , se puede detectar el sabor salado si el catión es Na^+ , pero si el agua contiene 1000mg/L de Cl^- el catión Na^+ puede no estar presente puesto que los cationes que predominan son el Ca^{+2} y el Mg^{+2} . Al existir un contenido alto de Cl^- esto puede dañar a estructuras metálicas y evitar el crecimiento de plantas (5).

2.3.2.7 Sulfatos

El ión sulfato, es una sal moderadamente soluble. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, sin embargo, el agua de mar tiene aproximadamente 3.000 ppm.

Las sales de sulfatos proceden de rocas sedimentarias, como son: yeso y anhidrita, y en menor proporción de la oxidación de los sulfuros de la pirita. Por otro lado, dependiendo del contenido de calcio, el agua podría ser más ácida.

Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas en el agua ácida, sus propiedades son corrosivas. Es decir, que afecta a la resistencia del hormigón. En algunos casos, se ha determinado que el límite permisible no exceda 250 mg/L, pero indica, además, que este valor evita la probable corrosividad del agua. (3) (12).

2.3.2.8 Nitratos

La contaminación por nitratos afecta a la calidad de las aguas superficiales como a las subterráneas. Esta contaminación de las aguas por nitratos es causado generalmente por el uso masivo de fertilizantes nitrogenados y por la ineficaz gestión de purines en explotaciones ganaderas. La máxima preocupación de la contaminación del agua por

nitratos es el efecto sobre la salud humana, puesto que pueden ser ingeridos disueltos en agua o en los alimentos. Los límites que se han acordado por varias organizaciones son de 50 mg/L de nitratos para el consumo humano. (3)

2.3.2.9 Metales Pesados

En el agua se puede encontrar un número importante de metales pesados aunque su cuantificación sea a niveles de traza. Un catión que tenga un peso atómico superior a 23 g/mol es considerado un metal pesado. Los metales pesados que se pueden destacar son níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, entre otros. Estos metales son considerados como sustancias contaminantes, por ende, se debe tomar en cuenta para fijar valores límites de emisiones; sin embargo, aunque algunos de estos metales son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de ellos limita el crecimiento de las algas. Otra serie de metales como el hierro, calcio, magnesio o manganeso también están presentes en las aguas residuales de las industrias metalúrgicas, cemento, cerámicas. Sus efectos, menos peligrosos que los anteriores, principalmente son el cambio en las características del agua: color, dureza, salinidad e incrustaciones. Los valores límites de los siguientes metales son (8)(5):

Tabla 2.1 Valores límites de metales pesados en el agua

Metal	Concentración [mg/L]
Cromo Total	5
Cromo Hexavalente	3
Bario	20
Cobre	3
Manganeso	2
Níquel	10
Zinc	10
Cadmio	0,5
Hierro	10
Mercurio	0,1
Plomo	1

2.4 Principales contaminantes de los efluentes de una fábrica textil

En la industria textil se utiliza una gran cantidad de compuestos químicos durante las diferentes etapas, como pueden ser: agentes blanqueadores, ácidos en el teñido, álcalis en las operaciones de blanqueo, mercerizado y teñido etc. (7).

Los contaminantes de los efluentes textiles se pueden clasificar según:

2.4.1 *Materias en suspensión*

Son los residuos minerales, fibras, sustancias insolubles, entre otros. Las cantidades de estos contaminantes son relativamente menores en los efluentes textiles, excepto en los lavaderos de lana. El efecto contaminante que producen estas materias contaminantes es que afecta a la vida acuática puesto que éstas se depositan sobre los cursos de agua, y si la materia es orgánica se descompone agotando oxígeno produciendo gases tóxicos y mal olor (2).

2.4.2 *Materias flotantes*

Son aceites, grasas, y espumas. El efecto contaminante es que produce una disminución de flora acuática ya que no permite la penetración de la luz. Los aceites generalmente son tóxicos y no permiten la aireación de cuerpos acuáticos. En particular, en el lavado de lana y en procesos de estampado producen grandes cantidades de grasas y aceites. Dentro de esta categoría se encuentran los tensioactivos los cuales producen una espuma al verter agua (3) (2) .

2.4.3 *Impurezas disueltas*

Éstos contaminantes son de mayor importancia en las aguas residuales como los ácidos, reductores, oxidantes, colorantes, entre otros. Es decir, una gran cantidad de productos auxiliares que son solubles al agua. Algunos de estas impurezas pueden ser tóxicos, tales

como los derivados fenólicos, transportadores de tintura, grasa, aceites, metales pesados, etc (3).

2.5 Procesos que originan los efluentes de una fábrica textil

- a) *Teñido de hilado*: En esta etapa, los carretes o bobinas de hilado pasan por un tratamiento con soluciones de sosa cáustica y detergentes en máquinas a presión. En este proceso se eliminan las impurezas naturales del algodón como son ceras, pectinas, etc. Posteriormente del enjuague en la máquina, las bobinas se tiñen, para lo cual se utiliza diferentes colorantes y auxiliares dependiendo del color y la fibra a procesar. Una vez tinturado el hilo pasa al proceso de tejido. En este proceso se originan descargas líquidas alcalinas con una mediana carga orgánica (DQO, DBO), color y detergentes (5) (14).
- b) *Engomado o encolado*: El hilo crudo pasa por una solución de goma de fécula hervida (almidón) u otros agentes encolantes [carboximetilcelulosa (CMC), alcohol polivinílico (PVA) y acrilatos]. La descarga de efluentes de este proceso son las aguas de lavado de los recipientes donde se preparan las soluciones de almidón u otros agentes de engomado y por las descargas de las engomadoras. Por lo general, estas descargas se caracterizan porque tienen una gran cantidad de carga orgánica y sólidos en suspensión (8).
- c) *Chamuscado o quemado*: El tejido pasa por un proceso de flameado el cual permite la eliminación de cascarillas y pelusas. Este proceso involucra un lavado final de tela con agua fría, la misma que puede descargarse directamente a la red dado su bajo nivel de contaminación (1).

- d) *Desencolado o desengomado*: Se elimina el agente encolante utilizado para los tejidos planos. El desengomado puede ser de dos tipos ácido o enzimático. Se utiliza enzimas ácidas, detergentes alcalinos y jabones disueltos en agua, para posteriormente enjuagar la tela. Por otra parte, se utiliza ácido diluido para hidrolizar la fécula y solubilizarla. Además se utilizan enzimas vegetales o animales para descomponer la goma en una forma soluble en agua. Los agentes de desengomado se aplican directamente sobre la tela. Cuando se usa ácido, los tejidos de punto se bañan de 4 a 12 horas a temperatura del ambiente. En cambio, con enzimas el baño es de 4 a 8 horas de 55 a 82°C. Inmediatamente de solubilizar la goma, la tela se lava con agua. En este proceso, el aporte contaminante representa aproximadamente 50% de la carga total expresada como DBO (4).
- e) *Mercerizado*: Permite incrementar la resistencia a la tensión, y la afinidad de los colorantes sobre la fibra de algodón y fibras sintéticas celulósicas. Por lo tanto, se impregna la tela bajo tensión con una solución fría de hidróxido de sodio (15 a 30% en volumen). Se retira el álcali con algún ácido débil y se lava con agua y vapor, de esta manera genera la consecuente descarga (3) (15).
- f) *Descrude*: Se eliminan las impurezas naturales incrustadas a las fibras y a la tela para prepararlas para el blanqueo o tintura. Se utiliza soluciones alcalinas y detergentes en caliente, por lo tanto, se generan descargas similares a las antes mencionadas (6) (15).
- g) *Blanqueo*: Se remueve la materia coloreada principalmente sobre algodón y fibras sintéticas. Esta etapa puede realizarse después o al mismo tiempo con el descrude y antes del teñido o estampado. La tela se somete a una solución diluida de los agentes blanqueadores es decir, agua oxigenada o hipoclorito de sodio y

tensoactivos. Posteriormente, la tela se lava en agua y con sustancias reductoras que remueven el exceso del agente oxidante (4).

- h) *Teñido o Tinturación*: Se utiliza una gran variedad de colorantes y agentes auxiliares de teñido. La calidad o tipo de tintura depende del colorante empleado, la fórmula específica, los tintes y auxiliares de tintes que abastecen el medio químico para su difusión y fijación sobre la fibra. Esta etapa puede realizarse en procesos discontinuos o continuos (5) (9).

En los procesos discontinuos el tejido textil está en contacto con el baño de teñido en un tiempo apreciable, de esta manera el colorante se fije en la fibra.

El proceso se puede realizar de algunas maneras:

- 1) Con el material en movimiento y el baño en reposo. En este caso las máquinas más comunes son:

- La barca de torniquete: se utiliza para el teñido de tejidos de punto o jersey, felpas, alfombras y tejidos planos. La relación de baño, volumen de baño por kilo de material que se procesa, oscila entre 1:30 a 1:15. Las relaciones de baño altas aumentan el costo del teñido puesto que se necesita un mayor consumo de energía, colorante y productos auxiliares (10) (16) .
- El jigger: Se utiliza particularmente en tejidos planos, como popelinas, driles, cretonas y felpas. La relación del baño promedio es de 1:15, con la respectivo reserva de productos auxiliares, agua y energía (10) (16).

- 2) Con el material en reposo y el baño en movimiento: Se trabaja para el teñido de hilado en forma de madeja, conos, bobinas, tejidos de punto sintético y tejido

plano. En este caso es necesario el uso de autoclaves verticales u horizontales (10) (17).

3) Con el material y el baño en movimiento: Ésta es la manera que genera un aumento de la producción de teñido puesto que mejora la uniformidad y el aspecto final de las telas. Las máquinas jet y overflow funcionan a altas temperaturas donde el movimiento depende de la inyección del baño por medio de una bomba y lo hace pasar por una tobera Venturi. Esto hace que pueda trabajar a velocidades de circulación muy elevadas. La relación del baño promedio es de 1:10 y puede utilizarse en tejidos planos como de punto (10) (17).

Los procesos continuos son utilizados al tinturar tejidos planos y tejidos tubulares de punto. La tela pasa por un foulard que contiene una solución concentrada de colorantes y auxiliares. Posteriormente, se fija el colorante por reposo en una cámara, por medio de vapor, por calor seco a alta temperatura. La fijación varía de acuerdo al tipo de colorante utilizado (10) (16).

- *Tinturación en Jet*: En esta máquina el textil se mueve dentro de una corriente de baño tintóreo. Fue éste el método para solventar los problemas de la tintura de poliéster a alta temperatura. La tracción del textil se efectúa por una devanadora que lo conduce a través de un tubo por el que circula el baño en el mismo sentido (11) (3).
- i) *Estampado*: En esta etapa se usan soluciones o dispersiones espesadas lo que evita que la partícula de colorante migre, de esta manera, se retiene el color en la superficie del estampado. Dependiendo del diseño se utiliza pastas de almidón, dextrina o goma (6).

2.6 Colorantes

Los colorantes son los principales contaminantes de agua residual textil puesto que generalmente entre el 10 y 90% del colorante no se fija a la fibra, por lo tanto éste es descargado en el agua residual. Dependiendo de los auxiliares que son utilizados como las sales de sodio, cloruros, carbonatos y sulfatos se pueden distinguir ciertos colorantes principales como (19):

Los *colorantes al sulfuro* se caracterizan por tener compuestos sulfurados en su estructura y son aplicados en forma de sulfuro de sodio. Posteriormente, se produce una oxidación y genera el color deseado. Los efluentes poseen una gran cantidad de color y son tóxicos. Actualmente, existen los colorantes "sulfuros ecológicos" que utilizan otro tipo de reductores y necesitan una menor cantidad de sulfuro de sodio para su disolución (11).

Colorantes en base naftol: Son insolubles y se utilizan con naftol y después se trata con una base diazotada o su correspondiente sal soluble para que se produzca el desarrollo del color. Los contaminantes principales se originan en las tinturas diazotadas, el beta-naftol y los enjugues (11) (12) (10).

Con los *colorantes tina* se debe utilizar agentes reductores fuertes como el hidrosulfito en medio alcalino y se somete a oxidación con perboratos o con H_2O_2 puesto que son insolubles al agua. Con estos colorantes es necesario un enjuague en caliente. Particularmente, estos colorantes tienen una descarga con altos valores de DQO (11).

Los colorantes directos sustantivos: son sustancias neutras que se caracterizan por tener afinidad con el algodón y la celulosa. Se utiliza sales como cloruros y sulfatos para obtener agotamiento óptico puesto que estos colorantes tienen un grado de mayor solubilidad (17).

La descarga del efluente generada por este colorante no es muy contaminante, sin embargo posee un grado alto de coloración (3).

Colorantes reactivos: son aquellos que se impregnan a la fibra por medio de químicos. Se debe disolver el colorante y se añade sal para que exista desplazamiento del colorante hacia la fibra en el menor tiempo posible. Luego, se coloca en medio alcalino que puede ser carbonato, hidróxido o silicato de sodio entre 50 y 80°C. Las descargas contienen lavados jabonosos a ebullición y un aclarado final con agua (6) (20) (3).

2.7 Procesos unitarios de tratamiento de aguas

2.7.1 Reacciones de Precipitación: Coagulación y floculación

Tanto el agua residual como el agua potable contienen material suspendido, es decir, sólidos que pueden sedimentar en reposo, pero también existen sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides en su gran mayoría (12)

Cada partícula de los coloides está estabilizada por muchas cargas de igual signo sobre su superficie, por lo tanto se repelen dos partículas vecinas como lo hacen dos polos magnéticos. Por esta razón, no permite el choque de las partículas y la formación de masas mayores, conocidas como flóculos, es decir las partículas no sedimentan (6).

La coagulación y floculación desestabilizan los coloides y hacen que se sedimenten mediante la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado (6).

“La *Coagulación* es la desestabilización de un coloide producida por la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a todas las partículas coloidales, con la formación de núcleos microscópicos. La *Floculación* es la aglomeración de partículas desestabilizadas primero en microflóculos, y más tarde en aglomerados voluminosos llamados flóculos.”

En la Figura 2.1 se muestra como los coagulantes cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide lo que permite la aglomeración y la formación de flóculos. Estos flóculos en un principio son pequeños, posteriormente se juntan y forman aglomerados mayores que se pueden sedimentar. Los floculantes ayudan a la formación de aglomerados de mayor tamaño. Cuando se acercan dos partículas semejantes, sus capas difusas interactúan y generan una fuerza de repulsión, cuyo potencial de repulsión está en función de la distancia que los separa y cae rápidamente con el incremento de iones de carga opuesta al de las partículas. Esto se consigue sólo con los iones del coagulante (12).

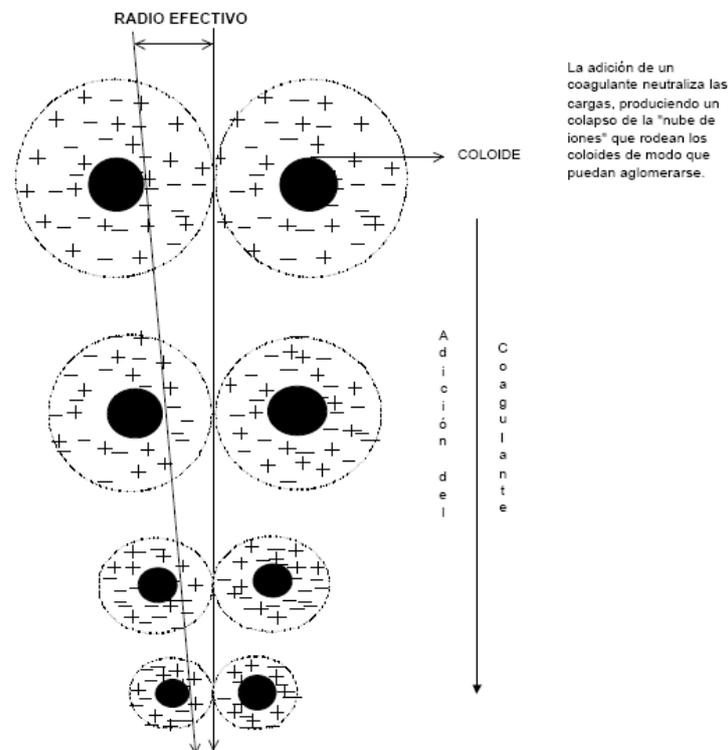


Figura 2.1: Desestabilización del coloide y compresión de la capa difusa

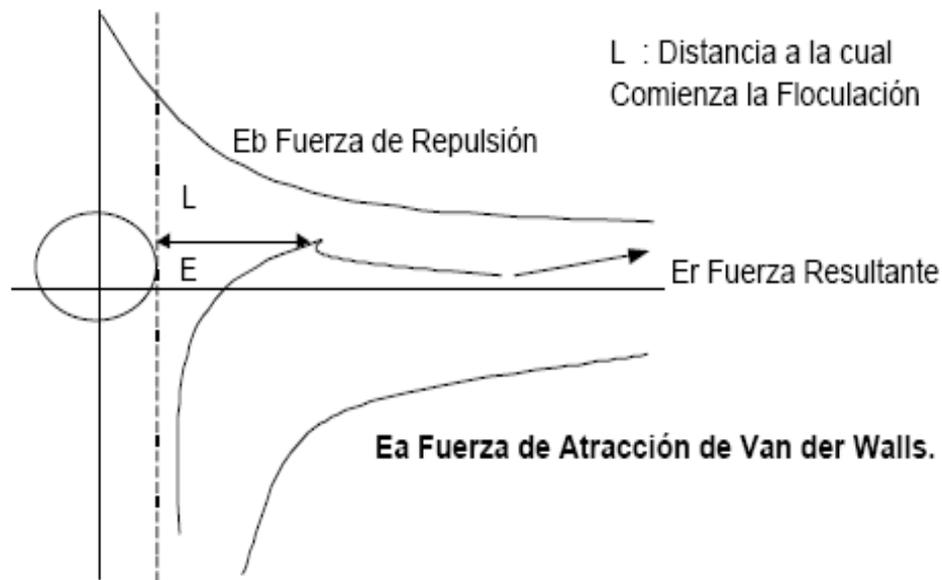


Figura 2.2: Fuerzas de atracción y repulsión

Por otra parte, lo más efectivo es un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas. Son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. Es decir, en aguas de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos para aumentar dichas colisiones (17)(6).

En la floculación se estimula con un mezclado lento que reúne poco a poco los flóculos puesto que un mezclado demasiado intenso los rompe y rara vez se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. Una buena floculación ayuda al manejo del lodo final para su desecación, filtrado, etc (1) (4).

2.7.1.1 Coagulantes metálicos

Los coagulantes metálicos más comunes son las sales de Hierro y Aluminio porque ayudan en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Forman especies hidratadas complejas cargadas positivamente: $Fe(H_2O)_6^{3+}$, $Al(H_2O)_6^{3+}$ (12).

Pero son muy sensibles a un cambio de pH, puesto que si éste no está dentro del intervalo la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe o Al y ocasionar inconvenientes. A continuación vemos los más utilizados:

Sulfato de Alúmina: también llamado Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Genera un flóculo pequeño y esponjoso por lo tanto no es usado en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Generalmente es utilizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo (6) (22).

Sulfato Férrico: Es efectivo en un intervalo de pH de 4 a 11. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que funciona en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Es usado en tratamiento de aguas potables aunque puede producir problemas de coloración (6) (17).

Cloruro Férrico: Es similar al anterior pero de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas

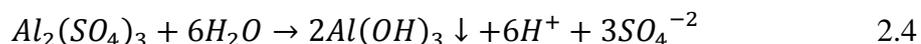
Aluminato sádico: Su empleo es casi limitado. Su uso más habitual es eliminar color a pH bajo. Además se puede usar en el ablandamiento de agua con cal (6) (20).

El proceso de coagulación puede ser explicado mediante ecuaciones explicadas más adelante. Los cationes con carga positiva que se necesitan para coagular los coloides con carga negativa pueden ser aportados por sales metálicas, de las cuales las sales de aluminio y hierro son las más comunes (6) (2).

Se establece que el proceso de coagulación con alumbre para filtros $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$ (el coagulante normal para el tratamiento de agua), se verifica en las tres etapas siguientes:

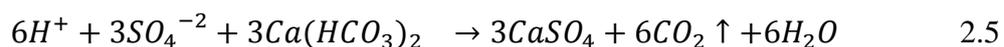
1. El alumbre se ioniza en el agua y produce iones Al^{+3} y SO_4^{-2} . Algunos de los iones $\text{Al}(\text{OH})_3$ neutralizan la carga negativa de los coloides, pero

2. La mayor parte de los iones Al^{+3} se combinan con los iones OH^- (del agua) para formar $Al(OH)_3$ coloidal, el cual adsorbe iones positivos de la solución:

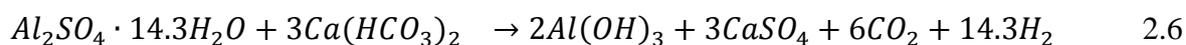


3. Por ende, el $Al(OH)_3$ en solución con carga positiva ayuda a neutralizar los coloides negativos, y el exceso es neutralizado por el SO_4^{-2} para producir un precipitado de $Al(OH)_3$ y sulfatos adsorbidos (6).

El exceso de iones H^+ que se forma en la etapa 2 tiene a deprimir el pH, lo cual detendría la formación de $Al(OH)_3$ puesto que depende del pH. El exceso de iones H^+ es neutralizado por la alcalinidad (HCO_3^-) presente en el agua de acuerdo a la ecuación:



La reacción global que combina las ecuaciones es:



La cual nos indica que 600 partes de alumbre para filtros han consumido 300 partes de alcalinidad (expresada como $CaCO_3$) (10).

El efecto químico global es una disminución del pH del agua, una conversión de parte de dureza de calcio [$Ca(HCO_3)_2$] en dureza de sulfato ($CaSO_4$), y la producción de CO_2 . Si la alcalinidad de agua es insuficiente para que esta reacción se lleve a cabo, se debe aumentar el pH adicionando cal [$Ca(OH)_2$], carbonato de sodio (Na_2CO_3) o sosa ($NaOH$). El pH óptimo para la coagulación con alumbre es aproximadamente 6. La coagulación no requiere mucho control de pH, porque la introducción del alumbre reduce el pH de las aguas superficiales, que casi siempre son neutras, a un valor aceptable (7).

