



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA
RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL
CANTÓN GUANO”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de:
INGENIERA QUÍMICA**

AUTORA: KARINA ELIZABETH RAMOS GUAMBO

TUTORA: ING.MABEL PARADA

Riobamba- Ecuador

2017

©2017, Karina Elizabeth Ramos Guambo

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que el trabajo de investigación “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO**”, de responsabilidad de la señorita Karina Elizabeth Ramos Guambo, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Mabel Parada DIRECTORA
Ing. Marco Chuiza MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Karina Elizabeth Ramos Guambo, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 6 de Abril del 2017

060391330-2

Karina Elizabeth Ramos Guambo

“Yo, KARINA ELIZABETH RAMOS GUAMBO soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en éste trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

DEDICATORIA

Hijo, posiblemente en este momento no entiendas mis palabras pero cuando pasen los años y seas capaz de comprenderlas quiero que sepas lo importante que eres para mí, eres la fuente de motivación e inspiración más grande que tengo para perseverar y cumplir mis sueños.

Como toda mi vida y aún más mis logros esto te lo dedico a ti Emiliano Daniel Torres Ramos.

Karina Elizabeth Ramos Guambo

AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor hacia mí no tienen fin, gracias por permitirme sonreír ante mis logros que son el resultado de tu infinita bondad, tú creador de todas las cosas me has dado fortaleza para continuar y siempre has creído en mí por eso con toda la humildad que puede poseer mi corazón es a ti a quien agradezco primeramente mi trabajo de titulación.

A mi madre Luisa Guambo, por la vida, el amor, la presencia y esencia de tu ser para ayudarme a crecer, por la inmensidad de tu corazón y por todo el esfuerzo gracias mamita.

A mi tía Rosario Guambo, por ser como una madre para mí que desde niña me ha llenado de amor sincero.

A mis hermanos Verónica, César, Patricio, Jéssica y Bryan por toda la felicidad que aportan en mí vida.

A mi esposo Santiago Torres, por tu paciencia y comprensión, hoy hemos alcanzado un triunfo más porque los dos somos uno y mis logros son tuyos, saber que nos tenemos el uno al otro fortalece mi alma y mi corazón.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

A mi tutora Ing. Mabel Parada y colaborador Ing. Marco Chuiza, por sus conocimientos, orientaciones, paciencia y motivación que han sido fundamentales para la culminación de este trabajo de titulación.

A la fábrica de textiles “Hilario”, al Señor Raúl Cauja por haber aceptado la realización de mi trabajo de titulación en su empresa y a todos sus empleados que siempre me brindaron la información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Para finalizar agradezco a mis amigos y compañeros de clase por su compañerismo, amistad y apoyo.

Karina Elizabeth Ramos Guambo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xxi
SUMMARY	xxii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEORICO	5
1.1. La Industria Textil en el Ecuador	5
1.1.1. Agua Residual de la Industrial Textil	5
1.1.2. Principales contaminantes de los efluentes de la Industria Textil	6
1.1.3. Principales parámetros para caracterizar aguas residuales de la Industria textil	7
1.1.4. Tratamiento de aguas residuales en la Industria textil	12
1.2. Fábrica de textiles “Hilario”	29
1.2.1. Aspectos generales de la fábrica de textiles “Hilario”	30
1.2.2. Proceso de producción de telas de la fábrica de textiles “Hilario”	31
1.2.3. Agentes Químicos utilizados en el proceso de producción	40
1.3. Diseño del sistema de tratamiento del agua residual	43
1.3.1. Caudal de diseño.....	43
1.3.2. Volumen de agua residual a tratar por día	44
1.3.3. Tanque de almacenamiento	45
1.3.4. Diseño del tanque circular de sedimentación	45
1.3.5. Diseño del filtro convencional lento.....	50
1.3.6. Diseño del tanque de cloración.....	51
1.4. Marco legal.....	53
1.4.1. Normas legales Nacionales.....	53
1.4.2. Ley Reformatoria al Código Penal	54
1.4.3. Ley de Gestión Ambiental	54
1.4.4. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)	54