3 Tinturación de Tela Polyester

En la siguiente figura se representa el diagrama de flujo para el teñido de poliéster

3.1 Proceso de Tinturación de Tela Poliéster

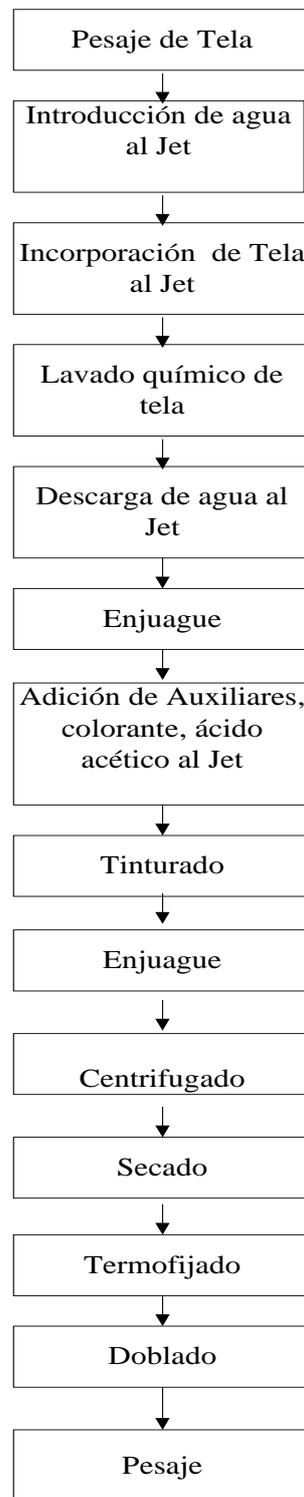


Figura 3.1: Diagrama de flujo del proceso de tinturación de tela Polyester

Para el proceso de tinturación de tela polyester se debe realizar el siguiente procedimiento

- *Pesaje:* Una vez receptada la tela en crudo se procede a pesarla en una balanza para realizar los cálculos correspondientes de la cantidad de colorantes y auxiliares necesarios para el proceso de tinturación (24).
- *Introducción de agua al Jet:* Previamente encendido el caldero, se ingresa agua al Jet para introducir la tela cruda. La capacidad del Jet es de 2000 litros. Este proceso tiene una duración de 10 minutos aproximadamente (24).
- *Incorporación de tela al Jet:* Con el Jet cargado de agua, se introduce la tela cruda anteriormente preparada, es decir desenrollada. Se anuda los extremos de la tela para la circulación de la misma dentro del Jet. La carga promedio de tela es de 100 kilos (24).
- *Lavado Químico:* Posteriormente, se acciona los dispositivos de introducción de vapor. Con temperatura promedio de 50 °C, se añade 500 g de detergente industrial y 2 litros de agua oxigenada. 60°C. Se deja en circulación aproximadamente 20 minutos (18) (24).
- *Descarga de agua:* Se abre la llave para la salida de agua del Jet, es decir se descarga 2000 L de agua aproximadamente en 10 minutos (24).
- *Enjuague:* Luego, se carga nuevamente de 2000 litros agua el Jet para poder eliminar el exceso de jabón como resultados del lavado químico. Este procedimiento se realiza a 40°C en un lapso de 10 min y consecuentemente se descarga el agua (24).
- *Adición de colorantes:* Nuevamente se carga el Jet con 2000 litros de agua para poder añadir los colorantes previamente disueltos, ácidos acético y auxiliares. Esto se realiza a una temperatura de 40°C (24).

- *Tinturado:* Se deja en circulación el agua para que se impregne el colorante en la tela aproximadamente 20 minutos hasta que llegue a 130°C (24).
- *Enjuague:* A una temperatura de 80°C se abre la llave para que se descargue el agua del Jet y de esta manera introducir nuevamente 2000 litros de agua para poder enjuagar la tela y eliminar los restos o residuos de colorantes que se quedan impregnados en la tela. Esto se realiza a una temperatura de 20°C por 20 minutos. Concluido el tiempo se descarga el agua (24).
- *Centrifugado:* La tela tinturada es llevada y colocada en la centrifugadora para poder eliminar el agua sobrante de la tela. Este proceso dura aproximadamente 10 min (24).
- *Secado:* La tela es llevada e introducida dentro de una secadora para poder eliminar la humedad de la misma. Esto se realiza aproximadamente en 10 min (24).
- *Termofijado:* Este proceso se realiza con la ayuda de una termofijadora que es un equipo que controla simultáneamente el tejido en el sentido de urdimbre y trama, el paralelismo y la perpendicularidad entre ellos; con el fin de mantener correctamente el diseño: secar, estirar, vaporizar y fijar tejidos (14). Por ende, con corrientes de aire caliente se termofija la tela a una velocidad de 22 m/min. (22) (24).
- *Doblado y Pesaje:* Una vez completamente seca la tela, es plegada y enrollada para poder pesarla y de esta manera comparar el peso inicial. Finalmente, la tela enrollada se enfunda y está lista para la distribución (24).

3.2 Cuantificación de colorantes

Los colorantes utilizados en este proceso dependen del color que se quiere obtener. Los colorantes que se usan son KEMICRON y pertenecen al grupo químico Monoazo. Por otra parte, la cantidad de colorante que se añade en la tinturación tiene relación con la

cantidad de tela que se tintura. REQUITEX es una empresa que provee los productos químicos para la tinturación. Esta empresa provee los porcentajes de cada colorante que se debe agregar para obtener el color deseado.

Ejemplo:

Para obtener el color azul marino se debe seguir la siguiente fórmula.

2.5 % Azul Kemirón ex 300

0.06% Negro Kemirón ex 300

Es decir que para 100 kilogramos de tela que se usa en el Jet, se requiere de:

$$2.5\%(100kg \text{ tela}) = 2.5kg \text{ Azul Kemirón Ex 300}$$

$$0.06\%(100kg \text{ tela}) = 6 \text{ kg Negro Kemirón Ex 300}$$

Existen colorantes sintéticos que son del grupo cromóforo los mismos que poseen uno o más enlaces insaturados el mismo que es responsable de producir color.

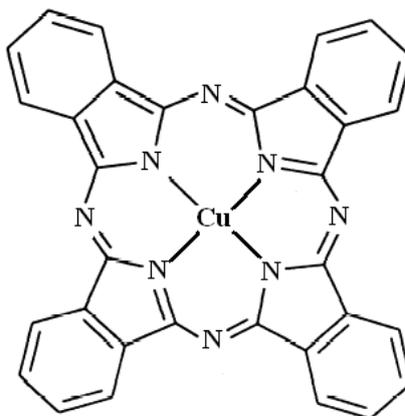


Figura 3.2: Estructura Química de un Colorante Ftalocianina de Cobre

3.3 Auxiliares

- *Ácido H:* Sirve para igualar el pH del agua cuando se realiza los lavados. Se añade 500 mL. Se utiliza la dilución de ácido fórmico (26).
- *Dispersante:* Actúa sobre el colorante y se encarga de tener una solución más estable sobre todo para el caso de colorantes del alto peso molecular. Por lo tanto, el dispersante logra mantener una dispersión estable del colorante durante el agotamiento del teñido del poliéster y sus mezclas (15). En el proceso de tinturación se añade 1 kilogramo de dispersante. Se utiliza el Dispersante 5D líquido sal de sodio de naftaleno sulfonado (26). La estructura química de un dispersante puede ser la siguiente:

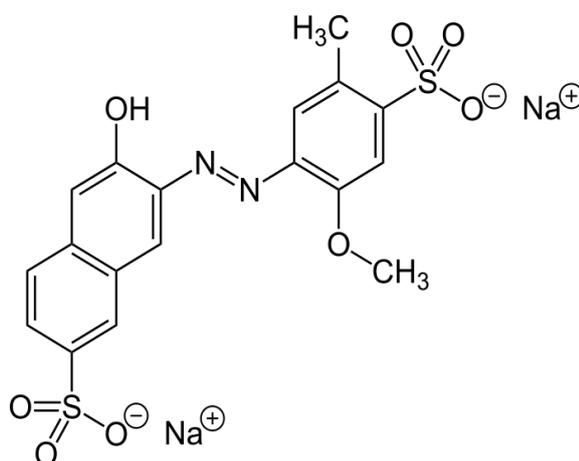


Figura 3.3: Estructura Química de la Sal de sodio de Naftaleno Sulfonado

- *Igualante:* El igualante actúa sobre la fibra y hace que disminuya las afinidades del colorante hacia la fibra (16). Se adiciona 1 kilogramo de igualante. Se utiliza el igualante DM líquido mezcla de condensados de compuestos no iónicos y derivados de alcoholes etoxilados (26). La estructura química de un igualante puede ser la siguiente:

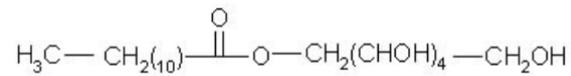


Figura 3.4: Estructura Química de un Tensioactivo No Iónico

- **Detergentes:** El detergente desplaza y desprende el contaminante (suciedad) bajo la forma de suspensión sin depositar sobre la superficie sólida. Se añade 500 g de detergente (15) (19). Mallatex utiliza el Degreast A líquido producto derivado del alquilpoliglicol éter (26). En la siguiente figura se muestra la estructura química de un detergente.

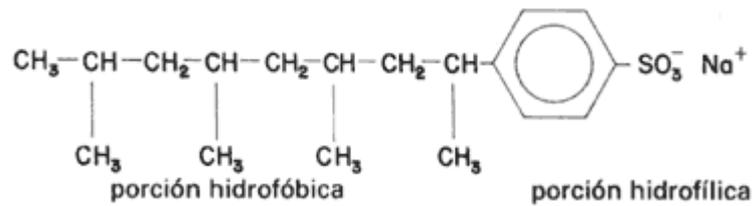


Figura 3.5: Estructura Química de un Detergente

4 Planta de Tratamiento de agua

4.1 Descripción de Planta de la Tratamiento de agua residuales

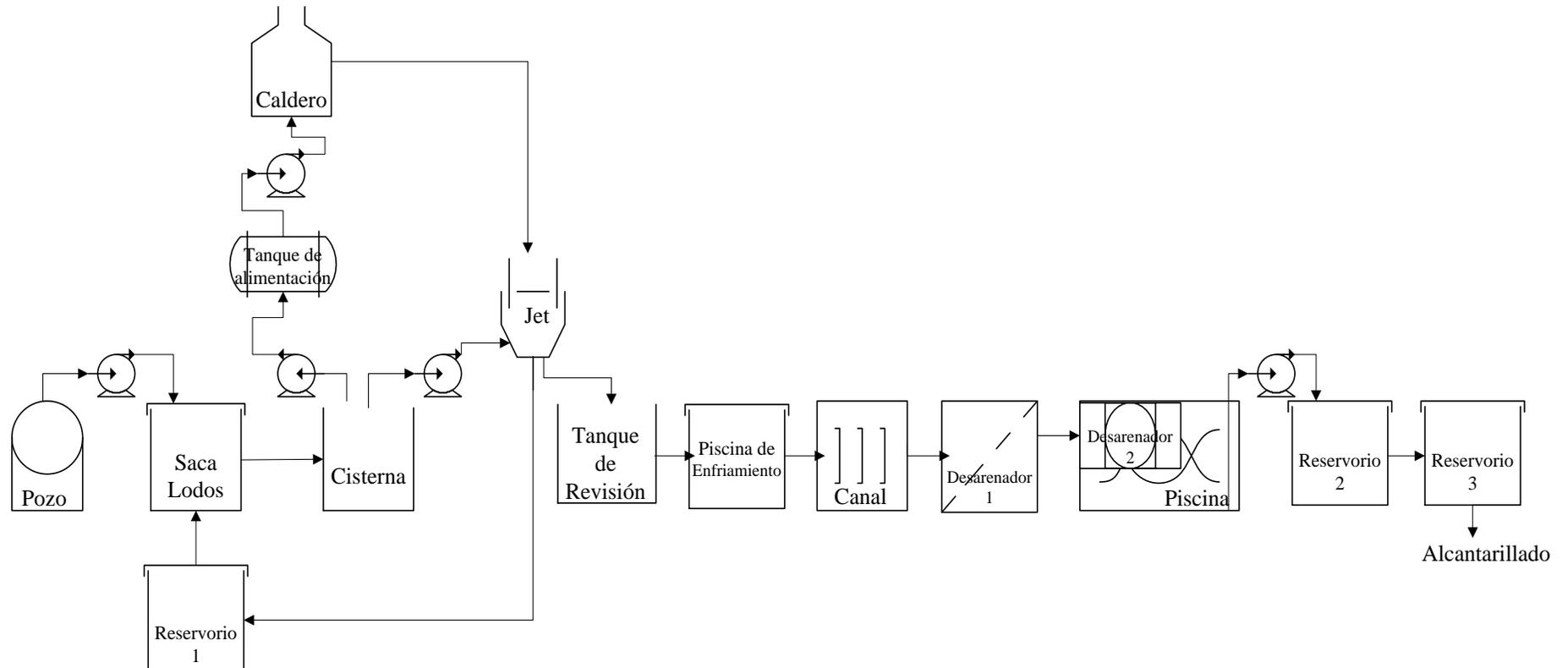
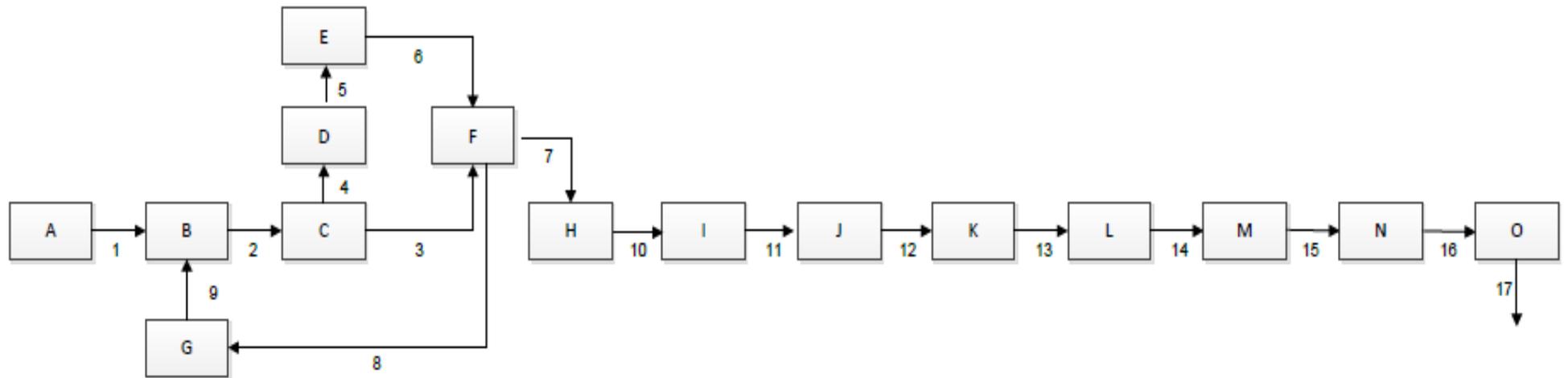


Figura 4.1: Diagrama de flujo de Planta de Tratamiento de agua residuales "Mallatex"



LETRA	EQUIPO
A	Pozo de agua
B	Saca Lodos
C	Cisterna
D	Tanque de Alimentación
E	Caldero
F	Jet
G	Reservorio 1
H	Tanque de Revisión
I	Piscina de Enfriamiento
J	Canal
K	Desarenador 1
L	Desarenador 2
M	Piscina
N	Reservorio 2
O	Reservorio 3

FLUJO	AGUA L/s	TEMPERATURA °C
1	0,1	2
2	0,3	2
3	1	2
4	1	2
5	1	2
6	1	130
7	1	80
8	1	80
9	1	10
10	0,9	60
11	0,8	50
12	0,8	20
13	0,8	18
14	0,80	15
15	0,7	10
16	0,67	5
17	0,4	5

USFQ			
DIAGRAMA DE BLOQUES. Tratamiento de agua "Mallatex"	ESCALA:	DISEÑADO POR: Roxana Llave	
		DISEÑADO POR: Roxana Llave	
		REVISADO POR: MSc. Ing. Marcelo Albuja	
INGENIERIA QUÍMICA		CÓDIGO:	2012-08-12

Figura 4.2: Diagrama de bloques tratamiento de agua "Mallatex"

4.2 Ingreso de Agua

4.2.1 Pozo de Agua

El pozo es la fuente de agua para el proceso de tinturación siendo éste transportado a la cisterna. Este pozo fue perforado con estudios de suelo en el sector, encontrándose en una zona con abundante nivel freático.

El pozo se abastece de agua subterránea y llena el mismo aproximadamente en 6 horas. En el pozo se encuentra un tubo de PVC de 6 pulgadas y tiene una profundidad de 26 m. En la parte inferior de este tubo, con una dimensión de 1,50 m se encuentran distribuidos orificios tipo flauta con el fin de succionar el agua subterránea. El tubo termina en punta lo que reemplaza a una válvula de pie. Esto evita el desfogue del agua dentro del mismo y purgar la bomba de succión.

En 6 horas el tubo del pozo se llena con el siguiente volumen de 0.474 m^3

Cabe recalcar que el pozo nunca permanece vacío puesto que siempre se encuentra en constante alimentación de agua.

Con una bomba succión de 1 HP el agua es enviada con una tubería al siguiente reservorio. El inlet y outlet de la bomba utiliza una tubería de PVC de 1 pulgada de diámetro.

4.2.2 Saca Lodos

Con la ayuda de la bomba de 1HP, el agua es enviada a este tipo de cajón de revisión. El mismo es hecho de hormigón y tiene dos orificios de 4 pulgadas a los lados, dos son de entrada y uno de salida para la siguiente cisterna. Esta caja de revisión se encuentra cubierta con una tapa de hormigón, la misma que se abre cuando es necesario. Las dimensiones de este cajón de revisión son de:

Largo: 0.45m Ancho: 0.45m Profundidad: 0.70 m

Volumen: 0.124m^3



Figura 4.3: Saca Lodos

4.2.3 Cisterna

Posteriormente, el agua pasa a una cisterna hecha de hormigón con un orificio de entrada de 4 pulgadas. Ésta se encuentra parcialmente cubierta de hormigón, el resto de la cisterna se encuentra expuesta para poder succionar agua para los siguientes reservorios.

Las dimensiones de esta cisterna son:

Largo: 6.00 m

Ancho: 2.00 m

Profundidad: 1.65 m

Volumen: 19.80 m^3

En esta cisterna se encuentran distribuidas dos tuberías de acero galvanizado. La tubería de 1 pulgada envía agua al tanque de alimentación del caldero con la ayuda de una bomba de 2 HP. Mientras que la otra tubería de 2 pulgadas envía agua al Jet mediante una bomba de 7 HP.

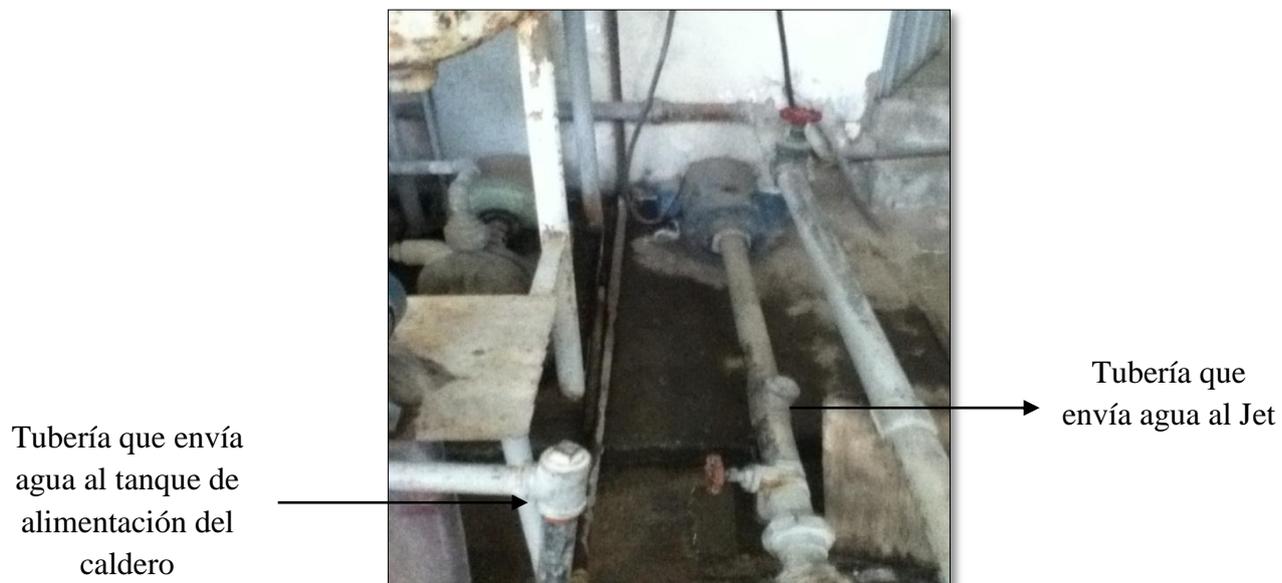


Figura 4.4: Tuberías a la salida de la cisterna



Figura 4.5: Bomba de succión 2HP

En el tanque de alimentación se prepara el agua para el caldero, se añade en éste 2L de químico para tratar el agua, existe una tubería de acero galvanizado de 1 pulgada, la misma que envía agua al caldero con la ayuda de una bomba de inyección de 5HP.

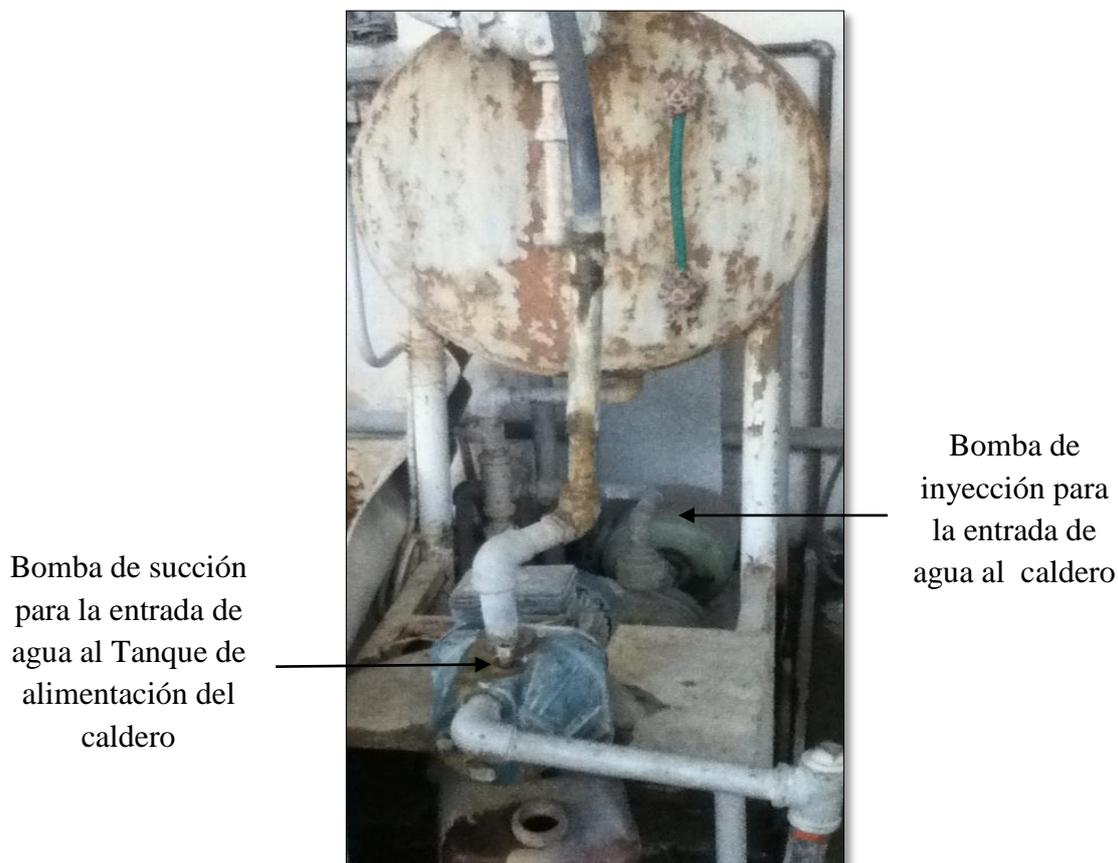


Figura 4.6: Tanque de alimentación de agua al caldero

4.2.4 Reservorio de agua del caldero

Una vez el agua en el caldero, ésta se convierte en vapor y es enviada automáticamente al Jet cuando este lo requiere a través de una tubería de acero galvanizado de 2 pulgadas. Posteriormente, el vapor de agua en Jet se transforma en agua condensada la misma que es enviada a un reservorio o piscina del caldero mediante una tubería de acero galvanizado de 1 pulgada. Este reservorio es hecho de hormigón y se encuentra totalmente cubierto por hormigón.

Las dimensiones del reservorio de agua del caldero son:

Largo: 6.00m Ancho: 2.50m Profundidad: 2.00 m

Volumen: 30 m³

Cuando el reservorio se encuentra lleno de agua condensada del Jet, esta pasa al cajón de revisión anteriormente explicado mediante una tubería de PVC de 4 pulgadas en la parte inferior del mismo. Posteriormente, el agua pasa a la cisterna y cumple con el mismo proceso.



Figura 4.7: Tuberías de entrada y salida del jet

4.3 Salida de agua del Jet después del proceso de tinturación

4.3.1 *Tanque de revisión*

Al terminar la tinturación, se abre una llave para descargar el agua del Jet. Ésta pasa por una tubería de acero de 4 pulgadas y cae al tanque de revisión en donde se puede apreciar el color del agua vertida. El tanque está hecho de hormigón y las medidas del mismo son:

Largo: 0.98 m Ancho: 0.50 m Profundidad: 0.90 m

A una distancia de 0.60 m está provisto un hueco u orificio hecho de hormigón cuyas medidas son 0.20×0.25 m.

Volumen: 0.294m^3



Figura 4.8: Tanque de revisión

4.3.2 *Piscina de enfriamiento*

Al ingresar el agua al orificio del tanque de revisión, el agua recorre 4.80 m hasta llegar a un orificio de 0.34×0.34 m y cae a la piscina de enfriamiento. En este lugar, el agua atraviesa orificios que se encuentran en la parte central e inferior de la piscina con el objetivo de que el agua se enfríe a medida que el agua se mezcla. Esta piscina está hecha de hormigón y se encuentra semicubierta por el mismo material. Sus dimensiones son:

Largo: 4.00 m Ancho: 1.38 m Profundidad: 0.86 m

Sin embargo, la piscina se llena con agua hasta 0.58 m de profundidad. Por lo tanto, la capacidad de esta piscina de enfriamiento es:

Volumen: 3.20 m^3



Figura 4.9: Piscina de Enfriamiento



Orificio 0.34×0.34 m
de entrada de agua a la
piscina de
enfriamiento

Figura 4.10. Entrada de agua a la piscina

4.3.3 Canal

Posteriormente que el agua pasa por los diferentes orificios de la piscina de enfriamiento, llega a la entrada de un canal que se encuentra inclinado para que el agua caiga por gravedad. Sin embargo, dentro de este canal se encuentran unas paredes pequeñas tipo

frenos las mismas que están distribuidas alternadamente para que el agua choque contra estas y disminuya la rapidez con la que desciende. El canal se encuentra totalmente cubierto y el material del mismo es hormigón. Las dimensiones del canal son:

Largo: 5.80 m Ancho: 0.30 m Profundidad: 0.70 m

Volumen: 1.22 m³

La capacidad del canal es la siguiente:

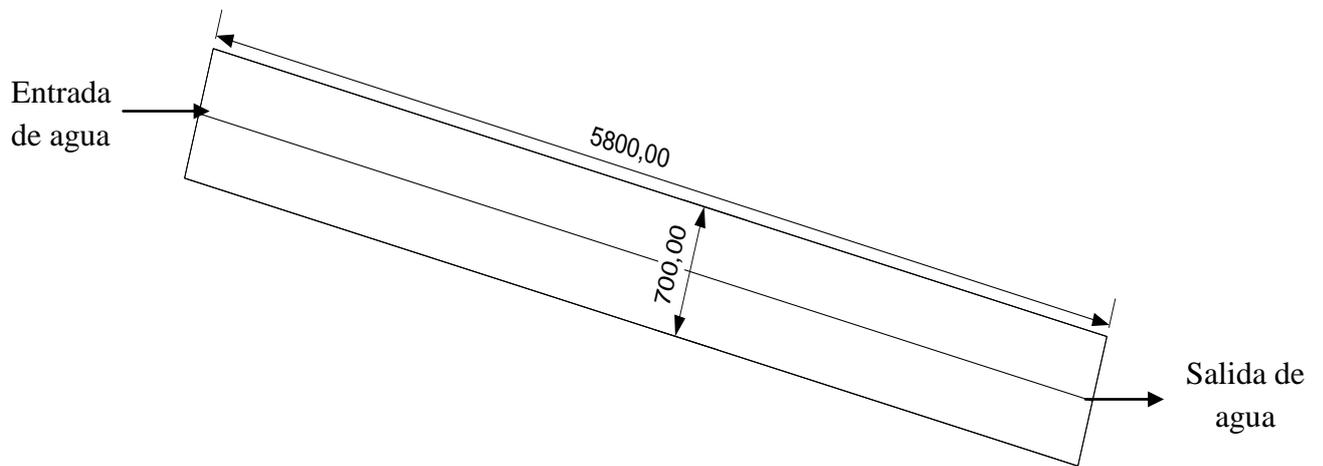


Figura 4.11: Vista lateral del Canal

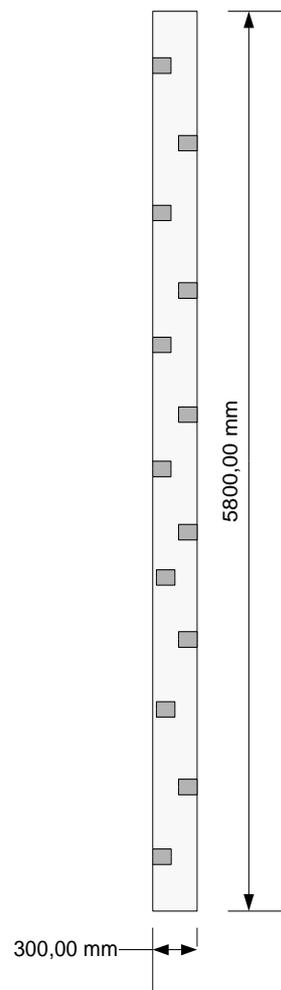


Figura 4.12: Vista superior del canal

4.3.4 Desarenador 1

Una vez que el agua sale del canal de frenos, el agua ingresa a un desarenador. En este lugar se puede apreciar el cambio de color de la descarga de agua, y se observa cómo quedan suspendidos los restos del colorante en el fondo del mismo. Este desarenador está hecho de hormigón y se encuentra cubierto con una tapa del mismo material, la misma que se abre y cierra cuando es necesario.

Las dimensiones del desarenador son:

Largo: 0.66 m

Ancho: 0.71 m

Profundidad: 1.50 m

Sin embargo, el desarenador ocupa una profundidad de 1.40 m. Por ende, la capacidad del desarenador es:

Volumen: 0.66m^3



Entrada de agua
al desarenador

Figura 4.13: Desarenador 1

Luego que el agua pasa por el desarenador, llega hasta un tubería de PVC de 6 pulgadas y atraviesa una distancia de 8.36 m hasta llegar a la siguiente instancia. Cabe recalcar que el agua en este lugar tiene una temperatura muy baja en relación a la primera descarga en el tanque de revisión.

Salida de agua
del desarenador.
Tubería de 6''
PVC



Figura 4.14: Tubería de salida del desarenador

4.3.5 Desarenador 2

Al llegar el agua al final de la tubería de 6 pulgadas, cae a un segundo desarenador en el cual se asienta en el fondo del mismo todo el colorante en exceso que se utilizó en el proceso de tinturación. Al alcanzar toda la capacidad del desarenador, el agua pasa por dos orificios de 4 pulgadas localizados a una altura de 1.45 m. Este desarenador está hecho de hormigón, y se encuentra cubierto por una tapa del mismo material.

Largo: 0.66 m

Ancho: 0.71 m

Profundidad: 1.80 m

Sin embargo, el desarenador 2 ocupa una profundidad de 1.45m. Consecuentemente, la capacidad del desarenador es:

Volumen: 0.68 m³



Figura 4.15: Salida de agua del desarenador

4.3.6 Piscina

Cabe recalcar que el desarenador se encuentra dentro de una piscina. El agua sale del desarenador a través de dos orificios en donde cae el agua a la piscina, por ende, tiene contacto y mezcla con agua fría. En esta piscina también se asienta el colorante sobrante del

proceso de tinturación, la misma que está provista de una pared con dos orificios para que pase el agua. Esta pared se construyó con el fin de frenar el movimiento del agua por cualquier eventualidad como un sismo.

Una vez que el agua llega al final, en el fondo de la piscina, se encuentra con una válvula de pie, la misma que por medio de una tubería 1 pulgada de PVC de 1.90 m hacia arriba y otra de 2.20 m horizontalmente que cruza la pared, lleva el agua hacia una bomba de $\frac{1}{2}$ KW para descargar el agua a un nivel más bajo al nivel del alcantarillado.

Cabe recalcar que en esta piscina se encuentran distribuidos tubos de PVC colocados a los extremos de la piscina con el fin de que entre aire a la piscina y el agua se enfríe.



Figura 4.16: Tubos aireadores de la piscina

Las dimensiones de esta piscina son:

Largo: 0.71 m Ancho: 0.66 m Profundidad: 2.10 m

Volumen: 0.98 m^3

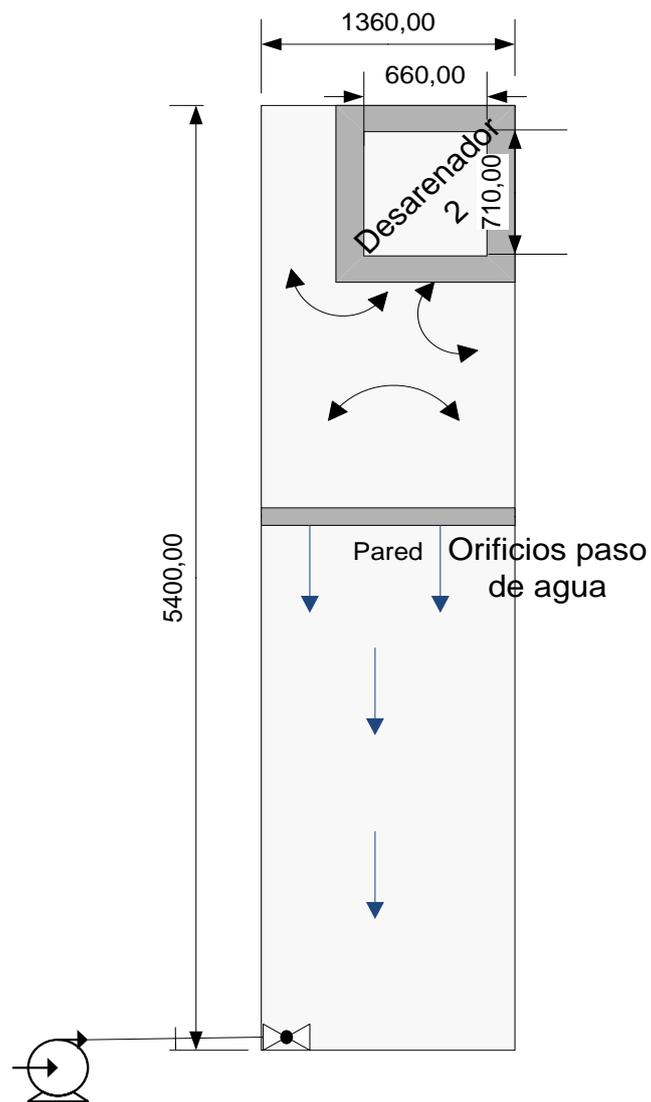


Figura 4.17: Piscina



Figura 4.18: Bomba 1/2 KW

4.3.7 Reservorio 2

Una vez que el agua sale de la bomba atraviesa una tubería de 1 pulgada de PVC con una distancia de 1.70 m y llega hasta un pequeño reservorio hecho de hormigón que se encuentra cubierto con una tapa del mismo material. Una vez lleno este reservorio, el agua pasa a través de una tubería de PVC de 4 pulgadas con una distancia de 4m, esta tubería está colocada con una inclinación para la siguiente instancia. Las tuberías de entrada y de salida de este reservorio se encuentran a una altura de 0.70 m

En este lugar, el agua se puede apreciar menos turbia al comprarla con la primera descarga del Jet.

Las dimensiones de este reservorio son:

Largo: 1.00 m

Ancho: 1.36 m

Profundidad: 0.85 m

La capacidad de este reservorio es:

Volumen: 0.95 m³

Entrada de
agua al
reservorio



Figura 4.19: Reservorio 2

4.3.8 Reservorio 3

Al pasar el agua por la tubería de 4 pulgadas, el agua cae a un último reservorio hecho de hormigón y cubierto con una tapa del mismo material. Al llenarse completamente el reservorio, el agua atraviesa una tubería de 4 pulgadas de PVC. Las tuberías de entrada y de salida se encuentran a una altura de 1.20 m. Se puede apreciar que este reservorio está localizado cerca del ingreso de la planta

Las dimensiones de este reservorio son:

Largo: 0.70 m Ancho: 0.70 m Profundidad: 1.40 m

La capacidad de este reservorio es:

Volumen: 0.58 m³



Figura 4.20: Reservorio 3

4.3.9 Alcantarillado

Finalmente, el agua recorre una distancia de 14 m a través de una tubería de PVC de 4 pulgadas. Esta tubería se encuentra inclinada para que el agua caiga al nivel del alcantarillado. En esta instancia el agua se puede apreciar más transparente que la

descargada de la tinturación. Por los análisis físicos químicos realizados, el agua circula en el alcantarillado con los límites permisibles por la ordenanza municipal.



Figura 4.21: Alcantarillado

5 Parámetros fisicoquímicos analizados

5.1 Medición de pH

Ésta medida se determinó mediante un medidor de pH marca “OAKTON modelo 100 series”. Las muestras de agua analizadas fueron tomadas de varias fuentes de agua o reservorios que se encuentran explicados en el diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales de tinturación.

Se tomó como parámetro el pH puesto que este indica la acidez o basicidad del agua, por lo tanto, está medida es una de las más importantes para caracterizar a los efluentes descargados, ya que en varias etapas de tinturación el pH puede ser afectado (26).

5.2 Medición de Conductividad

Ésta medida se determinó mediante un medidor de Conductividad marca “OAKTON TDS TESTER WITH TMC”. Las muestras de agua analizadas son las mismas tomadas en la medición de pH.

Se tomó como parámetro la conductividad ya que es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución como son: cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio etc. (10)

5.3 Medición de Temperatura

La temperatura de las muestras tomadas se determinó con un termómetro. La temperatura es un parámetro importante puesto que influye en la vida acuática y también interviene en la velocidad de reacción y reacciones químicas que son desarrolladas durante todo el proceso de tinturación.

5.4 Medición de Turbidez

Para determinar la turbidez de las muestras tomadas se utilizó un Turbidímetro Portátil marca “LaMotte” para lo cual se realizó el siguiente procedimiento: Se enjuagó el tubo del colorímetro con agua destilada y se llenó el mismo con 10 mL de agua destilada. Luego, se ajustó a 1 en la perilla de “Seleccionar la longitud de onda” y se presionó “30 segundos de lectura”. Se colocó el tubo dentro del colorímetro y se ajustó a 100% T con la perilla de “Establecer el blanco”. Éste es el 100% del blanco. Se enjuagó un segundo tubo con la muestra de agua a analizar y se llenó con 10 mL de la misma. Se tapó el tubo y se limpió el exceso de agua y huellas digitales. Se agitó para suspender la materia de partículas suspendidas Además, se removieron todas las burbujas antes de la medida. Posteriormente, se presionó “30 segundos de lectura” y se insertó el tubo dentro del colorímetro. Finalmente, se consultó la curva de calibración para determinar la turbidez expresada en [FTU] (2).

5.5 Determinación de DQO

Para determinar la DQO en las muestras se prepararon algunos reactivos. Se preparó dicromato de potasio 0.042 M. para lo cual se disolvieron 12.259 g de dicromato de potasio para el análisis en agua destilada y se aforó a 1000 mL con agua destilada. La solución de sulfato de amonio y hierro II hexahidratado 0.1M fue preparada con la disolución de 39 g de sulfato de amonio y hierro para análisis en 300 mL de agua destilada, y se agregaron 20 mL de ácido sulfúrico concentrado para análisis, luego se aforó con agua destilada a 1000 mL. La solución de fenantrolina fue preparada con la disolución de 1.485g de 1.10 fenantrolina, se añadieron 0.7 g sulfato de amonio y hierro en agua destilada, y se aforó con agua destilada a 1000 mL. (32)

Una vez preparadas las soluciones, en un balón de 250 mL se colocaron 20 mL de muestra de agua residual, luego se agregó 10 mL de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), de la misma manera se añadieron 30 mL de ácido sulfúrico concentrado lentamente y con precaución pues es un ácido muy fuerte que puede causar daños tanto físicos como materiales. Posteriormente, se añadió al balón 4 núcleos de ebullición para continuar con el reflujo. Para lo cual, se conectó el refrigerante y se colocó la manta de calentamiento. Se sometió a reflujo la mezcla durante 2 horas. Cumplido el tiempo se retiró el balón, para enfriarlo y llevar a cabo la titulación señalada con una solución de Sulfato de Amonio y hierro II hexahidratado, empleando como indicador una solución de 1.10 fenantrolina esperando que esta solución preparada se torne de color rojo, después de terminar la titulación se procedió a realizar los cálculos indicados (33).

Para determinar la DQO en las muestras de agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$DQO(mgO_2 / L) = \frac{(A - B) \cdot C \cdot 8000}{V} \quad 5.1$$

A: mL de la solución de sulfato de amonio y hierro II hexahidratado utilizada para titular el blanco.

B: mL de la solución de sulfato de amonio y hierro II hexahidratado utilizada para titular la muestra de agua residual.

C: molaridad de la solución de sulfato de de amonio y hierro II hexahidratado en mmol/L

V: mL de la muestra de agua residual utilizada para el análisis

8000 = factor que involucra los factores estequiométricos. (32)



Figura 5.1: Proceso de DQO



Figura 5.2: Muestras finales de DQO

5.6 Determinación de DBO

Se colocaron en dos frascos el agua a analizar. A una de las muestras, se añadieron 2mL de la solución de $MnSO_4$ al 50% y 2mL de la solución alcalina de KI (5% KI Y 33% NaOH); con cuidado cada botella se tapó para que no exista entrada de burbujas de aire. Luego, se invirtió cada muestra para homogenizar la solución. Se esperó hasta que la muestra se sedimente para luego de ello añadir 2mL de H_2SO_4 concentrado. Nuevamente, se tapó la botella y se dejó que el precipitado se disuelva por completo (10) (32).

Se transfirió la muestra a un erlenmeyer de 500 mL y se tituló la muestra para lo cual se utilizó una solución de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0,0025M) hasta que el color amarillo intenso pase a un color amarillo pálido, del mismo modo se agregaron 3 mL de almidón (indicador) obteniendo de esta mezcla un color azul, se tituló nuevamente hasta que el color azul se tornara transparente. La segunda muestra se colocó en el horno por cinco días a una temperatura de 25°C, procurando que sea un lugar oscuro puesto que se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases. Culinado el periodo de tiempo, se retiró la muestra y se determinó el oxígeno de la misma manera anteriormente explicada con la primera muestra. Finalmente, se procedió a identificar con los respectivos cálculos la cantidad de OD (mg/L) (10) (32).