1.4.5.	Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales	56
CAPÍTULO II		57
2.	MARCO METODOLÓGICO	57
2.1.	Metodología.....	57
2.1.1.	Localización de la investigación.....	57
2.1.2.	Método de recolección de la información.....	58
2.1.3.	Muestreo	59
2.1.4.	Tratamiento de muestras.....	61
2.1.5.	Equipos, materiales y reactivos	62
2.1.6.	Métodos y técnicas	62
2.2.	Datos Experimentales	82
2.2.1.	Datos de la medición del caudal	82
2.2.2.	Caracterización físico –química del agua residual	85
2.2.3.	Pruebas de Tratabilidad	89
2.2.4.	Caracterización del Agua Residual después de las pruebas de tratabilidad.....	100
CAPÍTULO III.....		102
3.	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	102
3.1.	Resultados de las pruebas de tratabilidad	102
3.1.1.	Prueba de jarras	102
3.1.2.	Cloración	103
3.2.	Comparación de resultados del Agua Residual antes y después del Tratamiento .	103
3.3.	Resultados del porcentaje de remoción obtenidos después del tratamiento.	106
3.3.1.	Porcentaje de reducción de la conductividad.....	106
3.3.2.	Porcentaje de reducción del pH	107
3.3.3.	Porcentaje de remoción del color.	107
3.3.4.	Porcentaje de remoción de la turbiedad.....	108
3.3.5.	Porcentaje de remoción de sólidos totales	109
3.3.6.	Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales.....	110

3.3.7.	Porcentaje de remoción de sólidos disueltos totales	110
3.3.8.	Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno	111
3.3.9.	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno	112
3.3.10.	Porcentaje de remoción de tensoactivos	113
3.3.11.	Porcentaje de remoción de metales pesados y metales ligeros	114
3.4.	Cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento del agua residual de la fábrica de textiles “Hilario”	115
3.4.1.	Cálculo del caudal de diseño	115
3.4.2.	Cálculo del volumen del agua a partir del caudal de diseño.....	116
3.4.3.	Tanque de almacenamiento	116
3.4.4.	Diseño del tanque circular de sedimentación	116
3.4.5.	Diseño del filtro convencional lento.....	120
3.4.6.	Diseño del tanque de cloración.....	122
3.4.7.	Diseño de eras de secado.....	123
3.4.8.	Tuberías y accesorios del sistema de tratamiento.....	124
3.5.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento del agua residual	125
3.5.1.	Tanque de almacenamiento	125
3.5.2.	Tanque circular de sedimentación	125
3.5.3.	Filtro convencional lento.....	126
3.5.4.	Tanque de cloración.....	128
3.5.5.	Eras de secado	128
3.5.6.	Tipos de materiales utilizados en las unidades que conforman el sistema de tratamiento, tuberías y accesorios.....	129
3.6.	Propuesta	132
3.7.	Presupuesto.....	134
3.7.1.	Presupuesto general para el sistema de tratamiento	134
3.7.2.	Presupuesto para los compuestos químicos empleados.....	135
3.8.	Análisis y discusión de resultados	136
	CONCLUSIONES	138

RECOMENDACIONES	140
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A_F	Área del filtro
a_F	Ancho del filtro
AR	Agua residual
A_s	Área del sedimentador
a_{TA}	Ancho del tanque de almacenamiento
A_{TA}	Área del tanque de almacenamiento
A_{TC}	Área del tanque de cloración
C_s	Carga de superficie
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
D	Dosis de cloro experimentado
FM	Factor de mayorización
G	Gradiente medio de velocidad
h_F	Altura del filtro
h_s	Altura de la parte cilíndrica del sedimentador
h_{pc}	Altura de la parte cónica del sedimentador
h_{TC}	Altura del tanque de cloración
L_F	Largo del filtro
L	Largo del tanque de almacenamiento
n	Velocidad de rotación
P_{Cl}	Peso de cloro necesario
pH	Potencial hidrógeno
P_M	Potencia
Q	Caudal promedio
Q_D	Caudal de diseño
R	Porcentaje remoción esperado
r_{TC}	Radio del tanque de cloración
r_s	Radio del sedimentador
\emptyset_s	Diámetro del sedimentador
\emptyset_{TC}	Diámetro del tanque de cloración
SDT	Sólidos disueltos totales
SD	Sólidos sedimentables
SST	Sólidos suspendidos totales

ST	Sólidos totales
t	Tiempo
TR	Tiempo de retención hidráulica
μ	Viscosidad dinámica
V	Volumen
V_F	Volumen del filtro
V_{pc}	Volumen de la parte cónica del sedimentador
V_{sc}	Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador
V_s	Volumen del sedimentador
V_T	Volumen de agua residual
V_{TA}	Volumen del tanque de almacenamiento