Para determinar el valor del DBO en agua se utilizaron las siguientes ecuaciones 5.2 y 5.3:

$$DBO = \frac{OD_{INICIAL} - OD_{FINAL}}{FACTOR.DE.DILUCION} \quad 5.2$$

Donde el factor de dilución es

$$fd = \frac{\text{volumen.(mL).de.la.muestra}}{\text{volumen.(mL).de.la.muestra.donde.de.tomó.la.muestra}} \quad 5.3$$



Figura 5.3: Muestras iniciales para DBO



Figura 5.4: Muestras finales para DBO

5.7 Determinación de Sólidos Disueltos

Los sólidos disueltos de las muestras tomadas se determinaron con el instrumento “OAKTON TDS TESTER”. Este parámetro fue medido puesto que influye en otros parámetros como la Turbidez, color etc, es decir, es importante para poder determinar la calidad de agua o efluente descargado.



Figura 5.5: Medidor de Sólidos disueltos

5.8 Determinación de Alcalinidad

Para la determinación de la alcalinidad se transfirió con ayuda de una pipeta volumétrica 50mL de la muestra de agua en un erlenmeyer y se midió el pH. Se agregaron 5 gotas de fenolftaleína al erlenmeyer. Al observarse un cambio de color a rosado, se procedió a agregar directamente 5 gotas del indicador verde de bromocresol. Inmediatamente, se tituló la muestra con la solución estandarizada de HCl 0.0211 M previamente preparada. Al observar un cambio de color a verde esmeralda, se detuvo la titulación. Se anotaron los volúmenes en mL empleados en cada titulación. Finalmente, con el volumen medio obtenido, se calcularon la alcalinidad total, la alcalinidad total expresada como mg/L de CaCO_3 y la concentración de carbono inorgánico total para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones (24) (33):

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{m\text{LHCl.punto.final.de.la.fenolftaleína} \times \text{mmolHCl} / \text{mL}}{m\text{Lde.muestra.de.agua}} \quad 5.4$$

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{(m\text{LHCl.puntofinal.verdebromocresol} - m\text{LHCl.fenolftaleína}) \times \text{mmolHCl} / \text{mL}}{m\text{L.de.muestra.de.agua}}$$

5.8.1

$$[\text{Alcalinidad}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CaCO}_3^-] + [\text{OH}^-] \quad 5.5$$

Alcalinidad expresada en mg/L CaCO_3 :

$$\text{mgCaCO}_3 = \frac{2.774 \times 10^{-3} \text{ mol}[\text{H}^+] \times 1 \text{ molCaCO}_3 \times 100.1 \text{ gCaCO}_3 \times 1000 \text{ mgCaCO}_3}{1 \text{ L} \times 2 \text{ mol}[\text{H}^+] \times 1 \text{ molCaCO}_3} \quad 5.6$$

Concentración de carbono inorgánico total:

$$[\text{C}]_{\text{mor.Total}} = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad 5.7$$

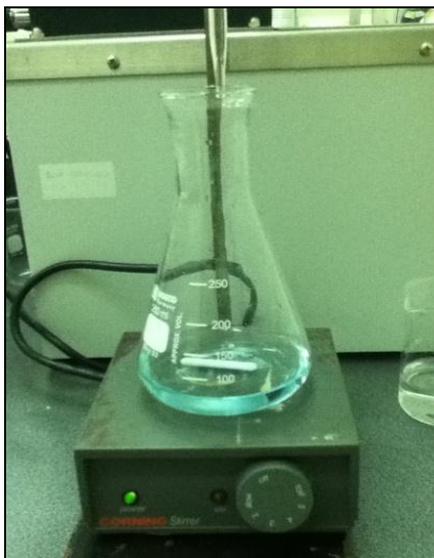


Figura 5.6: Muestra para determinación de alcalinidad

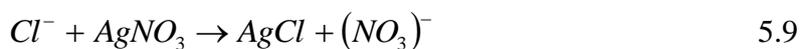
5.9 Determinación de cloruros

Se tomaron y colocaron 25mL de cada muestra de agua en el matraz erlenmeyer. Luego se agregó 1mL del indicador (K_2CrO_4 al 2%), tornándose la muestra de color amarillo. Finalmente, se tituló la muestra de agua con $AgNO_3$ 0,05 M hasta que su color cambió de amarillo a rojo ladrillo. Para calcular la cantidad e cloruros en la muestra se utilizó la siguiente fórmula (10) (33).

$$Cl^- = \frac{mg\ Cl^-}{L\ muestra}$$

$$Cl^- = \frac{mL\ AgNO_3 \cdot (1.775)}{L\ muestra}$$
5.8

Así, los Cl^- precipitan con el Ag^+ dando lugar a un compuesto muy insoluble ($AgCl$) de color blanco, es decir:



Como resultado final de la titulación se obtiene Ag_2CrO_4 (color rojo ladrillo) con el exceso de $AgNO_3$, vista su reacción a continuación:

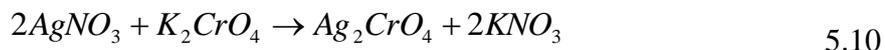


Figura 5.8: Muestra inicial cloruros

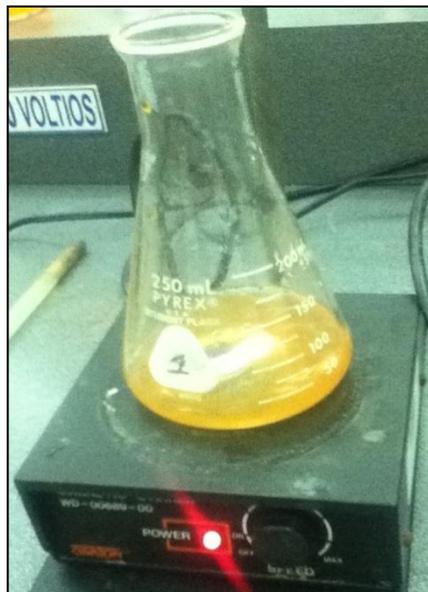


Figura 5.7: Muestra final cloruros

5.10 Determinación de dureza

La dureza total se define como la suma de concentración de iones calcio y magnesio, expresados como carbonato de calcio, en mg/L. Por lo tanto, con la ayuda de un espectrofotómetro de absorción atómica se midieron las concentraciones de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} Anexo 1. La dureza se calculó con la siguiente fórmula (35):

$$Dureza\ total, \frac{mgCaCO_3}{L} = 2.487[Ca] + 4.118[Mg] \quad 5.11$$

Donde:

[Ca] : concentración de calcio expresada en mg/L

[Mg] : concentración de magnesio expresada en mg/L

5.11 Determinación de sulfatos

Para determinar la presencia de sulfatos de las muestras tomadas se utilizó un colorímetro portátil marca “LaMotte” para lo cual se realizó el siguiente procedimiento: Se enjuagó el tubo del colorímetro con agua destilada y se llenó el mismo con 10 mL de agua destilada. Luego, se ajustó a 1 en la perilla de “Seleccionar la longitud de onda” y se presionó “30 segundos de lectura”. Se colocó el tubo dentro del colorímetro y se ajustó a 100% T con la perilla de “Establecer el blanco”. Éste es el 100% del blanco. Se retiró el tubo del colorímetro y se añadió 0.1 g del “Reactivo de sulfato” con la cuchara de 0.1 g. Se tapó el tubo y se agitó hasta que se haya disuelto. Un precipitado blanco se forma si hay presencia de sulfatos. Posteriormente, se agitó de nuevo y se presionó “30 segundos de lectura” y se insertó el tubo dentro del colorímetro. Finalmente, se consultó la curva de calibración para determinar la presencia de sulfatos expresada en [mg/L] (36).

5.12 Determinación de nitratos

Para determinar la presencia de nitratos de las muestras tomadas se utilizó un colorímetro portátil marca “LaMotte” para lo cual se realizó el siguiente procedimiento: Se enjuagó el tubo del colorímetro con agua destilada y se llenó el mismo con 10 mL de agua destilada. Luego, se ajustó a 4 en la perilla de “Seleccionar la longitud de onda” y se presionó “30 segundos de lectura”. Se colocó el tubo dentro del colorímetro y se ajustó a 100% T con la perilla de “Establecer el blanco”. Éste es el 100% del blanco. Se tomaron 5 mL de muestra del tubo para lo cual se utilizó una probeta graduada y se desechó el restante de la muestra. Se regresaron los 5 mL de muestra al tubo. Además, se agregó 5 mL de “Reactivo: ácido” para lo cual se usó una probeta graduada. Posteriormente, con una cuchara de 0.1 g, se añadieron 0.2 g de “Reactivo: Nitrato” al contenido del tubo y se tapó. Se tomó el tubo con el dedo pulgar e índice y se agitó invirtiéndolo aproximadamente 50 a 60 veces por un

periodo de 1 min. Luego, se dejó reposar por 10 min para que se desarrolle o aparezca el color. (Nota: Al final del periodo de espera una porción de “Reactivo: Nitrato” no disuelto puede permanecer en el fondo del tubo sin alterar el resultado). Finalmente, se presionó “30 segundos de lectura” y se insertó el tubo dentro del colorímetro. Se consultó la curva de calibración para determinar la presencia de “Nitrate Nitrogen” (N) expresada en [mg/L]. (Nota: Para convertir Nitrate Nitrogen en Nitratos (NO_3) hay que multiplicar por 4.4. (25) (36).



Figura 5.9: Muestra para determinación de nitratos

5.13 Determinación de sustancias solubles en hexano

Se tomaron 50 mL de muestra y se colocaron en un embudo de separación. Se añadió a este contenido 50 mL de hexano. Posteriormente, se agitó durante 1 hora y se dejó en reposo durante 10 minutos aproximadamente. Se desechó la fase acuosa y se recogió la fase orgánica. Esta fase fue llevada a destilación, para lo cual se pesó el balón con los bulbos de ebullición y se agregó el contenido a destilar. Al final de la destilación, se pesó el mismo balón para por diferencia conocer el contenido de sustancias solubles en hexano. Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula: (38)

$$\frac{mg}{L} \text{ sustancias solubles en hexano} = \frac{(P_2 - P_1)}{V} \quad 5.12$$

Donde:

P₂: Peso del baló n + 3 a 4 bulbos de ebullición [mg]

P₁: Peso del baló n + 3 a 4 bulbos de ebullición + residuo [mg]

V: Volumen añadido de muestra [L]



Figura 5.10: Proceso para determinación de sustancias solubles en hexano

5.14 Determinación de metales

Se determinó la presencia de algunos metales en las muestras de agua como son: Cu²⁺, Fe³⁺, Zn²⁺, K⁺, Ca²⁺, Cr³⁺ con la ayuda del espectrofotómetro “Buck Scientific Atomic Spectrophotometer”. Para la determinación de los metales, se prepararon soluciones patrón que se requieren para las curvas de calibración. Las curvas de calibración se encuentran en el Anexo 4 (25) (36).

5.15 Análisis de jarras

Se midió el pH, Turbidez, Sólidos Solubles Totales y Conductividad de la muestra antes de realizar el análisis de jarras. Este análisis se realizó con el equipo de Phipps & Bird.

En seis vasos de precipitación de 1000 mL de capacidad, se introdujo en cada uno 600 mL de agua a tratar. En cada uno de los vasos se añadieron varias cantidades diferentes de coagulante preparado, en este caso de Sulfato de Aluminio (0.333g de sulfato de aluminio se diluyeron en 100 mL de agua), es decir, se añadieron 6, 9, 12, 15 mL de sulfato de aluminio en cada jarra. Luego, se colocaron las jarras en el equipo y se encendió la lámpara. Se pusieron a funcionar los agitadores y se estabilizó en 100 rpm, y se dejó agitar por un lapso de 2 min. Posteriormente, se estabilizó la agitación a 25 rpm por 20 min, y se observó la aparición de flóculos. Finalmente, se dejó reposar cada vaso de precipitación por 15 min y se retiraron los mismos del equipo.

Se midieron los parámetros de pH, Turbidez, Sólidos Solubles Totales y Conductividad para poder compararlos con los parámetros iniciales y así determinar la dosis óptima del coagulante (5).

Para determinar la concentración del coagulante en cada jarra se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_j = \frac{(C_s)(V_s)}{V} \quad 5.13$$

C_j: Concentración del coagulante en cada jarra

C_s: Concentración del coagulante

V_s: Volumen del coagulante en cada jarra

V: Volumen de agua

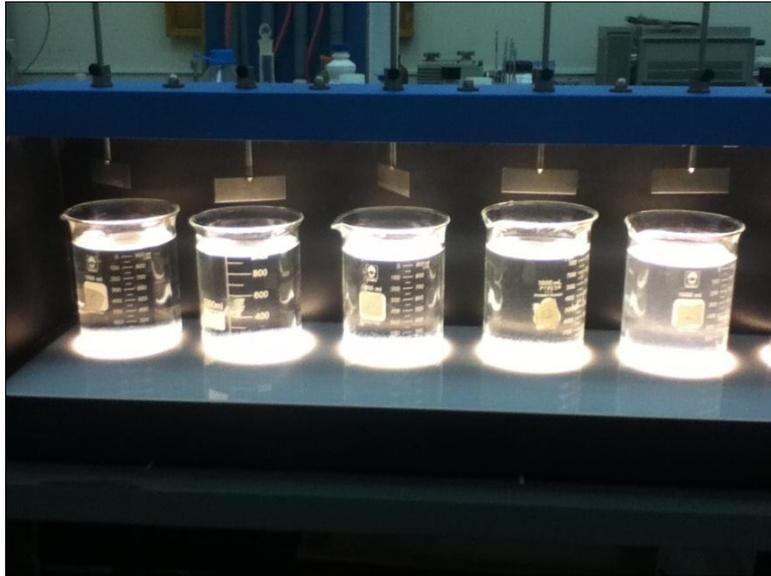


Figura 5.11: Análisis de Jarras

6 Resultados y Discusión de Resultados sobre el Análisis Físicoquímico de agua residuales

6.1 Primer análisis

Se recogieron muestras de dos colores de tinturado.

Tabla 6.1 Muestras de Color Rojo

Color Rojo	
N°	Muestra
1	Tanque de revisión
2	Piscina de enfriamiento
3	Reservorio 2

Tabla 6.2 Parámetros físico - químicos color rojo tanque de revisión

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,77
Conductividad Ω	[μ S]	260
Temperatura	$^{\circ}$ C	80
DQO	[mg/L]	440
Turbidez	[FTU]	259,7
Sólidos Disueltos	[mg/L]	620
Alcalinidad total	[mg /L]	140,84
Cloruros	[mg /L]	106,5
Dureza CaCO_3	[mg /L]	1,805
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,0028
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0040

Tabla 6.3 Parámetros físico-químicos de piscina de enfriamiento

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,6
Conductividad Ω	[μ S]	190
Temperatura	$^{\circ}$ C	50
DQO	[mg/L]	360
Turbidez	[FTU]	25,4
Sólidos Disueltos	[mg/L]	380
Alcalinidad total	[mg /L]	81,98
Cloruros	[mg /L]	53,25
Dureza CaCO_3	[mg /L]	1,0612
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,0016
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0026

Tabla 6.4 Parámetros físico – químicos muestra reservorio 2

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,89
Conductividad Ω	[μ S]	130
Temperatura	$^{\circ}$ C	15
DQO	[mg/L]	120
Turbidez	[FTU]	12,9
Sólidos Disueltos	[mg/L]	165
Alcalinidad total	[mg /L]	65,1651
Cloruros	[mg /L]	28,4
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	0,81152695
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,001302
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,00170423

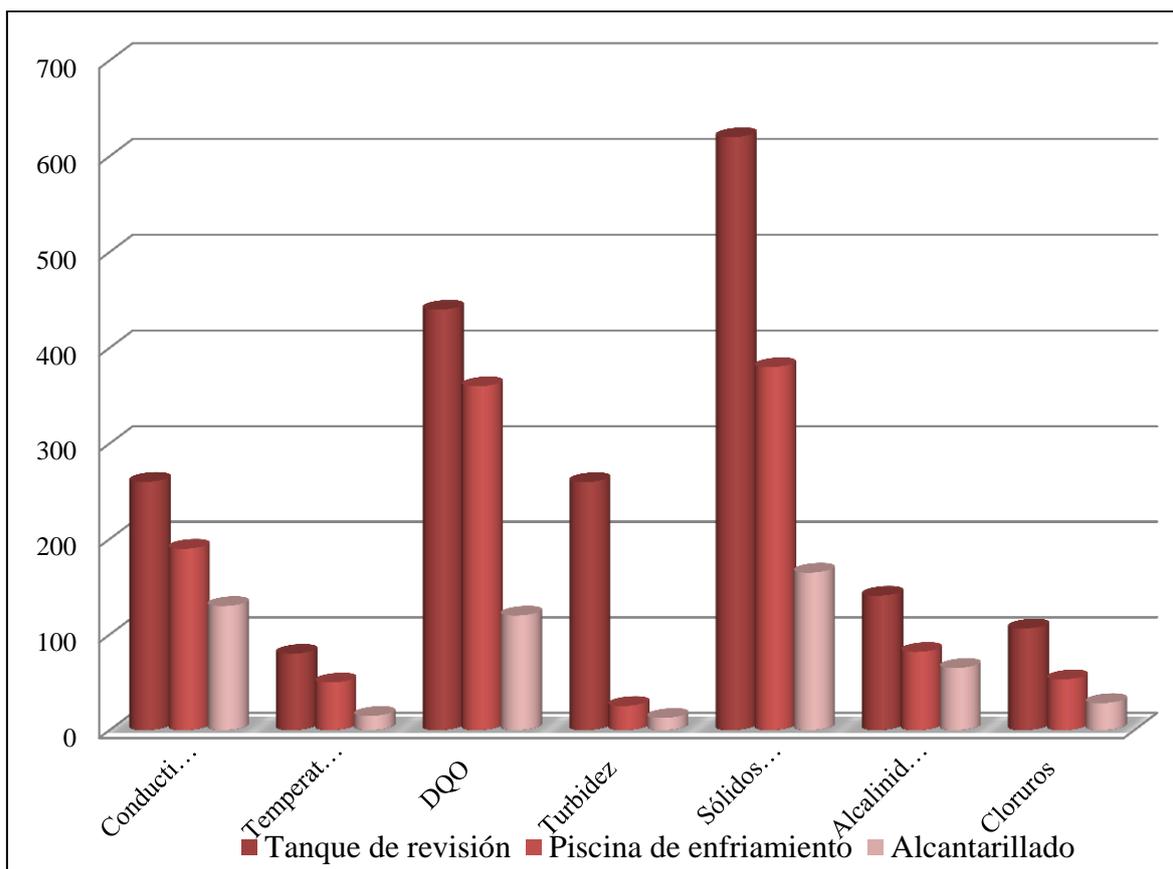


Figura 6.1: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color rojo Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Reservorio 2

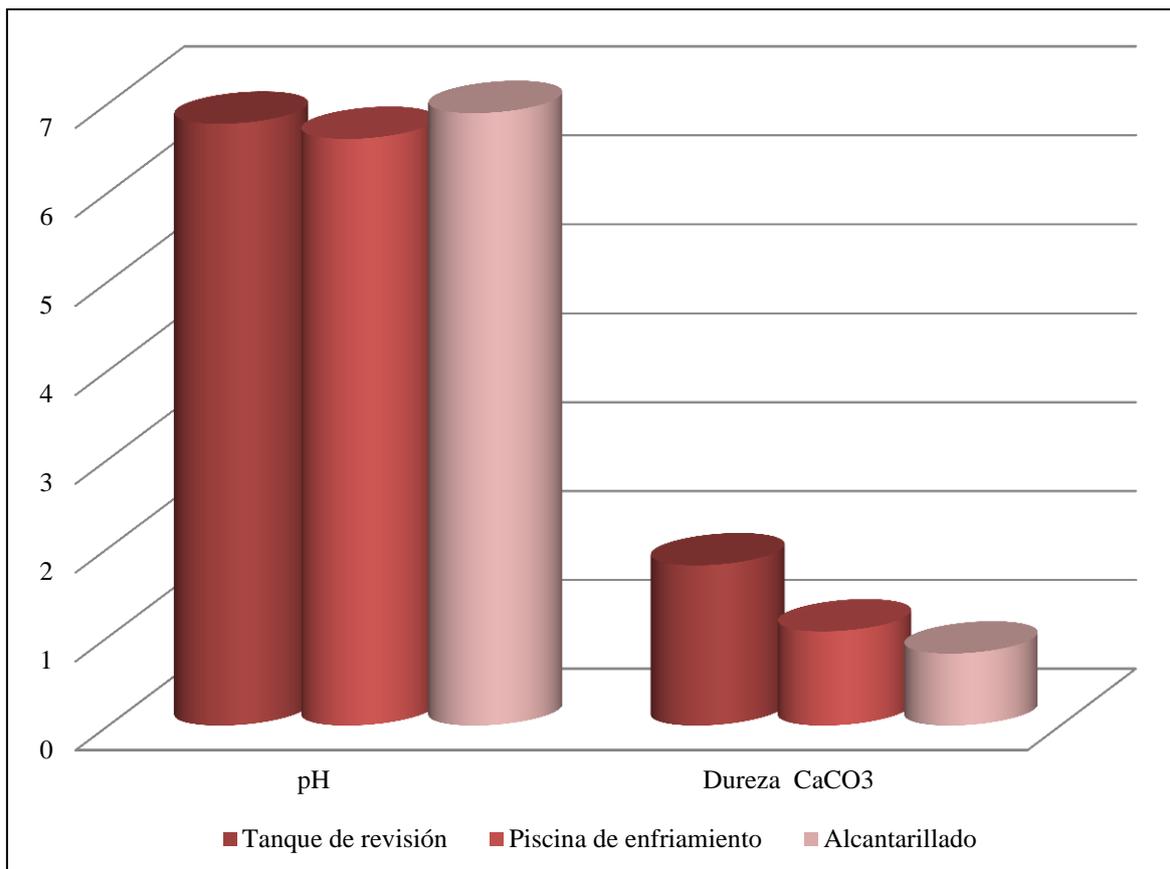


Figura 6.2: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color rojo Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Reservorio 2

Según los parámetros determinados en las tablas 6.2 a 6.4 y la figura 6.1 y 6.2 al compararlos con los límites permisibles de efluentes de una industria textil en la Ordenanza Municipal de Quito N°31, todos se encuentran dentro del rango.