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Valores típicos de conductividad según la calidad del agua.....	8
Tabla 2-1.	Tipos de colorantes de la industria textil	40
Tabla 3-1.	Colorantes utilizados en la fábrica de textiles “Hilario”.....	40
Tabla 4-1.	Metales pesados en diferentes colorantes.	41
Tabla 5-1.	Productos auxiliares utilizados en la fábrica de textiles “Hilario”.....	43
Tabla 6-1.	Criterios para el diseño de sedimentadores circulares	46
Tabla 7-1.	Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares	47
Tabla 8-1.	Tiempo de retención hidráulica para la sedimentación.....	48
Tabla 9-1.	Gradiente de Velocidad G y Tiempo de detención.....	49
Tabla 10-1.	Valores de las constantes empíricas a y b a 20 °C	50
Tabla 11-1.	Criterios de calidad de Aguas para riego agrícola	55
Tabla 1-2.	Localización geográfica de la fábrica de textiles “Hilario”	57
Tabla 2-2.	Planificación del muestreo diario.....	60
Tabla 3-2.	Recolección de muestras.....	60
Tabla 4-2.	Equipos, Materiales y Reactivos.....	62
Tabla 5-2.	Medición de caudal.....	63
Tabla 6-2.	Método Termométrico 2550 A.	65
Tabla 7-2.	Método Electrométrico 2510 B.....	66
Tabla 8-2.	Método espectrofotométrico 2120 C.	67
Tabla 9-2.	Método nefelométrico 2130 B.	68
Tabla 10-2.	Método Gravimétrico 2540 B.....	69
Tabla 11-2.	Método espectrofotométrico 2540 D.	70
Tabla 12-2.	Método electrométrico 2540 C.	71
Tabla 13-2.	Método volumétrico 2540 F.	72
Tabla 14-2.	Método electrométrico 4500 B.	73
Tabla 15-2.	Método espectrofotométrico 5220 D.	74
Tabla 16-2.	Método de incubación (5 días) 5210 B.....	75
Tabla 17-2.	Método espectrofotométrico 5540 C.	76
Tabla 18-2.	Método espectrofotométrico 3500- Cu B.	77
Tabla 19-2.	Método espectrofotométrico 3500 Ni-3111B.	78
Tabla 20-2.	Método espectrofotométrico cromo hexavalente - 8023.....	79
Tabla 21-2.	Método espectrofotométrico 3500-Al B.	80
Tabla 22-2.	Método espectrofotométrico 3500-Fe B.	81
Tabla 23-2.	Medición de caudales de la etapa de descrude.....	82

Tabla 24-2.	Medición de caudales de la etapa de teñido	82
Tabla 25-2.	Medición de caudales de la etapa de fijado	83
Tabla 26-2.	Medición de caudales de la etapa de lavado químico	83
Tabla 27-2.	Medición de caudales de la etapa del enjuague repetitivo 1	83
Tabla 28-2.	Medición de caudales de la etapa del enjuague repetitivo 2	84
Tabla 29-2.	Caudal promedio total de la fábrica de textiles “Hilario”	84
Tabla 30-2.	Resultados del análisis del agua residual	85
Tabla 31-2.	Comparación de los resultados obtenidos con la normativa ambiental.	86
Tabla 32-2.	Resultados del análisis del agua residual	87
Tabla 33-2.	Comparación de los resultados obtenidos con la normativa ambiental.	88
Tabla 34-2.	Pruebas con coagulantes metálicos	90
Tabla 35-2.	Pruebas con polielectrolitos	92
Tabla 36-2.	Diferentes Dosificaciones de Sulfato de Aluminio al 10 %	95
Tabla 37-2.	Resultados del DQO y color obtenidos en la coagulación con sulfato de aluminio al 10% y una dosificación de 10 mL	96
Tabla 38-2.	Resultados obtenidos en el proceso de filtración	98
Tabla 39-2.	Resultados obtenidos en el proceso de cloración	99
Tabla 40-2.	Resultados obtenidos en la caracterización del agua tratada proveniente del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %)	101
Tabla 1-3.	Comparación de los parámetros del agua residual y el agua tratada	104
Tabla 2-3.	Caracterización de la conductividad	106
Tabla 3-3.	Caracterización del pH	107
Tabla 4-3.	Caracterización del color	107
Tabla 5-3.	Caracterización de la turbiedad	108
Tabla 6-3.	Caracterización de ST	109
Tabla 7-3.	Caracterización de SST	110
Tabla 8-3.	Caracterización de SDT	110
Tabla 9-3.	Caracterización de la DQO	111
Tabla 10-3.	Caracterización de la DBO ₅	112
Tabla 11-3.	Caracterización de tensoactivos	113
Tabla 12-3.	Caracterización de metales pesados y metales ligeros	114
Tabla 13-3.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque de sedimentación. ...	125
Tabla 14-3.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque de sedimentación. ...	125
Tabla 15-3.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento del filtro convencional lento. ...	127
Tabla 16-3.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque de cloración.	128
Tabla 17-3.	Resultados obtenidos en el dimensionamiento de las eras de secado.	129
Tabla 18-3.	Tipo de material utilizado para el sistema de tratamiento.	129