Se puede observar que el pH del agua disminuye desde el tanque de revisión pero no en una gran proporción, por ende el agua tiende a ser más ácida, pero aumenta en una pequeña proporción en la piscina de enfriamiento, de hecho este parámetro sigue dentro de los límites. Por otro lado, los valores de conductividad en las muestras disminuyen a medida que pasan por los desarenadores, es decir, como la conductividad es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución como son: cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio, estos valores indican que la cantidad de iones presentes en el agua se

reducen al pasar por el tratamiento. La Demanda Química de Oxígeno en las muestras también desciende, por tanto, el contenido de materia orgánica no biodegradable presente en las muestras de agua se reduce. En cuanto a la turbidez, se aprecia que la muestra 1 tiene un valor alto, sin embargo, este valor disminuye notablemente puesto que en el tanque de revisión, el agua posee el color del colorante que se aplica en el proceso de la tintorería, pero con el tratamiento la muestra final es más transparente. La cantidad de sólidos disueltos en la muestra 1 tiene un valor alto en comparación con las otras muestras, esto se debe a que a la salida del Jet esta muestra de agua se encuentra a altas temperaturas; por consiguiente, este parámetro también se reduce con el tratamiento. La alcalinidad del agua pertenece al rango medio, y al pasar por el tratamiento, este rango disminuye hasta que en la muestra 3 el rango de alcalinidad es bajo, es decir, la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH disminuye. La temperatura en la última muestra se observa que disminuye notablemente, esto se debe gracias al paso del agua por los diferentes tanques y piscinas. La dureza del agua en la muestra 1 corresponde a agua suave puesto que tiene niveles bajos de CaCO_3 , y los niveles de dureza se reducen con la aplicación del tratamiento. Además, se puede corroborar que con el pH de 6.89 no existe presencia de carbonatos, pero si existe presencia de bicarbonatos. Por otro lado, se puede observar que el nivel de cloruros empieza con nivel alto, pero con el paso del agua por los desarenadores, estos niveles disminuyen.

Tabla 6.5 Muestras color café

Color Café	
N°	Muestra
1	Tanque de revisión
2	Piscina de enfriamiento
3	Alcantarillado

Tabla 6.6 Parámetros físico- químicos tanque de revisión

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,15
Conductividad Ω	[μ S]	380
Temperatura	$^{\circ}$ C	80
DQO	[mg /L]	480
Turbidez	[FTU]	355,2
Sólidos Disueltos	[mg /L]	565
Alcalinidad total	[mg /L]	147,15
Cloruros	[mg /L]	71
Dureza CaCO_3	[mg /L]	1,56
Carbonatos	[mg /L]	0
Bicarbonatos	[mg /L]	0,0029
Carbono Inorgánico	[mg /L]	0,0034

Tabla 6.7 Parámetros físico- químicos piscina de enfriamiento

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,7
Conductividad Ω	[μ S]	280
Temperatura	$^{\circ}$ C	50
DQO	[mg/L]	480
Turbidez	[FTU]	31,7
Sólidos Disueltos	[mg/L]	462
Alcalinidad total	[mg /L]	84,084
Cloruros	[mg /L]	42,6
Dureza CaCO_3	[mg /L]	0,914
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,0017
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0025

Tabla 6.8 Parámetros físico- químicos muestras de alcantarillado

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,7
Conductividad Ω	[μ S]	130
Temperatura	$^{\circ}$ C	3
DQO	[mg/L]	160
Turbidez	[FTU]	9,4
Sólidos Disueltos	[mg/L]	120
Alcalinidad total	[mg /L]	73,57
Cloruros	[mg /L]	21,3
Dureza CaCO_3	[mg /L]	0,86146707
Carbonatos	[mg /L]	0
Bicarbonatos	[mg /L]	0,00147
Carbono Inorgánico	[mg /L]	0,00217337

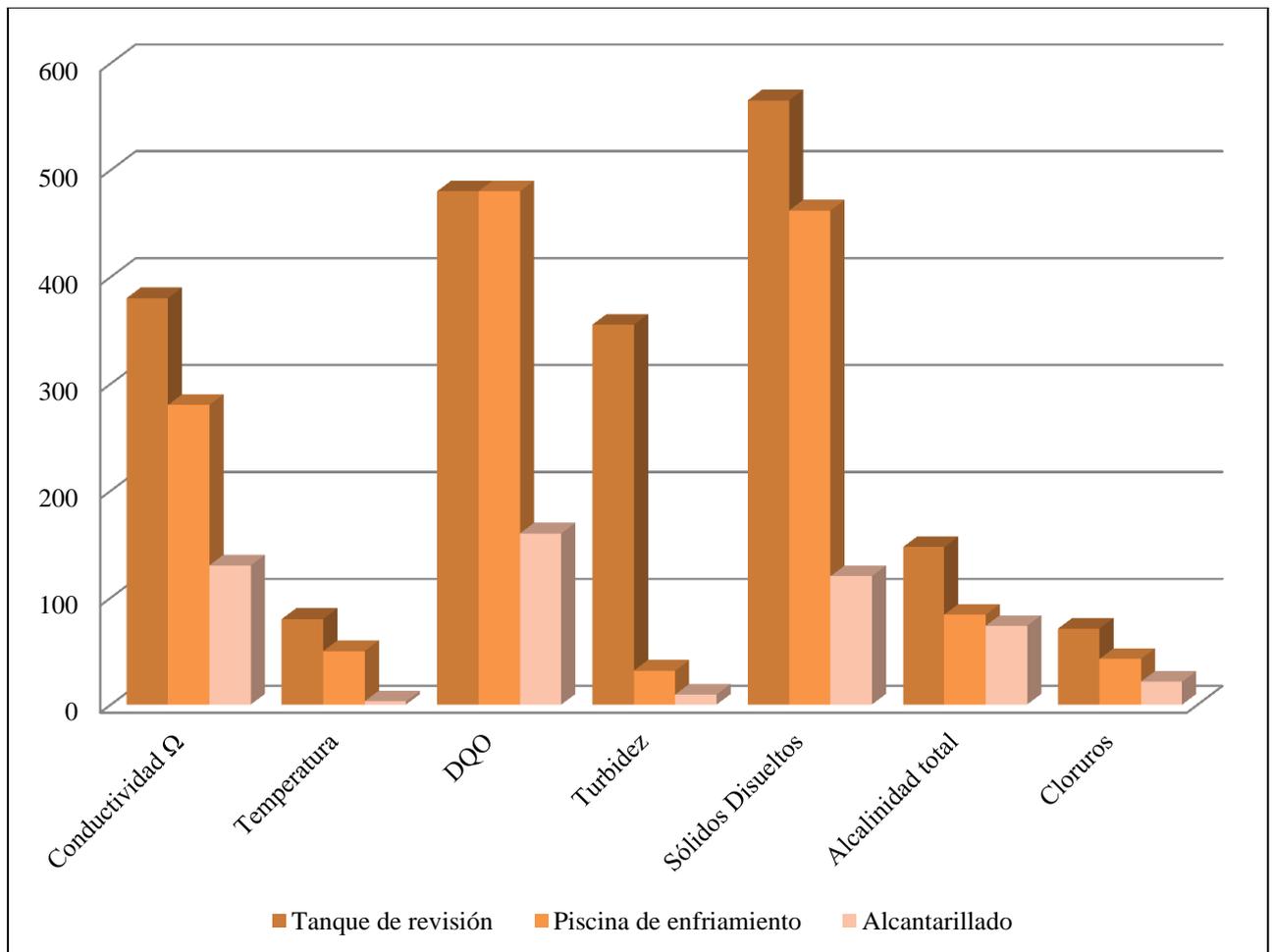


Figura 6.3: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color café Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Alcantarillado.

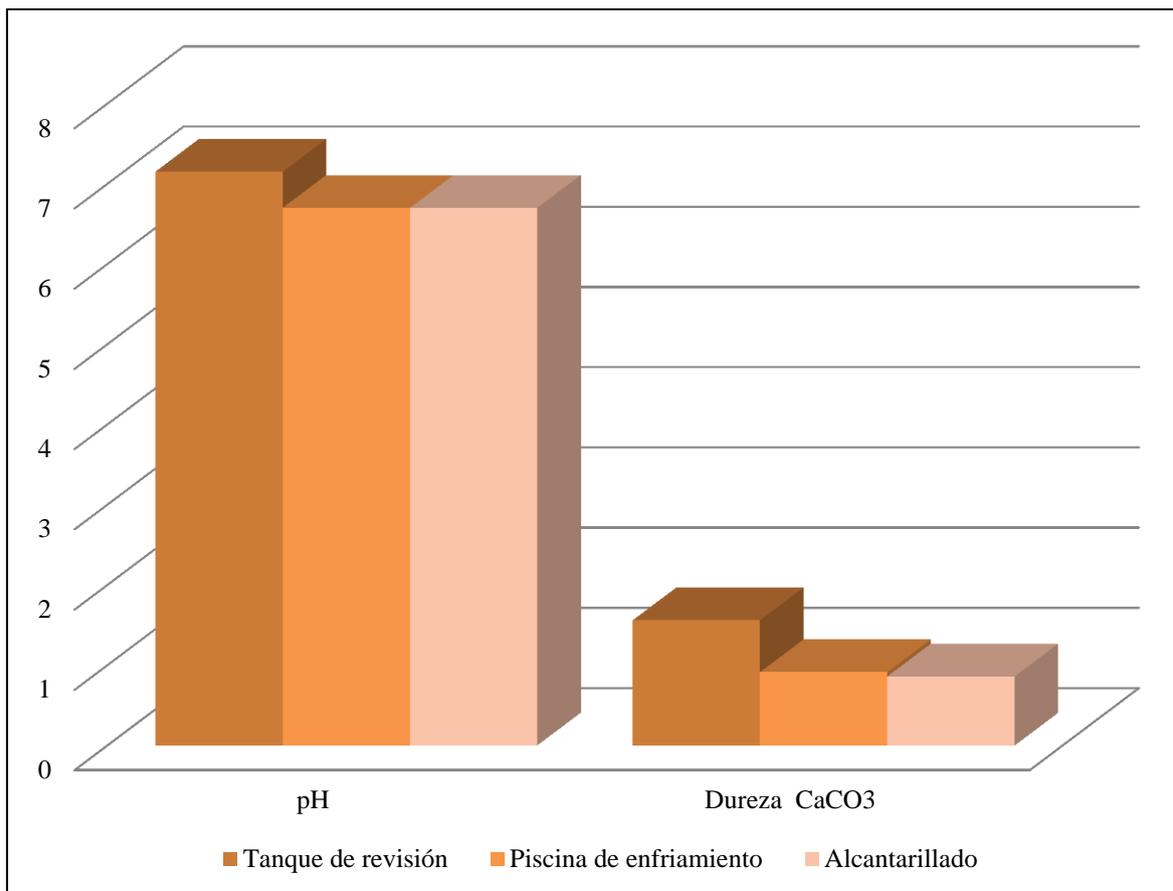


Figura 6.4: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra color café Tanque de revisión, Piscina de Enfriamiento, Alcantarillado .

En las tablas 6.3 a 6.8 y en la figura 6.3 y 6.4 se muestran los parámetros que se determinaron para poder compararlos con los límites permisibles de efluentes de una industria textil en la Ordenanza Municipal de Quito N°31. Estos parámetros se encuentran dentro del rango que se requiere para las descargas de efluentes.

El pH del agua disminuye desde el tanque de revisión, es decir, el agua se caracteriza por ser más ácida hasta ser descargada en el alcantarillado. Sin embargo, este parámetro se ajusta a los requerimientos de la Ordenanza Municipal. Los valores de conductividad en las muestras se reducen a medida que pasan por los reservorios, por ende, la cantidad de iones en solución presentes en el agua se reducen al pasar por el tratamiento. La Demanda Química de Oxígeno en las muestras también desciende, por tanto, el contenido de materia

orgánica no biodegradable presente en las muestras de agua reduce. Por otra parte, se observa que la turbidez en la muestra 1 tiene un valor elevado; sin embargo, este valor disminuye en gran medida pues con el paso del agua por los diferentes depósitos de agua, el agua tiene más transparencia. En la muestra 1, los sólidos disueltos tienen un gran valor en relación con la última muestra puesto que, en el Jet el agua es sometida a altas temperaturas y se generan más sólidos disueltos. La alcalinidad del agua en la muestra 1 y 2 pertenece al rango medio, pero al pasar por el tratamiento, este rango cambia hasta que en la muestra 3 el rango de alcalinidad es bajo; en consecuencia, el agua pierde la capacidad para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH. La dureza del agua en la muestra 1 corresponde a agua suave ya que posee niveles bajos de CaCO_3 , sin embargo los niveles de dureza disminuyen con el tratamiento. También, se puede corroborar que con el pH de 6.7 no hay presencia de carbonatos, pero sí existe presencia de bicarbonatos. Con respecto a los cloruros, se muestra que la cantidad de estos se reducen, esto se debe gracias a los desarenadores instalados.

6.2 Segundo análisis

En este análisis se recogieron muestras después del baño de tinturación

Tabla 6.9 Muestras de agua (Lavado)

Lavado	
N°	Muestras
1	Pozo
2	Pozo
3	Tanque revisión
4	Piscina de Enfriamiento

Tabla 6.10 Parámetros físico- químicos de muestra pozo

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,4
Turbidez	[FTU]	10,2
Conductividad Ω	[μ S]	340
Temperatura	$^{\circ}$ C	5
OD inicial	[mg/L]	8,43
OD final	[mg/L]	7,3
DQO	[mg/L]	100
DBO	[mg/L]	1,13
DBO/DQO		0,0113
DQO/DBO		88,50
Sólidos Disueltos	[mg/L]	230
Alcalinidad total	[mg/L]	145,04
Cloruros	[mg /L]	71
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	1,89
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,003
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,006

Tabla 6.11 Parámetros físico- químicos de muestra pozo

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,45
Turbidez	[FTU]	12
Conductividad Ω	[μ S]	340
Temperatura	$^{\circ}$ C	5
OD inicial	[mg/L]	8,38
OD final	[mg/L]	7,74
DQO	[mg/L]	120
DBO	[mg/L]	0,64
DBO/DQO		0,0053
DQO/DBO		187,5
Sólidos Disueltos	[mg/L]	230
Alcalinidad total	[mg/L]	157,66
Cloruros	[mg /L]	49,7
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	7,55
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,003
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0058

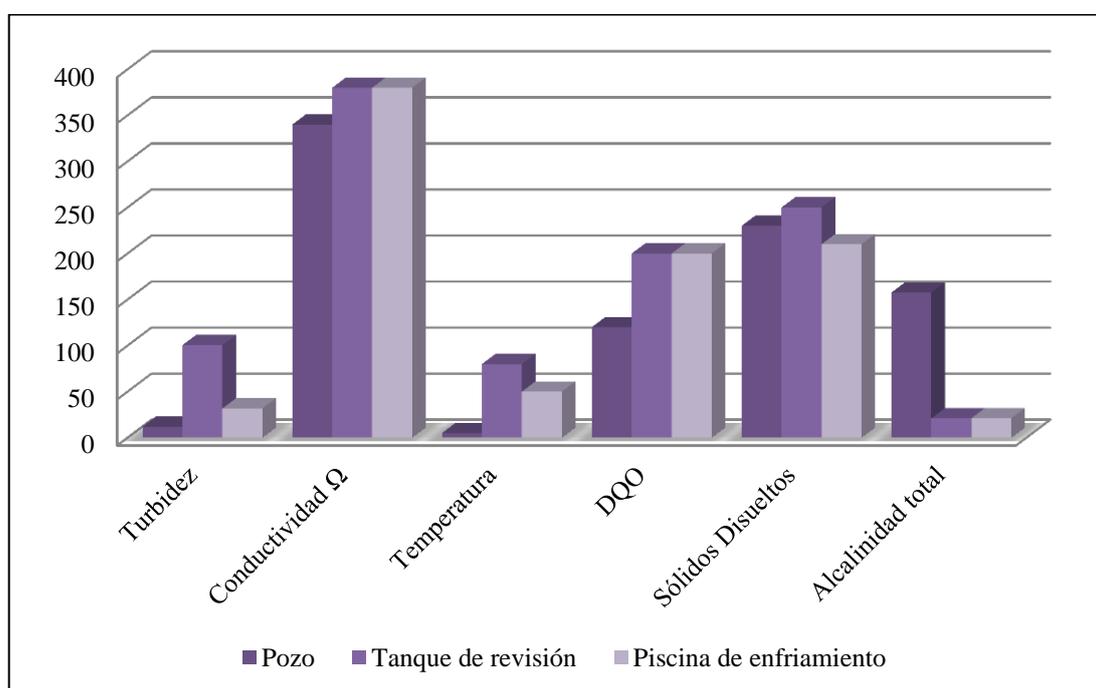


Figura 6.5: Variación de parámetros fisicoquímicos de Pozo, Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento

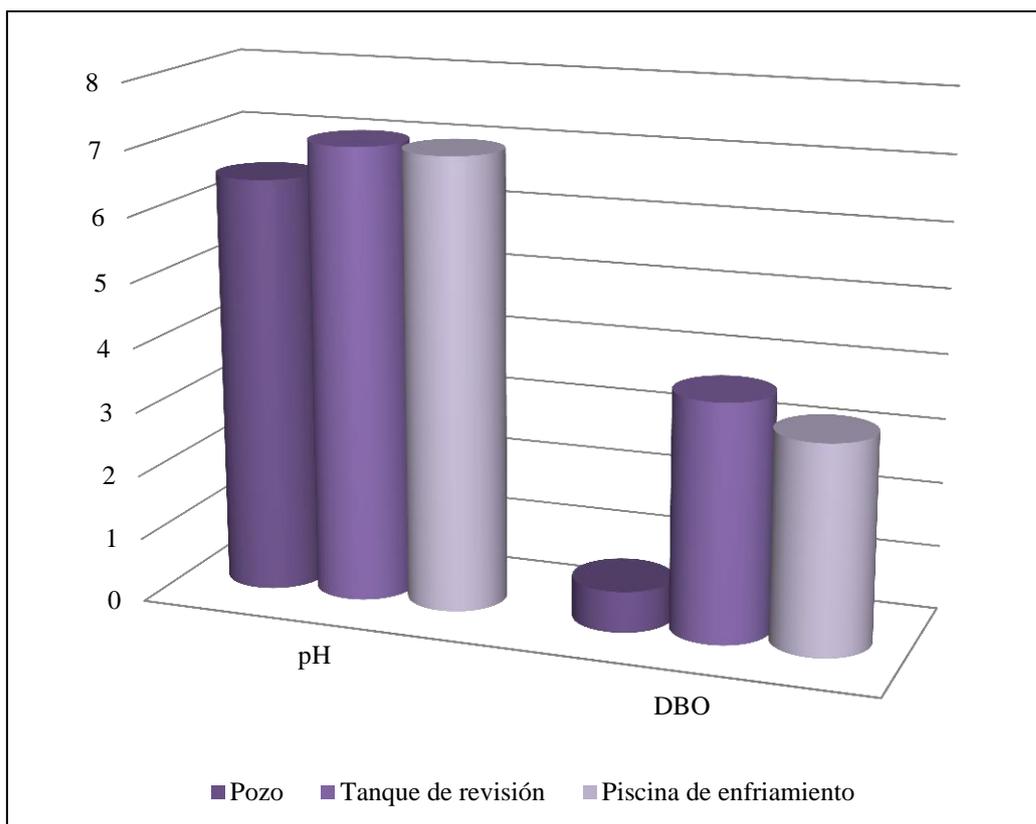


Figura 6.6: Variación de parámetros fisicoquímicos de Pozo, Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento

En las tablas 6.10 a 6.11 y la figura 6.5 y 6.6 se muestran los parámetros que se determinaron del agua de pozo que se abastece para poder utilizarla en la tintorería y se los comparó con los límites permisibles de efluentes de una industria textil en la Ordenanza Municipal de Quito N°31.

El pH del agua de pozo en las dos muestras está alrededor de 6.42, este valor indica que el agua entra al proceso con un pH un poco alejado del neutro; sin embargo, este valor no repercute en el proceso de tinturación. Por otra parte, los valores de conductividad en las muestras del agua de pozo no representan un valor elevado, es decir, las muestras de agua tienen una pequeña capacidad para transportar corriente eléctrica. La Demanda Química de Oxígeno en las muestras se caracteriza por tener un valor bajo en comparación con los

valores mostrados en el proceso de tinturación, por lo tanto, posee un valor menor del contenido de materia orgánica no biodegradable. Los valores de la Demanda Biológica de Oxígeno son bajos, es decir, la cantidad de oxígeno consumida en la eliminación de la materia orgánica del agua a través de procesos biológicos aerobios es mínima. Con respecto a la turbidez en las muestras, tienen un valor bajo, es decir que el agua que se utiliza para el proceso de tinturación entra en buenas condiciones de transparencia. Los sólidos disueltos en las muestras del pozo tienen un valor menor, esta medida está relacionada a la conductividad, por ende existe una pequeña cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, en el agua. La alcalinidad del agua de pozo se encuentra alrededor de 151 mg/L, en consecuencia, este valor está en un rango alto; en consecuencia, el agua tiene una gran capacidad para absorber iones hidrógeno. La dureza del agua de pozo pertenece a agua suave porque tiene niveles bajos de CaCO_3 . También, se puede confirmar que con el pH de 6,4 no existe cantidad de carbonatos, sin embargo predomina la presencia de bicarbonatos.