Tabla 19-3.	Descripción de la tubería utilizada en el sistema de tratamiento	130
Tabla 20-3.	Descripción de los accesorios utilizados en el sistema de tratamiento	130
Tabla 21-3.	Descripción de otros componentes utilizados en el sistema de tratamiento	131
Tabla 22-3.	Presupuesto general para el sistema de tratamiento.....	134
Tabla 24-3.	Costo del sulfato de aluminio y del hipoclorito de calcio.....	135

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	44
Ecuación 2-1	44
Ecuación 3-1	44
Ecuación 4-1	44
Ecuación 5-1	45
Ecuación 6-1	45
Ecuación 7-1	45
Ecuación 8-1	46
Ecuación 9-1	46
Ecuación 10-1	46
Ecuación 11-1	47
Ecuación 12-1	47
Ecuación 13-1	48
Ecuación 14-1	48
Ecuación 15-1	48
Ecuación 16-1	49
Ecuación 17-1	50
Ecuación 18-1	50
Ecuación 19-1	50
Ecuación 20-1	51
Ecuación 21-1	51
Ecuación 22-1	51
Ecuación 23-1	51
Ecuación 24-1	52
Ecuación 25-1	52
Ecuación 26-1	52
Ecuación 27-1	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Proceso de coagulación –floculación	16
Figura 2-1.	Fenómeno de sedimentación por zonas.....	18
Figura 3-1.	Decantador circular	20
Figura 4-1.	Decantador rectangular	21
Figura 5-1.	Esquema de un filtro rápido convencional de flujo descendente por gravedad de medio granular	24
Figura 6-1.	Generación de aguas residuales en la fábrica.....	30
Figura 7-1.	Almacenamiento de Hilo Crudo.....	31
Figura 8-1.	Máquina tejedora circular.....	32
Figura 9-1.	Rollos de tela cruda.....	32
Figura 10-1.	Máquina jet.....	33
Figura 11-1.	Máquina jet para colores fuertes y medios	34
Figura 12-1.	Máquina barca torniquete para colores bajos	34
Figura 13-1.	Centrifugadora.....	35
Figura 14-1.	Secadores tubulares	36
Figura 15-1.	Secadores tubulares	36
Figura 16-1.	Embalaje de tela acabada	37
Figura 17-1.	Almacenamiento de tela acabada	37
Figura 18-1.	Diagrama de flujo de entradas del proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”	38
Figura 19-1.	Diagrama de flujo de salidas del proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”	39
Figura 1-2.	Ubicación Geográfica de la fábrica de textiles “Hilario”	58
Figura 2-2.	Polielectrolito	94
Figura 3-2.	Coagulante metálico.....	94
Figura 4-2.	Coagulación del agua residual con $Al_2(SO_4)_3$	97
Figura 5-2.	Sedimentación en el cono imhoff.....	97
Figura 6-2.	Filtración del agua residual con carbón activado y arena.....	98
Figura 7-2.	Cloración del agua residual con hipoclorito de calcio.....	100
Figura 1-3.	Dimensiones del sedimentador circular	120
Figura 2-3.	Dimensiones del filtro convencional lento	121
Figura 3-3.	Dimensiones del tanque de cloración.....	123
Figura 4-3.	Dimensiones de las eras de secado.....	124

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2. Resultados obtenidos después de realizar pruebas con sulfato de aluminio a una concentración de 500 ppm.	91
Gráfico 2-2. Resultados obtenidos después de realizar pruebas con polielectrolitos	93
Gráfico 3-2. Resultados de turbiedad obtenidos en la prueba de jarras	95
Gráfico 1-3. Dosis óptima de Sulfato de Aluminio.....	102
Gráfico 2-3. Dosis óptima de hipoclorito cálcico.....	103
Gráfico 3-3. Comparación de los parámetros físico químicos entre el agua residual y el agua tratada.....	105
Gráfico 4-3. Disminución de la conductividad	106
Gráfico 5-3. Disminución del pH.....	107
Gráfico 6-3. Disminución del color.....	108
Gráfico 7-3. Disminución de la turbiedad.....	109
Gráfico 8-3. Disminución de ST	109
Gráfico 9-3. Disminución de SST	110
Gráfico 10-3. Disminución de SDT	111
Gráfico 11-3. Disminución de la DQO	112
Gráfico 12-3. Disminución de la DBO ₅	113
Gráfico 13-3. Disminución de tensoactivos	114
Gráfico 14-3. Disminución de metales pesados y metales ligeros	115