Tabla 6.12 Parámetros físico- químicos de muestra tanque de revisión

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,04
Turbidez	[FTU]	100,5
Conductividad Ω	[μS]	380
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	80
OD inicial	[mg/L]	6,96
OD final	[mg/L]	3,27
DQO	[mg/L]	200
DBO	[mg/L]	3,69
DBO/DQO		0,018
DQO/DBO		54,201
Sólidos Disueltos	[mg/L]	250
Alcalinidad total	[mg/L]	21,021
Cloruros	[mg /L]	49,7
Dureza CaCO_3	[mg /L]	7,551
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,00042
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0005

Tabla 6.13 Parámetros físico- químicos de muestra piscina de enfriamiento

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,995
Turbidez	[FTU]	31,7
Conductividad Ω	[μ S]	380
Temperatura	$^{\circ}$ C	50
OD inicial	[mg/L]	6,74
OD final	[mg/L]	3,5
DQO	[mg/L]	200
DBO	[mg/L]	3,24
DBO/DQO		0,0162
DQO/DBO		61,73
Sólidos Disueltos	[mg/L]	210
Alcalinidad total	[mg/L]	21,021
Cloruros	[mg /L]	-----
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	-----
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	0,00042
Carbono Inorgánico	[mg/L]	0,0005

En las tablas 6.12 a 6.13 se muestran los parámetros que se analizaron para compararlos con los límites permisibles de efluentes de una industria textil en la Ordenanza Municipal de Quito N°31, dichos parámetros se encuentran dentro del rango de la ordenanza. Estas muestras fueron recogidas después del lavado del Jet.

Se puede observar que el pH del agua disminuye después de pasar por el tanque o piscina de enfriamiento, y se acerca al valor de pH neutro. Con respecto a los valores de conductividad en las muestras se mantienen, pero permanecen dentro del rango permitido, por lo tanto, la cantidad de iones presentes en el agua no aumentan al pasar por el tratamiento. La Demanda Química de Oxígeno en las muestras no cambia de valor; en consecuencia, el contenido de materia orgánica no biodegradable presente en las muestras de agua no tiene cambio alguno. En cuanto a la turbidez, se aprecia que este valor disminuye en gran proporción puesto que en el tanque de reposo aún tiene restos de colorante; sin embargo, en el tanque de enfriamiento reduce la cantidad de colorante y en

consecuencia disminuye la turbidez. La cantidad de sólidos disueltos en las muestras 3 es mayor en comparación con las otra muestra puesto que a la salida del Jet contiene cantidades del resto del colorante. La alcalinidad del agua en la muestra 3 y 4 pertenece al rango bajo, es decir, con el lavado y el paso del agua por los desarenadores disminuye la capacidad del agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH. La dureza del agua de las dos muestras corresponde a agua suave puesto que tiene niveles bajos de CaCO_3 , y los niveles de dureza se disminuyen el paso del agua por desarenadores. Además, se puede corroborar que con el valor de pH de las muestras no existe presencia de carbonatos, pero si existe presencia de bicarbonatos.

6.3 Tercer análisis

Tabla 6.14 Muestras color azul marino

Color azul marino	
N°	Muestras
1	Pozo
2	Tanque de revisión
3	Piscina Enfriamiento
4	Reservorio 2
5	Reservorio 3
6	Alcantarillado
7	Tanque de revisión

Tabla 6.15 parámetros físico- químicos de muestra pozo

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,71
Turbidez	[FTU]	27,8
Conductividad Ω	[μ S]	350
Temperatura	$^{\circ}$ C	5
OD inicial	[mg/L]	14,95
OD final	[mg/L]	7,3
DQO	[mg/L]	60
DBO	[mg/L]	7,65
DBO/DQO		0,127
DQO/DBO		7,843
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	16
Sólidos Disueltos	[mg/L]	230
Alcalinidad total	[mg/L]	105,105
Cloruros	[mg /L]	35,5
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	3,920
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	2,10E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	2,20E-03
Sulfatos	[mg/L]	9,58
Nitratos	[mg/L]	42,152
Cu ²⁺	[mg/L]	0,427
Fe ³⁺	[mg/L]	0,757
Na ⁺	[mg/L]	151,4
Zn ²⁺	[mg/L]	0,033
K ⁺	[mg/L]	6,6
Cr ⁺	[mg/L]	0

Tabla 6.16 Parámetros físico- químicos muestra tanque de revisión

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,2
Turbidez	[FTU]	1670
Conductividad Ω	[μ S]	890
Temperatura	$^{\circ}$ C	80
OD inicial	[mg/L]	12,94
OD final	[mg/L]	7,74
DQO	[mg/L]	560
DBO	[mg/L]	5,2
DBO/DQO		0,009
DQO/DBO		107,69
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	10
Sólidos Disueltos	[mg/L]	580
		168,17
Alcalinidad total	[mg/L]	
Cloruros	[mg /L]	63,9
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	3,266
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	3,36E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	3,87E-03
Sulfatos	[mg/L]	5360
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,166
Fe ³⁺	[mg/L]	1,514
Na ⁺	[mg/L]	302,8
Zn ²⁺	[mg/L]	0,134
K ⁺	[mg/L]	26,8
Cr ³⁺	[mg/L]	0.013

Tabla 6.17 Parámetros físico- químicos Piscina de enfriamiento

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,25
Turbidez	[FTU]	527,20
Conductividad Ω	[μ S]	550
Temperatura	$^{\circ}$ C	50
OD inicial	[mg/L]	12,65
OD final	[mg/L]	3,27
DQO	[mg/L]	560
DBO	[mg/L]	9,38
DBO/DQO		0,017
DQO/DBO		59,70
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	6
Sólidos Disueltos	[mg/L]	370
Alcalinidad total	[mg/L]	157,66
Cloruros	[mg /L]	35,5
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	2,94
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	3,15E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	3,57E-03
Sulfatos	[mg/L]	2720
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,224
Fe ³⁺	[mg/L]	1,16
Na ⁺	[mg/L]	232
Zn ²⁺	[mg/L]	0,068
K ⁺	[mg/L]	13,6
Cr ³⁺	[mg/L]	0.024

Tabla 6.18 Parámetros físico- químicos muestra reservorio 2

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,21
Turbidez	[FTU]	425,58
Conductividad Ω	[μ S]	440
Temperatura	$^{\circ}$ C	15
OD inicial	[mg/L]	12,93
OD final	[mg/L]	3,5
DQO	[mg/L]	480
DBO	[mg/L]	9,43
DBO/DQO		0,01964
DQO/DBO		50,90
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	6
Sólidos Disueltos	[mg/L]	310
		147,15
Alcalinidad total	[mg/L]	
Cloruros	[mg /L]	35,5
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	3,51
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	2,94E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	3,37E-03
Sulfatos	[mg/L]	2240
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,197
Fe ³⁺	[mg/L]	1,189
Na ⁺	[mg/L]	237,8
Zn ²⁺	[mg/L]	0,056
K ⁺	[mg/L]	11,2
Cr ³⁺	[mg/L]	0.037

Tabla 6.19 Parámetros físico- químicos muestra reservorio 3

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,21
Turbidez	[FTU]	14,7
Conductividad Ω	[μ S]	160
Temperatura	$^{\circ}$ C	10
OD inicial	[mg/L]	15,78
OD final	[mg/L]	7,5
DQO	[mg/L]	140
DBO	[mg/L]	8,28
DBO/DQO		0,0591
DQO/DBO		16,91
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	6
Sólidos Disueltos	[mg/L]	120
Alcalinidad total	[mg/L]	84,084
Cloruros	[mg /L]	28,4
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	104,125
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	1,68E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	1,93E-03
Sulfatos	[mg/L]	9,28
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,214
Fe ³⁺	[mg/L]	0,456
Na ⁺	[mg/L]	91,2
Zn ²⁺	[mg/L]	0,052
K ⁺	[mg/L]	10,4
Cr ³⁺	[mg/L]	0.056

Tabla 6.20 Parámetros físico-químicos muestra alcantarillado

Parámetro	Unidades	Valor
pH		7,05
Turbidez	[FTU]	12,9
Conductividad Ω	[μ S]	160
Temperatura	$^{\circ}$ C	5
OD inicial	[mg/L]	12,93
OD final	[mg/L]	7,78
DQO	[mg/L]	40
DBO	[mg/L]	5,15
DBO/DQO		0,13
DQO/DBO		7,77
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	4
Sólidos Disueltos	[mg/L]	120
Alcalinidad total	[mg/L]	73,574
Cloruros	[mg /L]	28,4
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	113,863
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	1,47E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	1,78E-03
Sulfatos	[mg/L]	10,48
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,075
Fe ³⁺	[mg/L]	0,409
Na ⁺	[mg/L]	81,8
Zn ²⁺	[mg/L]	0,051
K ⁺	[mg/L]	10,2
Cr ³⁺	[mg/L]	0.060

Tabla 6.21 Parámetros físico- químicos muestra tanque de revisión

Parámetro	Unidades	Valor
pH		6,96
Turbidez	[FTU]	286
Conductividad Ω	[μ S]	440
Temperatura	$^{\circ}$ C	80
OD inicial	[mg/L]	12,75
OD final	[mg/L]	7,96
DQO	[mg/L]	340
DBO	[mg/L]	4,79
DBO/DQO		0,0141
DQO/DBO		70,981
Sustancias solubles en hexano	[mg /L]	12
Sólidos Disueltos	[mg/L]	300
Alcalinidad total	[mg/L]	157,6575
Cloruros	[mg /L]	42,6
Dureza CaCO ₃	[mg /L]	1,907
Carbonatos	[mg/L]	0
Bicarbonatos	[mg/L]	3,15E-03
Carbono Inorgánico	[mg/L]	3,98E-03
Sulfatos	[mg/L]	1360
Nitratos	[mg/L]	0
Cu ²⁺	[mg/L]	0,199
Fe ³⁺	[mg/L]	1,169
Na ⁺	[mg/L]	233,8
Zn ²⁺	[mg/L]	0,034
K ⁺	[mg/L]	6,8
Cr ³⁺	[mg/L]	0.0095

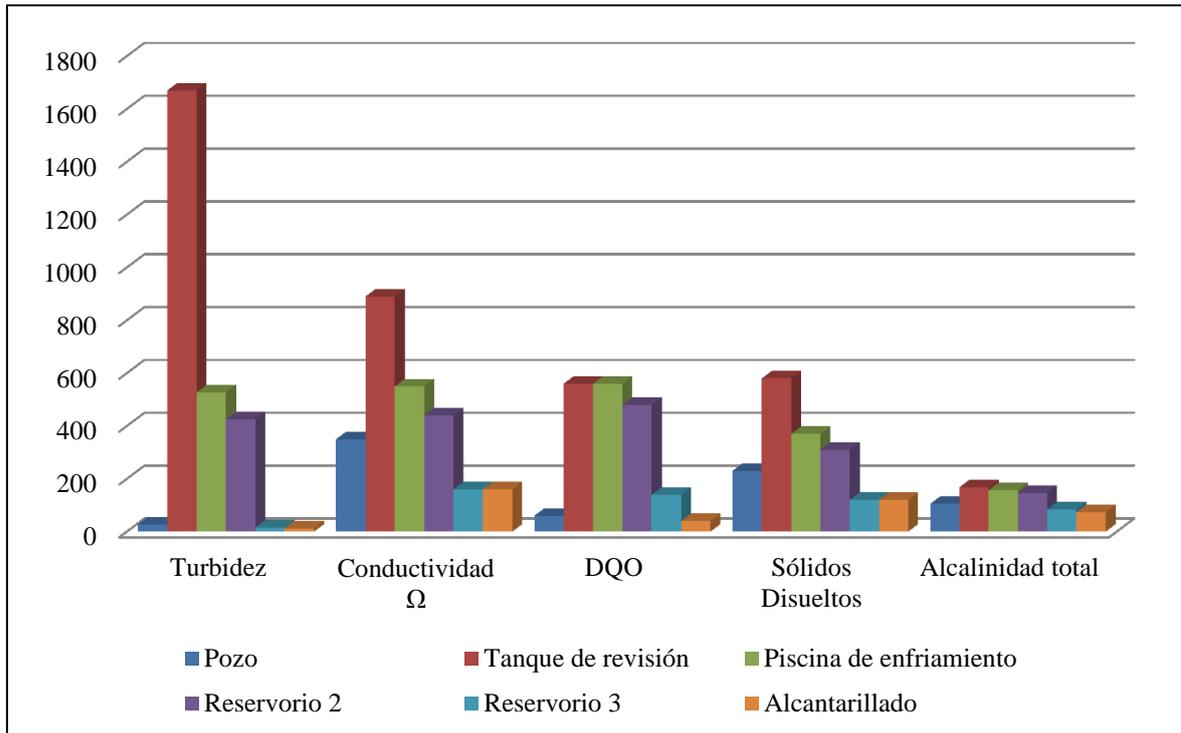


Figura 6.7: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado.

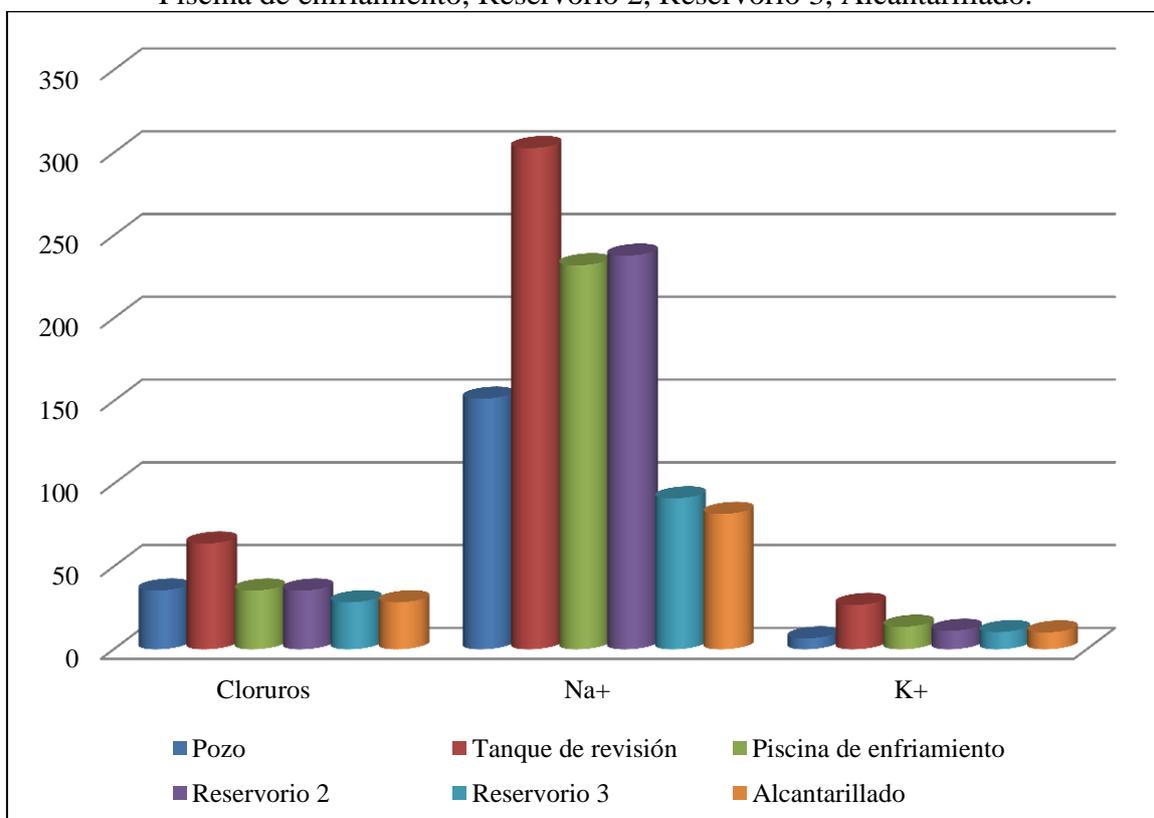


Figura 6.8: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado

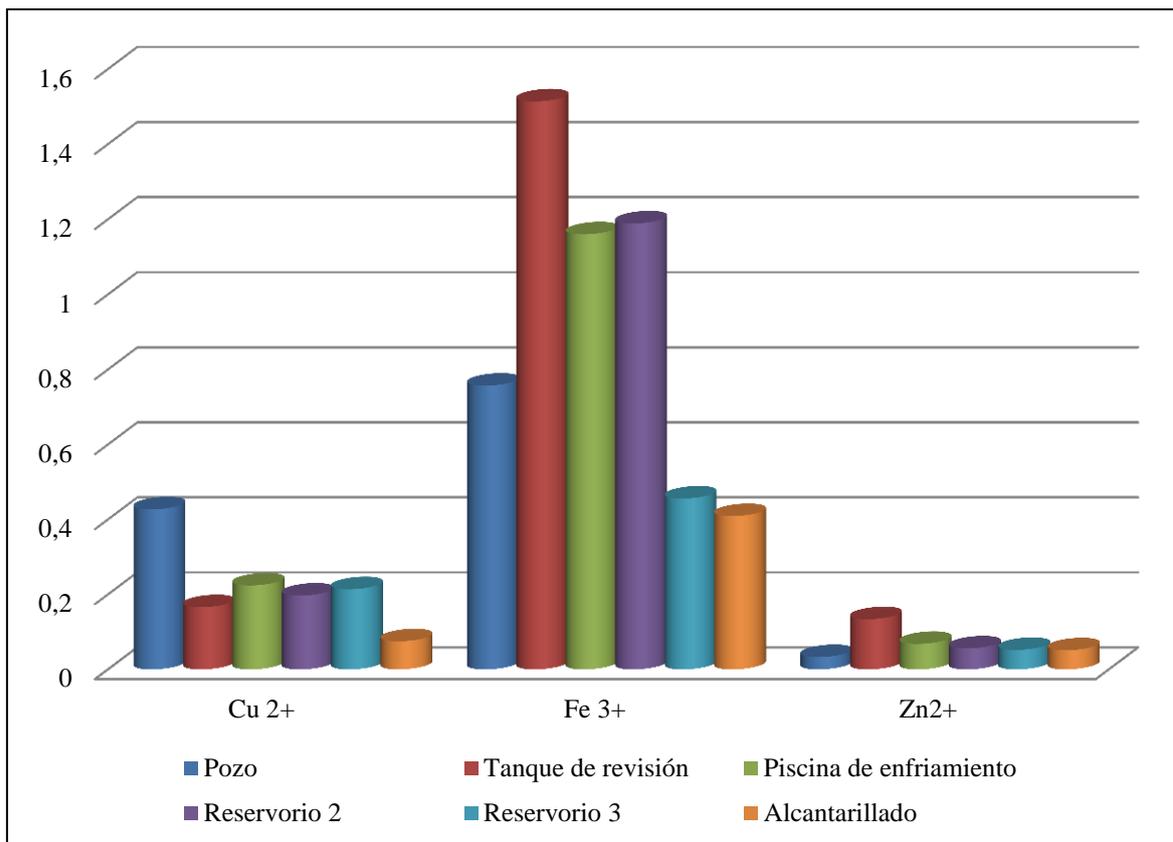


Figura 6.9: Variación de parámetros fisicoquímicos de muestra Pozo, Tanque de revisión, Piscina de enfriamiento, Reservorio 2, Reservorio 3, Alcantarillado

En las tablas 6.15 a 6.21 y en la figura 6.7, 6.8, 6.9 se pueden observar los parámetros físico-químicos que se analizaron con el objetivo de compararlos con los límites permisibles de efluentes de una industria textil en la Ordenanza Municipal de Quito N°31, dichos parámetros se encuentran dentro del rango de la ordenanza. Estas muestras fueron recogidas según la tabla 6.14, siendo la muestra del alcantarillado la principal.

Se puede observar que el pH del agua disminuye después de pasar por los tanques o piscinas de enfriamiento, y alcanza a un valor de pH neutro al llegar al alcantarillado. Por otro lado, los valores de conductividad del agua de pozo es baja en comparación a la muestra de la salida del Jet pues este tiene valores altos, sin embargo, al llegar al alcantarillado el valor de la conductividad alcanza el valor dentro del rango que es

permisible. El valor de la Demanda Química de Oxígeno en las muestra del agua de pozo tiene un valor de 40 mg/L, pero la descarga de la salida del Jet tiene valores altos de DQO, pero con el paso del agua por las piscinas, el valor de DQO tiene un valor de 40 mg/L, lo que representa un valor aceptable para los límites permisibles. Por otro lado, la Demanda de Biológica de Oxígeno en las muestras presenta un aumento después de la salida del Jet pero, la DBO se reduce hasta llegar al nivel del alcantarillado. En cuanto a la turbidez, se observa que este valor disminuye en gran proporción puesto que en el tanque de reposo aún tiene restos de colorante, sin embargo, en el tanque de enfriamiento reduce la cantidad de colorante y en consecuencia disminuye la turbidez. La cantidad de sólidos disueltos en las muestra de la salida del Jet es mayor en comparación con las muestras restantes, es decir, el valor de este parámetro va disminuyendo considerablemente hasta alcanzar un valor dentro de los límites permisibles. En cuanto a la alcalinidad del agua se puede observar que el agua entra y sale del Jet con un valor alto; sin embargo, al llegar al nivel del alcantarillado el valor de la alcalinidad es bajo y por ende permisible. La dureza del agua del agua de las dos muestras corresponden a agua suave puesto que tiene niveles bajos de CaCO_3 , y los niveles de dureza se disminuyen el paso del agua por desarenadores. Además, se puede comprobar que con el valor de pH de las muestras no existe presencia de carbonatos, pero si existe presencia de bicarbonatos. Por otro lado, la presencia de cloruros en el agua presenta una disminución con el paso por los desarenadores, lo que hace que el agua en el alcantarillado tenga un nivel de cloruros bajos que son aceptables según los límites.

En este análisis se realizó la detección de algunos metales pesados, los mismos que según las tablas 6.15 a 6.21 muestran que en todas las muestras el Sodio y el Potasio son metales que predominan en estas muestras por los aditivos que se añaden para el proceso de

tinturación, pero de la misma manera que los otros parámetros estos disminuyen al pasar por los desarenadores. En la tabla 6.20 de los parámetros del agua al nivel del alcantarillado muestra valores que son permitidos y aceptables para la ordenanza municipal. En la tabla 6.21, de los parámetros del agua en el lavado del Jet, se muestra que la cantidad de metales Sodio y Potasio son grandes, esto se debe al jabón que se agrega al lavar el Jet.

7 Resultados y Discusión de Resultados sobre el Análisis de Jarras

7.1 Análisis para la adición de coagulante

Tabla 7.1 Concentración de coagulante de Sulfato de Aluminio

Concentración del coagulante Sulfato de Al					
		g	L	g/L	mg/L
Cs	Concentración del coagulante	0,333	0,1	3,33	3330

Tabla 7.2 Volumen usado para la floculación

Abreviatura	Volumen	Cantidad	Unidades
Vj	Volumen de agua en jarra	1000	mL
Vji	Volumen de coagulante en jarra blanco	0	mL
Vj1	Volumen de coagulante en jarra 2	6	mL
Vj2	Volumen de coagulante en jarra 3	9	mL
Vj3	Volumen de coagulante en jarra 4	12	mL
Vj4	Volumen de coagulante en jarra 5	15	mL

Tabla 7.3 Concentración de floculante en cada jarra

Abreviatura	Concentración	Cantidad	Unidad
Cji	Concentración de coagulante en jarra blanco	0	mg/L
Cj1	Concentración de coagulante en jarra 1	19,98	mg/L
Cj2	Concentración de coagulante en jarra 2	29,97	mg/L
Cj3	Concentración de coagulante en jarra 3	39,96	mg/L
Cj4	Concentración de coagulante en jarra 4	49,95	mg/L

En la tabla 7.3 se puede observar la concentración del coagulante de sulfato de aluminio que se añadió a cada jarra, este valor se determinó según el volumen de sulfato de aluminio que se introdujo en cada vaso.

Tabla 7.4 Medición de pH

Jarra	Volumen de sulfato de aluminio [mL]	pH
i	0	7,1
1	6	6,9
2	9	6,85
3	12	6,8
4	15	6,85

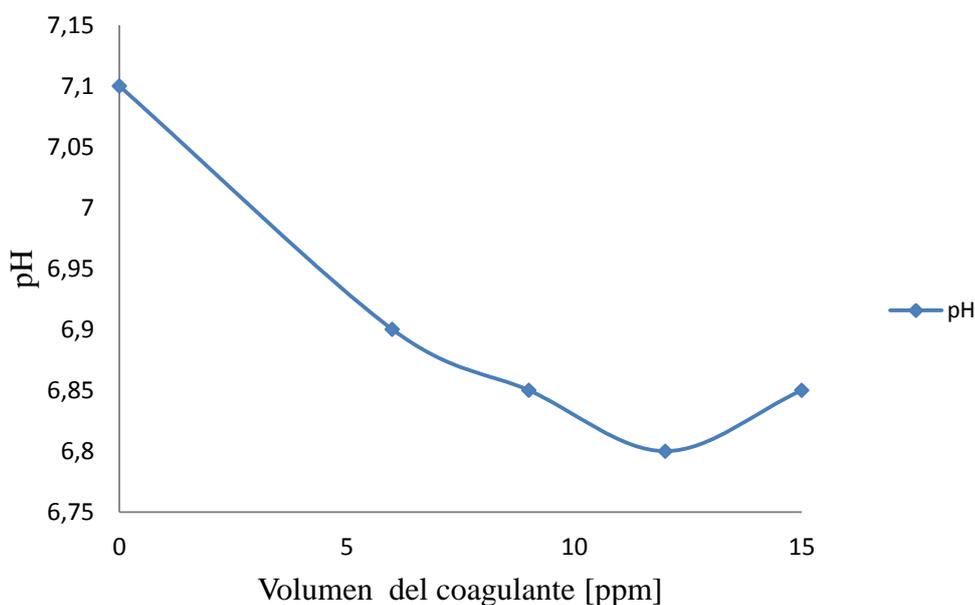


Figura 7.1: Variación de pH con la adición de diferentes cantidades de coagulante

Según la tabla 7.3 y la figura 7.1 se muestra la variación del pH con la adición del coagulante en la jarras. Se puede observar que el pH disminuye ya que empieza en 7.1 pero se reduce su valor y luego aumenta; sin embargo, este cambio no es drástico puesto que el pH de las muestras no se encuentra fuera del rango permitido por la ordenanza municipal. En este caso, los valores importantes que radican en este análisis de pH son aquellos que con 12 mL de sulfato de aluminio el pH es de 6.8, y posteriormente con 15 mL de sulfato de aluminio el pH nuevamente aumenta a 6.85, es decir, que con este último valor de volumen de sulfato de aluminio el pH empieza a variar de diferente manera.

Tabla 7.5 Sólidos disueltos totales en cada jarra

Jarra	Volumen de sulfato de aluminio [mL]	Sólidos Disueltos totales [mg/L]
i	0	210
1	6	270
2	9	260
3	12	260
4	15	260

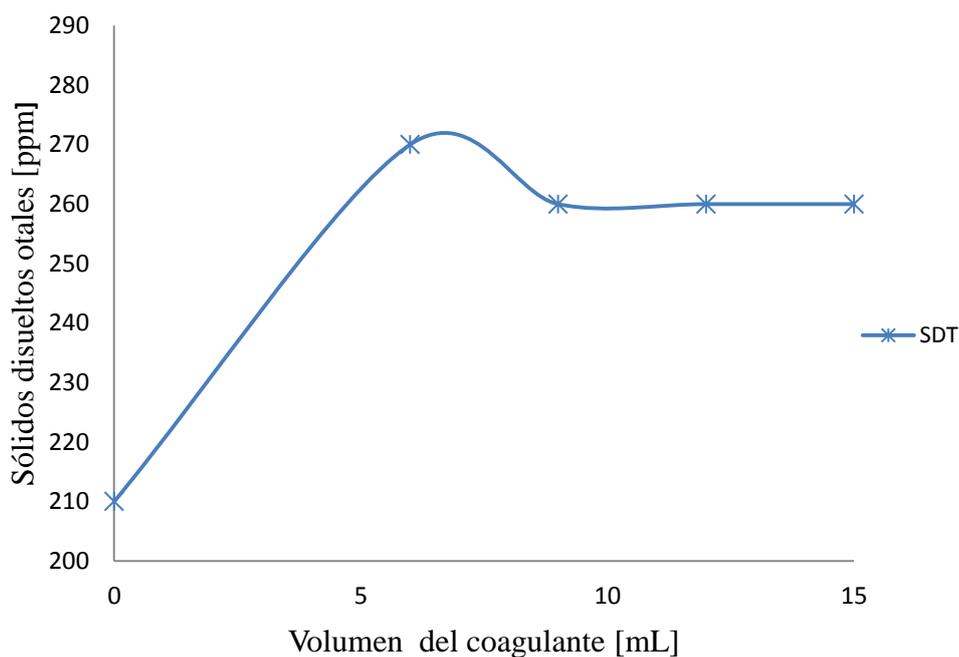


Figura 7.2: Variación de Sólidos Disueltos Totales con la adición de diferentes cantidades de coagulante

Según la tabla 7.5 y la figura 7.2 se muestra la concentración de Sólidos Disueltos según la adición de diferentes cantidades de volumen de sulfato de aluminio. En este caso, se observa que hay un aumento de sólidos disueltos con 6 mL de sulfato de aluminio, sin embargo al añadir mayor cantidad de volumen disminuye en pequeña proporción. Posteriormente, la cantidad de sólidos totales se estabilizan con 9 mL de sulfato de aluminio, es decir al añadir mayor volumen del coagulante, la concentración de sólidos totales no representan un cambio.

Tabla 7.6 Conductividad en cada jarra

Jarra	Volumen de sulfato de aluminio [mL]	Conductividad [μ S]
i	0	380
1	6	380
2	9	390
3	12	390
4	15	390

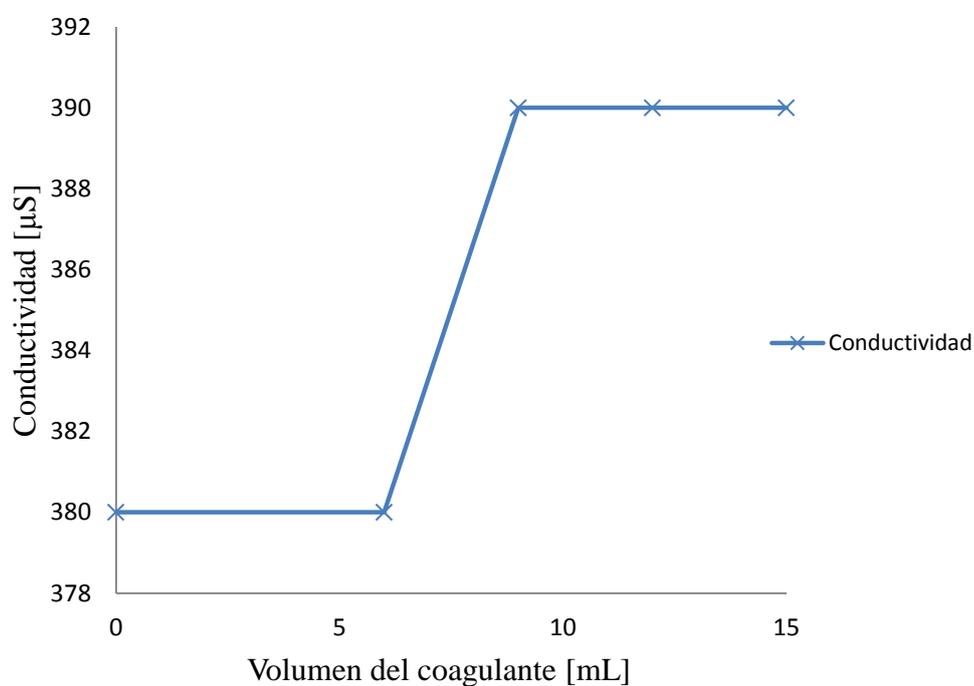


Figura 7.3: Variación de Conductividad con la adición de diferentes cantidades de coagulante

Según la tabla 7.6 y la figura 7.3, la conductividad aumenta con la introducción del coagulante, sin embargo, desde la jarra en la que se añadió 9 mL de sulfato de aluminio se estabiliza la conductividad, es decir con una concentración de 30 mg/L de sulfato de aluminio la conductividad está dentro de los rangos permisibles por la ordenanza municipal. Consecuentemente, como con la conductividad se puede saber de manera

indirecta la cantidad la cantidad de iones en solución como son: cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio. Por ende, con 9 mL de sulfato de aluminio estos iones no representan un cambio en la muestras de agua.

Tabla 7.7 Turbidez en cada jarra

Jarra	Volumen de sulfato de aluminio [mL]	% Transmitancia	Turbidez [FTU]
i	0	96	9,4
1	6	98	7,8
2	9	100	6,2
3	12	99	7
4	15	99	7

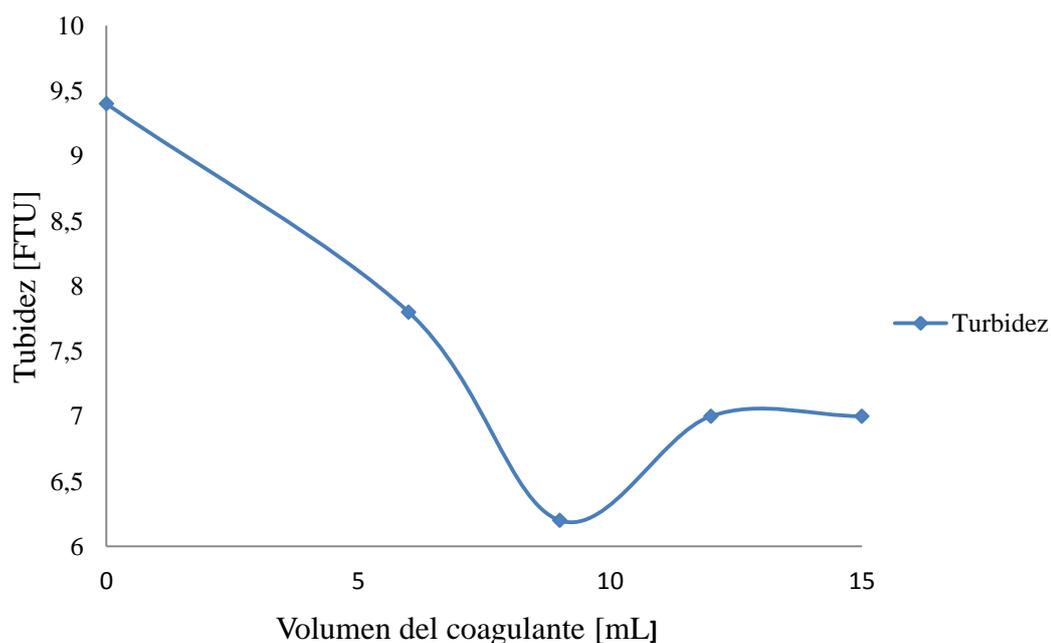


Figura 7.4: Variación de Turbidez con la adición de diferentes cantidades de coagulante

Según la tabla 7.7 y la figura 7.4, la turbidez del agua con la introducción de diferentes cantidades de volumen de sulfato de aluminio, en este caso se puede observar que la turbidez disminuye con 6 mL y 9 mL de sulfato de aluminio, sin embargo con 12 mL del coagulante la turbidez aumenta y luego la turbidez no se ve afectada con el coagulante y no

representa cambio alguno. Por lo tanto, el agua posee más transparencia con 9 mL de coagulante, es decir hay mayor formación de flóculos.

Tabla 7.8 Determinación de Eficiencia y Porcentaje de Remoción de la Turbidez con el coagulante

Jarra	Volumen de sulfato de aluminio [mL]	Eficiencia	% Remoción
i	0	0	0
1	6	0,170	17,02
2	9	0,340	34,04
3	12	0,255	25,53
4	15	0,255	25,53

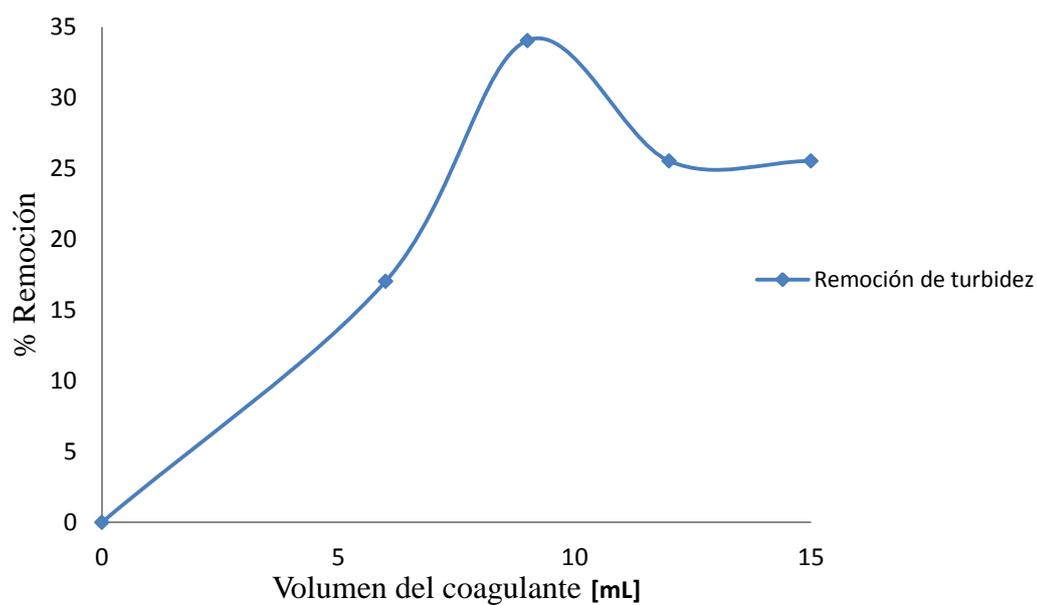


Figura 7.5: Porcentaje de remoción con la adición de diferentes cantidades de coagulante

En la tabla 7.8 y la figura 7.5 se puede observar el porcentaje de remoción de turbidez en las muestras de agua según la adición de diferentes cantidades de volumen del coagulante. Se observa que la remoción va aumentando hasta llegar a los 9 mL de sulfato de aluminio, pero posteriormente el porcentaje remoción disminuye. En consecuencia, la cantidad de dosis que se debería aplicar en la coagulación debe ser de 9 mL ya que con esta cantidad de volumen el porcentaje de remoción es del 34% en comparación con las otras cantidades de coagulante.

Con los resultados obtenidos se puede calcular el volumen de coagulante que se debe añadir a la cisterna con una capacidad de 19.8 m^3 para tratar el agua que se introduce al Jet. Por lo tanto:

$$\frac{9\text{mL de Al}_2(\text{SO}_4)_3}{600\text{mL de agua}} \times (19.8 \times 10^6\text{mL de agua}) = 297000\text{mL Al}_2(\text{SO}_4)_3 = 297\text{L Al}_2(\text{SO}_4)_3$$

8 Conclusiones y Recomendaciones

- Se analizó y evaluó la disposición de los residuos líquidos que se generan en los procesos productivos de la industria Mallatex.
- Se estudió y analizó la implementación del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales aplicado en la industria textil.
- Se realizaron análisis fisicoquímicos del agua tanto a la salida del Jet como en todo el tratamiento hasta la descarga del agua en el alcantarillado.
- Esta remoción de los parámetros fisicoquímicos se comparó con la ordenanza municipal, por lo tanto, se concluye que el agua descargada por la empresa cumple con los rangos que exige la Ley Municipal.
- Con los análisis realizados de las aguas residuales se comprobó la remoción de color, carga de sólidos suspendidos, carga de DBO, DQO, turbidez, pH, alcalinidad, dureza, cloruros, presencia de metales, entre otros.
- En los tres análisis de agua que se realizaron los parámetros fisicoquímicos que tienen valores altos son la conductividad, DQO, Sólidos Totales; sin embargo, al comparar estos valores con la ordenanza municipal, estos no sobrepasan el límite permisible de la descarga de residuos líquidos.
- Por otra parte, se analizó el agua que ingresa al Jet puesto que se necesita de condiciones óptimas de la misma para que no afecte al proceso de tinturación de tela, es decir para que al final del proceso de tinturación la tela tenga el color exacto que se quiso obtener.
- Se determinó que la cantidad de dosis que se debe aplicar en la coagulación debe ser de 9 mL ya que con esta cantidad de volumen el porcentaje de remoción de turbidez es del 34% en comparación con las otras cantidades de coagulante. Por lo tanto, se debe agregar 297L sulfato de aluminio a la cisterna.

- El estudio realizado sobre el seguimiento de los parámetros físicoquímicos del agua determina la reutilización del agua residual, es decir, que se recomienda el reciclaje apto del efluente final de agua para el proceso de tinturación.
- Se concluye que la empresa Mallatex puede iniciar las actividades en la tintorería de tejidos de punto puesto que, con los análisis físicoquímicos de agua realizados cumplen con las exigencias del Municipio de Quito. Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales que se encuentra aplicado en esta industria textil se confirma que es apropiado.
- Se recomienda colocar mallas en el inicio y final de las tuberías en cada reservorio del tratamiento de agua con el objetivo de reducir los restos del colorante en la descarga final del agua. Esto puede facilitar la remoción de los excesos de colorante en el agua.
- Se debe tomar en cuenta la limpieza y mantenimiento que se debe dar a cada reservorio o cisterna, pues una gran acumulación de lodos podría afectar a la circulación normal del agua en el proceso de tratamiento. Por ende, se debe planificar la limpieza diaria o semanal de los reservorios.
- Un proyecto adicional que se recomienda en esta investigación es realizar un tratamiento de desechos sólidos, es decir, los lodos que se asientan en los diferentes reservorios de la planta de tratamiento de aguas.
- Se sugiere realizar un tratamiento biológico de los desechos sólidos para que el resto de colorante que queda como residuo no actúe como otro generador de contaminación.
- Otra opción para el tratamiento de los desechos sólidos puede ser transformar los lodos en bloques de hormigón, y estos se ocupan para las construcciones de edificaciones.

- Adicionalmente, con los lodos se puede extraer toda la materia orgánica de los restos del colorante y verificar si la misma puede servir como abono para la agricultura.

9 Bibliografía

1. **Li F., Wichmann K., Otterpolhl R.** *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses.* Barcelona : Science of Total Environment, 2009. 407, 3439-3449..
2. **Chamarro E., Marco A.** *Use of Fenton reagent to improve organic.* s.l. : Esplugas S, 2001.
3. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. *DIRECCION METROPOLITANA DE MEDIOAMBIENTE.* [En línea] 03 de Enero de 2012. [Citado el: 17 de Octubre de 2012.] <http://cae.org.ec/ordenanzas/Q14.pdf>.
4. *Biodegradation of the Reactive and Direct Dyes Using Egyptian Isolates.,* : 599-606. **Husseiny, S.** 6, s.l. : Journal of Applied Sciences Research, 2008, Vol. 4. 599-606..
5. **Romero, Jairo.** “*Tratamiento de Aguas residuales. Teoría y principios de diseño*”. Bogotá : Centro Editorial, 1999. pág 346-386.
6. **Sans Fonfría, Ramón y Joan de Pablo Ribas.** *Ingeniería ambiental : contaminación y tratamientos.* Barcelona : Marcombo S.A, 2000.
7. **Aristizabal, Adriana y Bermúdez Catalina.** *Estudio de la factibilidad de un sistema de electrocoagulación para tratamiento de aguas procedentes de lavanderías, Industriales con fines de reuso.* Medellín : s.n., 2007.
8. **J. Glynn Henry, Gary W. Heinke.** *Ingeniería Ambiental.* . México : Pearson Education, 1996. Pp 492.
9. **Jimenez, Blanca.** “*La contaminación ambiental en México*”. México : Limusa Editorial, 2005. pág. 220.
10. **Rigols, Lapeña Miguel.** “*Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*”. España : Productica, 1998. pág. 220-260.
11. **Aznar Jiménez, Antonio.** *Determinación de los parámetros fisico-químicos de calidad de las aguas.* ”. s.l. : Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba, 2001. pág 269.
12. **R, Rodríguez J. y Marin.** *Fisicoquímica del Aguas.* Madrid : Díaz Santo, 1999.
13. **Manahan, Stanley.** *Introducción a la Química Ambienta* . 1999 : Reverte Ediciones México, México. Pp 392.
14. **Association, American Water Works.** “*Calidad y tratamiento del agua*”. España : Mc. Graw Hill, 2002. Pp 59.