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.	Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua
ANEXO B.	Medición del caudal por el método volumétrico
ANEXO C.	Muestreo compuesto
ANEXO D.	Caracterización del agua residual
ANEXO E.	Pruebas de tratabilidad, coagulación - floculación
ANEXO F.	Pruebas de tratabilidad, filtración
ANEXO G.	Pruebas de tratabilidad, cloración
ANEXO H.	Caracterización físico –química del agua residual de tela poliéster
ANEXO I.	Caracterización físico-química del agua residual de tela poli algodón
ANEXO J.	Caracterización del agua residual después de las pruebas de tratabilidad
ANEXO K.	Sistema de tratamiento de agua residual, vista frontal
ANEXO L.	Sistema de tratamiento de agua residual, vista planta
ANEXO M.	Tanque circular de sedimentación
ANEXO N.	Filtro convencional lento
ANEXO O.	Tanque circular de cloración
ANEXO P.	Eras de secado
ANEXO Q.	Levantamiento topográfico

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento del agua residual para la fábrica de textiles HILARIO, perteneciente al cantón Guano provincia de Chimborazo, ya que el agua residual generada en la planta de producción es descargada directamente sobre los terrenos aledaños sin ningún tipo de tratamiento previo. Se realizó la medición del caudal utilizando el método volumétrico durante las 8 horas de la jornada laboral, determinándose un caudal promedio total de 2.77 L/s, y un volumen de 14958 litros de agua residual al día. Se hizo un muestreo compuesto del agua residual proveniente de los dos tipos de tela que se procesan: poliéster y poli algodón, para la posterior caracterización físico química. A partir de esto se conoció que únicamente el agua residual del procesamiento de poli algodón presenta valores elevados de parámetros como: Sólidos Disueltos Totales (SDT), Color, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Tensoactivos y Metales Pesados. Con fundamento en estos datos se optó por realizar pruebas de tratabilidad y se seleccionó el sistema de tratamiento más adecuado, el mismo que consta de tratamientos físico químicos como: coagulación-floculación, sedimentación, filtración y cloración, con lo cual se obtuvo como resultado la remoción del 96,23% de SDT, 96,32 % de Color, 96.94 % de DBO₅, 97,34 % de DQO y el 96,17 % de Tensoactivos. Lográndose así la disminución de los parámetros, ajuntándolos a los valores exigidos por la norma citada en el TULSMA, Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego; concluyéndose de esta forma que el sistema de tratamiento es el idóneo para lograr descargar el agua tratada a los terrenos aledaños sin ningún tipo de problema. Se recomienda a la fábrica de textiles HILARIO implementar el sistema de tratamiento para cumplir con la normativa ambiental y evitar sanciones.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, < SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL>; <AGUA RESIDUAL>; <DESCARGA TERRENOS ALEDAÑOS>; <FÁBRICA TEXTIL>; <NORMATIVA AMBIENTAL>

SUMMARY

A wastewater treatment system was designed to manufacture HILARIO textiles belonging to the canton Guano of Chimborazo province, since the waste water generated at the production plant is discharged directly onto the surrounding land without any previous treatment. The flow measurement was performed using the volumetric method during the 8 hours of the workday, determining a total average flow of 2.77 L / s, and a volume of 14958 liters of wastewater per day. Of the 2 types of fabric that are processed: polyester and poly cotton, for the subsequent physical chemical characterization. From this, it was known that only the wastewater from the poly cotton processing has high values of Oxygen (BOD5), Chemical Oxygen Demand (COD), Surfactants and Heavy Metals. Based on these data, it was decided to perform treatment tests Physical characteristics such as: coagulation-flocculation, sedimentation, filtration and chlorination, resulting in the removal of 96.23% of SDT, 96.32% of Color, 96.94% of DBO5, 97.34% of COD and 96.17% of surfactants. Thus, the parameters are reduced, adding them to the values required by the standard cited in TULSMA, Table 3: Water Quality Criteria for Agricultural Use in Irrigation; Concluding in this way that the treatment system is the ideal to get the treated water to the surrounding areas without any problem. It is recommended that the textile factory HILARIO implement the treatment system to comply with environmental regulations and avoid penalties.