15. Auxiliares textiles. [En línea] 12 de 08 de 2012. http://www.textilespanamericanos.com/Articles/2006/Marzo/Articles/Concentrandose_en_Concentrados.htm.
16. Auxiliares textiles. [En línea] 03 de 02 de 2011. [Citado el: 09 de 08 de 2012.] http://www.textilespanamericanos.com/Articles/2006/Marzo/Articles/Concentrandose_en_Concentrados.html.
17. Parámetros de agua residuales : físico químicos. . [En línea] 05 de 12 de 2010. [Citado el: 15 de 02 de 2012.] <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-tds.pdf>.
18. **V. B. Gupta, V. K. Kothari.** *Manufactured Fibre Technology*. Londres: : Chapman and Hall, 1997. Pág 76.
19. *Aplicaciones del Manual Media a sectores industriales.* . s.l. : Sector Textil. EOI EMGRISA, 1998.
20. *Environmental Pollution and impacts on Public Health Report Summary*.
21. Informe Técnico Sobre Minimización De Residuos En La Industrial Textil. <<http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/gtz/minitext/mtexcap3.html#efluen>>. [En línea] Publicaciones., 12 de 06 de 2011. [Citado el: 15 de 02 de 2012.] <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/gtz/minitext/mtexcap3.html#efluen>.
22. **Reger, Daniel L., Scott R. Goode and David W. Bal.** *Chemistry: Principles and Practice*. Cengage Learning : Canadá, 2009. Pp 481.
23. **EDDY, METCALF &.** *Ingeniería de aguas residuales.* . s.l. : Mc Graw Hill. 3ª Edición, 1995.
24. *Environmental Chemistry.* **Bunce, Nigel, J.** s.l. : University of Guelph. 2nd. Edition.
25. **Llive, Mario.** *Mallatex*.
26. **Nelson, Morales.** *Guía del Textil en el Acabado I.* Pág.161.
27. **Marte, Ada Barrenechea.** *Manual Teoría Química Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua capítulo 1.*
28. **Reyes, Marco.** s.l. : Requitex.
29. **Luna, Mabel.** *Productos auxiliares.* . s.l. : Universidad Nacional del Callao. Facultad de Ingeniería Química. Química Textil .
30. *Productos auxiliares.* **Luna, Mabel.** Callao : Universidad Nacional del Callao. , 1999, Vol. Facultad de Ingeniería Química. Química Textil .
31. **Aguado, Alonso.** *Tratamientos actuales en la eliminación de nitratos.* . 2009 . Pp 567.

32. **Orejuela, Lourdes.** Manual de Química Ambiental. *Determinación de DQO*. Quito : s.n., 2010.
33. —. Manual de Química Ambiental. *Determinación de DBO*. Quito : s.n., 2010.
34. *Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas.* **Aznar Jiménez, Antonio.** s.l. : Instituto Tecnológico de Química y Materiales “Álvaro Alonso Barba” Universidad Carlos III.
35. **Glenn H. Brown, Eugene M. Sallee.** *Química Cuantitativa*. Barcelona : Reverté, 2002.
36. **MOTTE, La.** *Análisis de Agua*. 2000.
37. **Skoog, Douglas, West, M.Donald, Holler, James, F.** *Química analítica*. s.l. : McGraw-Hill, 2005. Pp 356.
38. **E. Solano Oria, E. Pérez Pardo, E. Pérez Pardo, E. Solano Oria, F. Tomás Alonso.** *Prácticas de Laboratorio de Química Orgánica. Determinación de sustancias solubles en hexano*. Murcia : s.n., 1991.

10 Anexos

Anexo 1

Ordenanza Municipal descarga de agua



Ordenanza N° 031

ORDENANZA METROPOLITANA

EL CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO

Visto el informe de la Comisión de Medio Ambiente, Higiene y Riesgos Naturales IC-2000-231 de 30 de marzo del 2000; y

según la disposición general séptima de la Ordenanza Metropolitana Substitutiva del Capítulo III para "La prevención y control de la contaminación producida por las descargas líquidas y las emisiones al aire de fuentes fijas", del Título V, del Libro Segundo del Código Municipal para el Distrito Metropolitano, luego de la revisión y análisis de los estudios sectoriales,

EXPIDE

EL ANEXO QUE CONTIENE LOS VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE LOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN Y PARÁMETROS DE INTERÉS SANITARIO PARA DESCARGAS LÍQUIDAS Y VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA EMISIONES A LA ATMOSFERA; COMO PARTE SUSTANTIVA DE LA ORDENANZA METROPOLITANA SUBSTITUTIVA DEL CAPÍTULO III, DEL TÍTULO V, DEL LIBRO SEGUNDO DEL CÓDIGO MUNICIPAL

Art. 1.- Las normas de calidad en lo referente a los indicadores de contaminación se regirán por los siguientes valores máximos permisibles:

1.- Para todos los sectores productivos, exceptuando al sector textil y al sector de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecaría

TABLA 1.1

Parámetro	Expresado Como	Valor Máximo Permisible Al Alcantarillado Público	Valor Máximo Permisible a un Cauce de Agua
Potencial Hidrógeno	pH	5-9	5-9
Temperatura	°C	40	35
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	10
Materia Flotante	no aplicable	no aplicable	Ausencia
Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	50	no aplicable
Grasas y Aceites	mg/l	no aplicable	50
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg/l	250	200
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	500	350
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	150



Ordenanza N° 031

ORDENANZA METROPOLITANA

Caudal ^(a)	l/s	4,5	4,5
-----------------------	-----	-----	-----

(a) Dato referencial para la valoración de las sanciones por contaminación

1.2 Para el sector textil

1.2-A) Sub-sector algodonero, fibras artificiales y sintéticas

Tabla 1.2-A)

Parámetro	Expresado Como	Valor Máximo Permisible al Alcantarillado Público	Valor Máximo Permisible a un Cauce de Agua
Potencial Hidrógeno	pH	5-9	5-9
Temperatura	°C	40	35
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	10
Material Flotante	no aplicable	no aplicable	Ausencia
Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	50	no aplicable
Grasas y Aceites	mg/l	no aplicable	50
Demanda Bioquímica De Oxígeno, DBO ₅	mg/l	250	250
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	900	900
Sólidos Suspendedos	mg/l	200	200
Caudal ^(a)	l/kg-producción	200	200

(a) Dato referencial para la valoración de las sanciones por contaminación

1.2-B) Sub-sector lanero (tintorería de lana)

Tabla 1.2-B)

Parámetro	Expresado Como	Valor Máximo Permisible al Alcantarillado Público	Valor Máximo Permisible a un Cauce de Agua
Potencial Hidrógeno	pH	5-9	5-9
Temperatura	°C	40	35
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	10
Material Flotante	no aplicable	No aplicable	Ausencia
Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	50	no aplicable
Grasas y Aceites	mg/l	No aplicable	50
Demanda Bioquímica De Oxígeno, DBO ₅	mg/l	250	250



Ordenanza N° 031

ORDENANZA METROPOLITANA

Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	900	900
Sólidos Suspendidos	mg/l	200	200
Caudal ^(a)	l/kg-producción	540	540

(a) Dato referencial para la valoración de las sanciones por contaminación

En el plazo de dos (2) años, contados a partir de la aprobación del presente anexo a la Ordenanza Metropolitana Substitutiva del Cap. III, del Título V, del Libro Segundo del Código Municipal, todos los establecimientos relacionados con los dos sub-sectores textiles deberán alcanzar una reducción del treinta por ciento (30%) del caudal detallado en las tablas respectivas. En el mismo plazo, la relación DQO/DBO₅ será de 3/1. Los valores correspondientes a estos criterios se encuentran expresados en los cuadros detallados en el numeral 2.2 de este anexo

Excepciones

- No se aplicarán los valores máximos permisibles detallados en las tablas 1.2-A) y 1.2-B), especialmente en lo referente al caudal, si el establecimiento textil involucrado *no presenta* a la unidad administrativa a cargo del medio ambiente, el valor de producción anual y el número de días laborables al año, debidamente notariado; en dicho caso se aplicarán las normas de carácter general, detalladas en la tabla 1.1)
- Aquellos establecimientos que simultáneamente realicen actividades de lavado y tinturado de lana deberán separar dichas descargas líquidas y caracterizar físico-químicamente cada una de ellas para la aplicación de las respectivas normas. Esta actividad deberá cumplirse en un plazo de noventa (90) días, contados a partir de la aprobación de este anexo.

1.3 Sector de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecería

TABLA 1.3

Parámetro	Expresado Como	Valor Máximo Permisible al Alcantarillado Público	Valor Máximo Permisible a un Cauce de Agua
Potencial Hidrógeno	pH	5-9	5-9
Temperatura	°C	40	35
Sólidos Sedimentables	ml/l	10	10
Material Flotante	no aplicable	no aplicable	Ausencia
Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	50	no aplicable
Grasas y Aceites	mg/l	no aplicable	50
Demanda Bioquímica De Oxígeno, DBO ₅	mg/l	375	350
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg/l	750	675

Anexo 2

Cálculo de la capacidad de cada reservorio de Tratamiento de Agua Residuales

Pozo

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi(26m) \left(\frac{6}{2} \text{ pulg} \times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ pulg}} \right)^2$$

$$V = 0.474m^3$$

Saca lodos

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.45m)(0.45m)(0.70m)$$

$$V = 0.142m^3$$

Cisterna

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (6.00m)(2.00m)(1.65m)$$

$$V = 19.80m^3$$

Reservorio de agua del caldero

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (6.00m)(2.50m)(2.00m)$$

$$V = 30m^3$$

Tanque de revisión

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.98m)(0.50m)(0.60m)$$

$$V = 0.294m^3$$

Piscina de enfriamiento

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (4.00m)(1.38m)(0.58m)$$

$$V = 3.20m^3$$

Canal

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (5.80m)(0.30m)(0.70m)$$

$$V = 1.22m^3$$

Desarenador 1

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.71m)(0.66m)(1.40m)$$

$$V = 0.66m^3$$

Desarenador 2

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.71m)(0.66m)(1.45m)$$

$$V = 0.68m^3$$

Piscina

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.71m)(0.66m)(2.10m)$$

$$V = 0.98 m^3$$

Reservorio 2

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (1.00m)(1.36m)(0.70m)$$

$$V = 0.95 \text{ m}^3$$

Reservorio 3

$$V = l \times a \times p$$

$$V = (0.70\text{m})(0.70\text{m})(1.20\text{m})$$

$$V = 0.59 \text{ m}^3$$

Anexo 3

Curvas de Calibración para detección de metales en el agua

Tabla A. 1: Datos para la Curva de Calibración de Calcio

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
1	0,087707
2	0,234162
3	0,349374
4	0,450078
5	0,501516

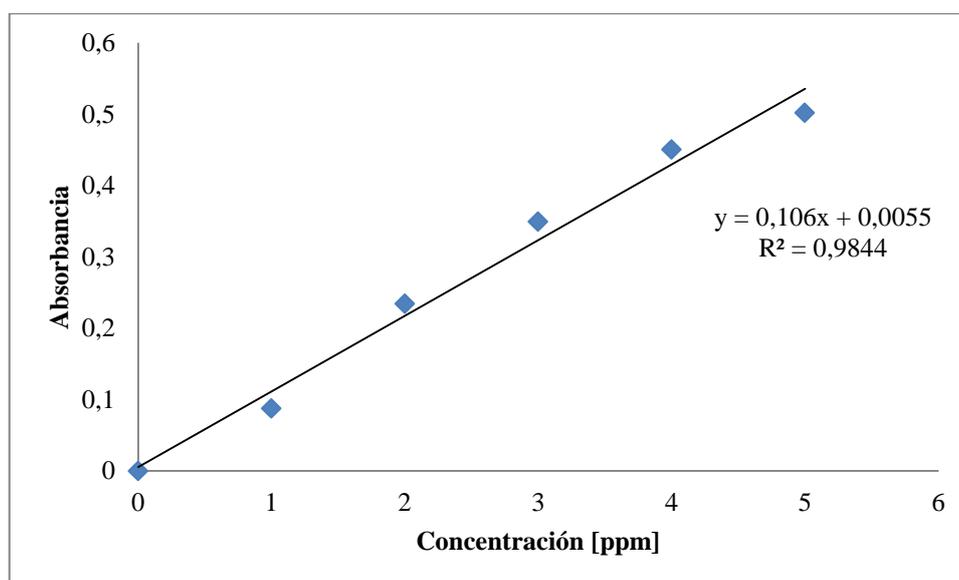


Figura A. 1: Curva de Calibración de Calcio

Tabla A. 2: Datos para la Curva de Calibración de Cobre

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
1	0,0077
2	0,0154
3	0,0224
4	0,0292
5	0,0366
6	0,043

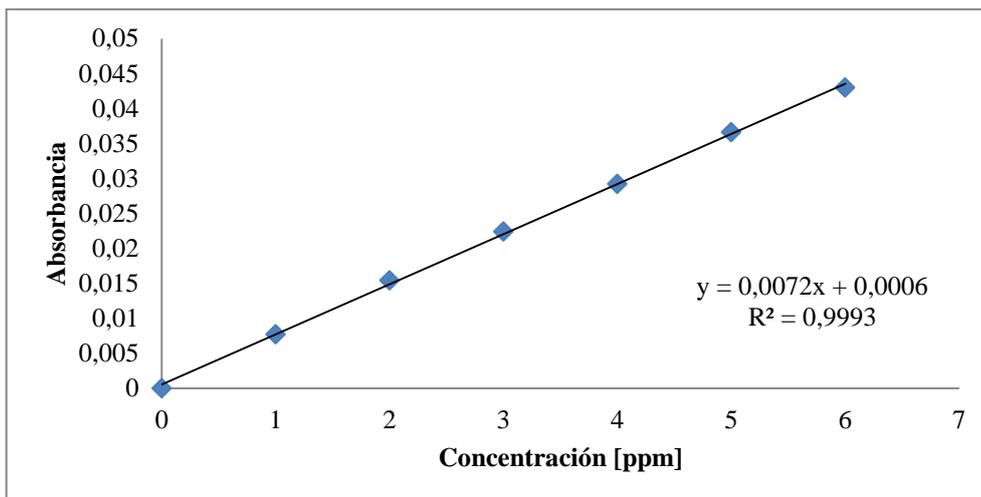


Figura A. 2: Curva de Calibración de Cobre

Tabla A. 3: Datos para la Curva de Calibración de Cromo

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
1	0,0011
2	0,0025
4	0,0041
6	0,0062
8	0,0079
10	0,0103

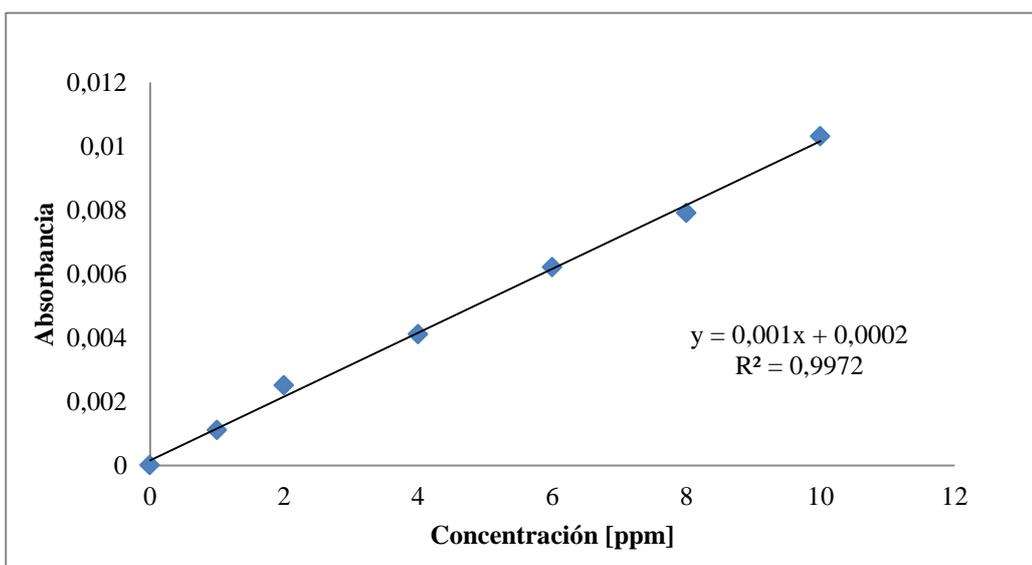


Figura A. 3: Curva de Calibración de Cromo

Tabla A. Tabla A. 4: Datos para la Curva de Calibración de Potasio

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
0,6	0,087707
1,2	0,234162
1,8	0,349374
2,4	0,450078
3	0,501516

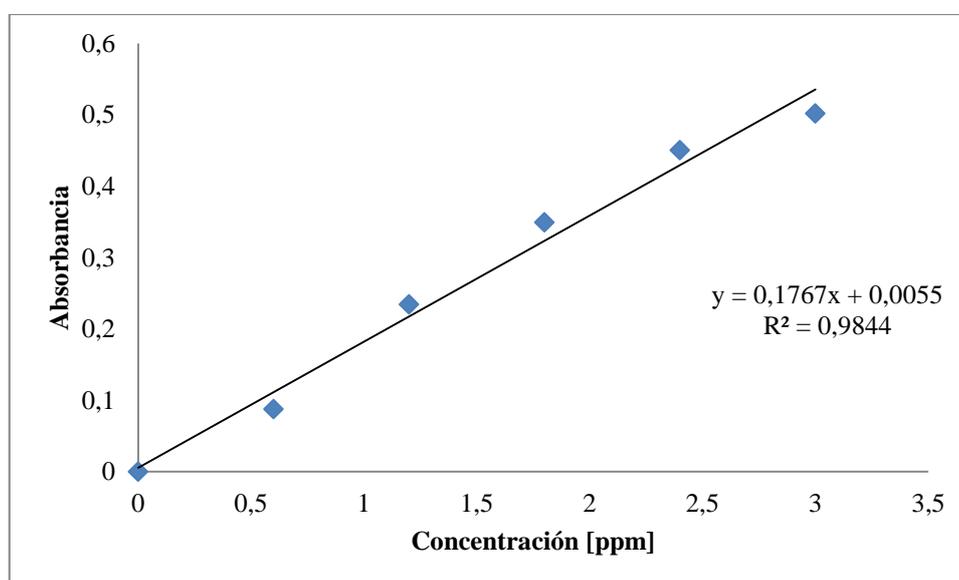


Figura A. 4: Curva de Calibración de Potasio

Tabla A. 5: Datos para la Curva de Calibración de Sodio

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
1	0,729
0,7	0,42
0,5	0,304
0,3	0,225
0,1	0,052

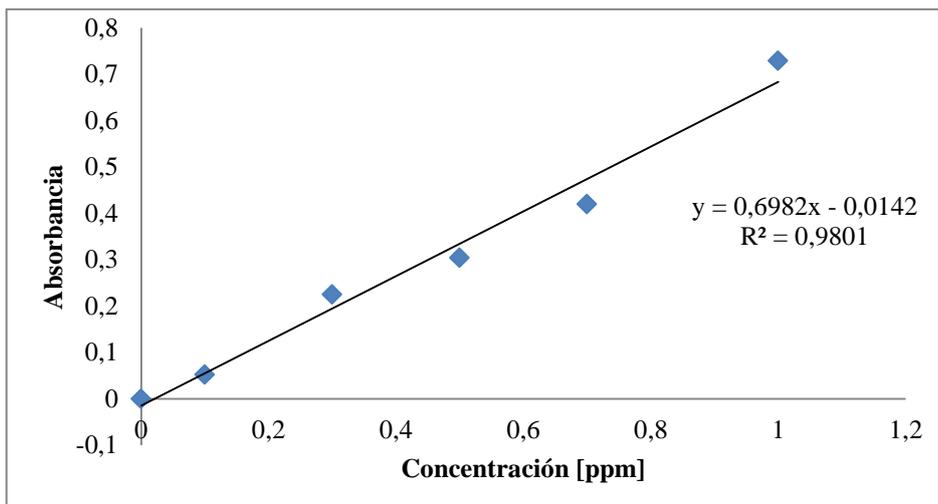


Figura A. 5: Curva de Calibración de Sodio

Tabla A. 6: Datos para la Curva de Calibración de Zinc

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0
0,25	0,0323
0,5	0,0625
0,75	0,0928
1	0,1241
1,25	0,154
1,5	0,1856

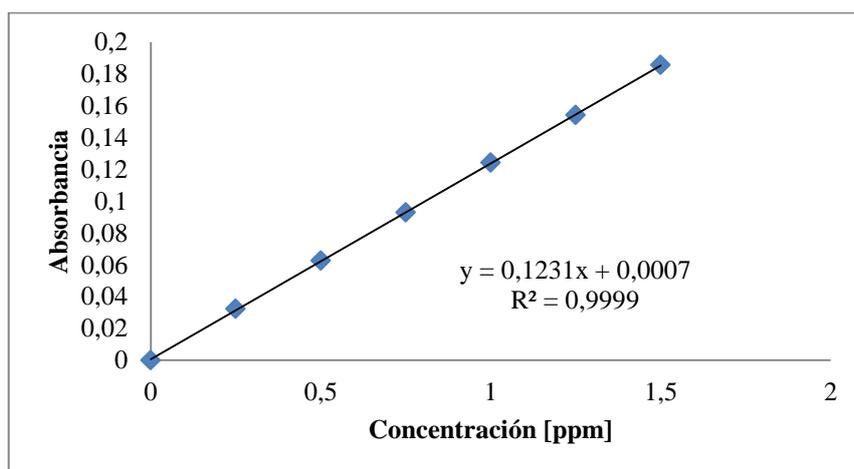


Figura A. 6: Curva de Calibración de Zinc

Anexo 4

Layout de la Planta de Tratamiento de aguas residuales “Mallatex”