KEYWORDS: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <RESIDUAL WATER TREATMENT SYSTEM>; <WASTEWATER>; <DISCHARGE LUMINAIRES>; <TEXTILE FACTORY>; <ENVIRONMENTAL REGULATIONS>.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la Normativa Ambiental vigente ha expedido políticas y normas jurídicas para controlar la contaminación ambiental causada sobre el medio, producida ya sea por actividades humanas o industriales.

El Ministerio del Ambiente es el encargado de regular las descargas de efluentes líquidos residuales, mismos que en el caso de las Industrias Textiles tienen un impacto ambiental alto pues cuentan con procesos de tintura, y la presencia de colorantes en el agua residual constituye la principal dificultad en este tipo de efluentes ya que contienen residuos contaminantes y tóxicos dependiendo del tipo de colorante utilizado perjudicando el ecosistema donde se descargue el efluente residual.

La industria textil utiliza grandes cantidades de agua, especialmente para los procesos húmedos como: descrude, teñido, fijado, lavado y enjuagues. Se utilizan sustancias químicas que incluyen colorantes, detergentes, humectantes, ácidos, dispersantes, igualantes, secuestrantes, sal, álcali, etc.

El agua residual textil presenta características particulares como: pH variable, coloración, alto nivel de DQO y DBO₅, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, y un alto contenido de residuos de metales pesados.

Éste proyecto pretende entregar al sector productivo textil específicamente a la fábrica de textiles “HILARIO”, el diseño de un sistema de tratamiento del agua residual, con la finalidad de reducir los índices de contaminación del agua y así atesorar el medio ambiente, utilizando procesos que no sean perjudiciales para el entorno, convirtiéndose en una alternativa que puedan implementar las diversas industrias relacionadas al mundo textil.

El sistema de tratamiento se realizó en base a los resultados obtenidos en la caracterización del agua residual, con la finalidad de cumplir con la normativa ambiental expuesta por el Ministerio del Ambiente y ajustar los parámetros que se encontraban fuera de norma a lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo I, Recurso agua, Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

ANTECEDENTES

Según AITE, (Asociación de Industrias Textiles del Ecuador) la industria textil en el Ecuador se inicia desde la época colonial, debido a la conquista y la aparición de los obrajes.

En varios lugares del Ecuador se ofrece una variedad de textiles de calidad siendo un claro ejemplo el cantón Guano que se encuentra en el centro del país, en la Provincia de Chimborazo , está situada a diez minutos de la ciudad de Riobamba, este lugar es muy reconocido por sus actividades económicas como venta de alfombras hechas a mano, la industria del cuero y el turismo.

En este cantón está ubicada la Fábrica de Textiles “HILARIO” la misma que se encuentra en funcionamiento desde hace 12 años, se dedica a la tejeduría y teñido de telas que sirven para la posterior confección de prendas de vestir en especial ropa interior y ropa de niños, siendo sus consumidores potenciales las ciudades de Riobamba y Guayaquil.

En el proceso de producción de las telas se requiere una gran cantidad de agua ya que es el medio fundamental en el que se desenvuelve el arte tintóreo y como tal su cantidad es de mucha importancia.

El Instituto de tecnología de moda de la Universidad de Panjab, en India estima que por cada kilogramo de tela que se fabrica se consume de 30 a 60 litros de agua, tan solo para la etapa de teñido. (<https://biwil.com/reciclaje/contaminando-con-la-ropa-la-huella-de-la-moda/>)

Tomando en cuenta el dato anterior, el volumen del agua residual en la fábrica “HILARIO” será muy significativo ya que el proceso de producción incluye varias etapas a más del teñido como: descruce, fijado, lavado, enjuagues, y se procesa diariamente 200 kilogramos de tela, cuatro días a la semana.

Actualmente la fábrica de textiles “HILARIO” no cuenta con ningún sistema de tratamiento del agua residual que genera la planta de producción, y ésta es utilizada como agua de riego siendo descargada directamente a los terrenos aledaños a la fábrica generando un gran impacto ambiental en la vegetación circundante como en el suelo.

JUSTIFICACIÓN

La producción textil en el Ecuador ha estado ligada con la generación de residuos industriales arrojados sin tratamiento hacia el ambiente, produciendo así la contaminación de los medios biótico, abiótico y antrópico.

Actualmente el Ministerio del Ambiente hace énfasis de que las pequeñas, medianas y grandes empresas cumplan con las leyes ambientales y cuenten con sistemas de tratamiento de aguas residuales que ayuden a reducir la contaminación que generan las mismas para de esta forma conservar este recurso vital y salvaguardar la integridad de la humanidad y de los ecosistemas en general.

Es por esta razón la necesidad de dar solución a este problema ambiental; ya que mediante el estudio “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO” se logrará disminuir la contaminación que producen las aguas residuales en el ambiente ajustándose a los parámetros y normas exigidas y citadas en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) , Libro VI, Anexo I, Recurso agua. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.

Se cuenta con recursos; bibliográficos, web gráficos pertinentes, talento humano y el proyecto de acuerdo a la naturaleza de estudio está enmarcado dentro de la modalidad de un proyecto factible, debido a que está orientado a proporcionar soluciones o respuestas a problemas planteados en una determinada realidad.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento del agua residual de la fábrica de textiles HILARIO en el cantón Guano.

ESPECÍFICOS

- Caracterizar el agua residual generada en la planta mediante análisis físico-químicos en base a la norma citada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA). Libro VI. Anexo I. Recurso Agua. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego.
- Identificar las variables de proceso para el diseño del sistema de tratamiento del agua residual.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento del agua residual.
- Caracterizar el agua de la planta al final del tratamiento propuesto, mediante análisis físico-químicos en base a la norma citada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA). Libro VI. Anexo I. Recurso Agua. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. La Industria Textil en el Ecuador

De acuerdo con Daros (2005, pág. 5) , la industria textil es el sector industrial que agrupa todas aquellas actividades dedicadas a la producción de fibras, hilos, telas y productos relacionados con la confección de distintas prendas.

Originalmente el trabajo se remonta a la época de la colonia, cuando en los obrajes se fabricaban tejidos utilizando lana de oveja, éste trabajo era realizado principalmente por las mujeres en los períodos de descenso en la agricultura para de alguna forma obtener recursos económicos.

Las primeras industrias ecuatorianas que aparecieron se dedicaron al procesamiento de la lana, hasta que en inicios del siglo XX se introduce el algodón, siendo la década de 1950 cuando se consolida la utilización de esta fibra. Hoy por hoy, la industria textil ecuatoriana fabrica productos provenientes de todo tipo de fibras, siendo las más utilizadas el ya mencionado algodón, el poliéster, el nylon, los acrílicos, la lana y la seda.

A lo largo del tiempo, las diversas empresas dedicadas a la actividad textil ubicaron sus instalaciones en diferentes ciudades del país. Sin embargo, se puede afirmar que las provincias con mayor número de industrias dedicadas a esta actividad son: Pichincha, Imbabura, Tungurahua, Azuay y Guayas.

La diversificación en el sector ha permitido que se fabrique un sin número de productos textiles en el Ecuador, siendo los hilados y los tejidos los principales en volumen de producción. Sin embargo, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles, como las prendas de vestir y las manufacturas para el hogar.

1.1.1. *Agua Residual de la Industrial Textil*

Aguas residuales industriales son aquellas aguas cuya calidad se ve afectada negativamente debido a su utilización en los diferentes procesos de producción de las industrias, estos efluentes poseen contaminantes específicos dependiendo del tipo de industria del que provienen.

Las Aguas Residuales Industriales (ARI) según las características del vertido se clasifican en cinco grupos:

- Industrias con efluentes principalmente orgánicos: papeleras, azucareras, mataderos, curtidors, conserveras, lecherías, etc.
- Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: refinerías, petroquímicas, coquerías, y textiles.
- Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: químicas, limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas.
- Industrias con efluentes con materias en suspensión: lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales.
- Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y centrales nucleares. (Revista Ambientum, Clasificación de las aguas residuales industriales, 2002, pág. 2)

“La industria textil es una gran consumidora de agua, por lo cual sus principales problemas ambientales están asociados a la contaminación acuosa, conjuntamente con la necesaria utilización de diferentes agentes químicos como colorantes, detergentes, humectantes, sales, secuestrantes, etc., constituyen la principal fuente de contaminación.” (Elias, 2012, pág. 596)

1.1.2. Principales contaminantes de los efluentes de la Industria Textil

Los contaminantes de las aguas residuales de la industria textil se pueden clasificar en tres grupos:

a) Materias en suspensión

Son las fibras, residuos de hilos, residuos minerales, sustancias insolubles, entre otros. Las cantidades de estas materias son relativamente pequeñas en esta industria a excepción de las plantas que procesan lana. Los sólidos suspendidos más visibles son los residuos de colorante no fijado a la fibra, que son no sedimentables.

El efecto que producen estas materias es en el ecosistema acuático ya que se depositan sobre los cursos de agua donde se descargan estos efluentes agotando el oxígeno y produciendo malos olores.

b) Materias Flotantes

Incluyen las grasas, aceites y sobre todo las espumas que genera la utilización de tensoactivos, que tienen un impacto sobre el hábitat y la actividad biológica de los seres vivos ya que impiden

la penetración de la luz. La industria textil genera cantidades importantes de acetites y grasas en el procesamiento de lana.

c) *Impurezas Disueltas*

Son los contaminantes de mayor importancia en las aguas residuales textiles estos son los ácidos, álcalis, colorantes, productos auxiliares que son solubles en agua, entre otros. La materia orgánica disuelta consume el oxígeno, provocando un déficit del mismo. Algunos de estos contaminantes pueden llegar a ser tóxicos como los metales pesados. (Crespi & Huertas, 1981, págs.75-76)

1.1.3. Principales parámetros para caracterizar aguas residuales de la Industria textil

Los principales parámetros físicos y químicos que la industria textil debe controlar en sus aguas residuales para cumplir con la legislación ambiental que es cada vez más restrictiva son:

1.1.3.1. Parámetros físicos

- **Temperatura**

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 - 20°C, este parámetro es importante ya que interviene en la vida acuática en el caso de que el vertido sea directamente hacia un cuerpo de agua dulce. (Contreras & Molero , 2011, pág. 175)

- **Conductividad**

Es la medida del contenido de sales solubles del agua, la unidad para medir la conductividad es micro siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Las aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de iones, es importante conocer este parámetro ya que da una pauta de que tanto está contaminada el agua residual. (Rigola M. , 1990, pág. 29)

En la siguiente tabla 1-1 se indica los valores típicos de conductividad expresados en $\mu\text{S}/\text{cm}$, según la calidad del agua.

Tabla 1-1.Valores típicos de conductividad según la calidad del agua

Agua pura	Agua poco contaminada	Agua contaminada	Agua muy contaminada	Agua excesivamente contaminada
<280	280-430	430-600	600-860	>860

Fuente: RIGOLA M., Tratamiento de aguas industriales, 1990, pp.28

- **Color**

Es una determinación cuantitativa por comparación visual con patrones de Pt-Co según el método realizado en el espectrofotómetro.

La coloración del agua produce un desagradable efecto visual y lo más importante las diferentes tonalidades de color afectan el agua impidiendo el paso de la luz solar y por ende las plantas no pueden realizar el proceso de fotosíntesis. (Rigola M. , 1990, pág. 27)

- **Turbiedad**

Es un indicador de calidad del agua, que se refiere a la reducción de la transparencia del agua producida por la materia en suspensión. Si bien la turbiedad está ligada a la presencia de éstos sólidos en el caso de efluentes procedentes de la Industria Textil está ligada a la presencia de coloración en el agua, puesto que la materia en suspensión como fibras, sustancias insoluble, entre otros son relativamente menores a excepción del procesamiento de lana.

La turbiedad puede impactar los ecosistemas afectando la fotosíntesis. (Rigola M. , 1999, pág. 28)

- **Sólidos totales (ST)**

Los sólidos totales es la expresión que se refiere a los residuos de materia que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y su consecuente secado definida entre los 103 a 105 °C.

Ésta determinación es importante realizarla para evaluar el cumplimiento de las limitaciones de este tipo de vertidos y además permite estimar los contenidos de sólidos disueltos y suspendidos presentes en el agua, influyendo en los procesos de tratamiento de aguas residuales (Rigola M. , 1990, pág. 32)

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Son los sólidos que permanecen en suspensión en el agua y alimentan su turbidez, se definen como la cantidad de materia que queda después de filtrar un determinado volumen de agua.

Estas partículas suspendidas pueden llegar a formar depósitos de lodos impidiendo el proceso de fotosíntesis que ayuda a la re aireación natural del sistema acuático. (Rigola M. , 1990, pág. 32)

- **Sólidos disueltos totales (SDT)**

Los sólidos disueltos representan el material soluble presente en el agua es decir la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto es cualquier elemento presente en el agua que no sea H₂O molécula de agua pura ni sólidos en suspensión.

Usualmente para su remoción requieren una oxidación biológica, coagulación, sedimentación, etc. Los análisis de sólidos disueltos son también muy importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Existe una relación estrecha entre la cantidad de SDT y la conductividad eléctrica, mientras mayor sea la conductividad mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua. (Sánchez, 2007, págs. 124-125)

- **Sólidos sedimentables (SD)**

Los sólidos sedimentables hacen referencia a la cantidad de materia que sedimenta una muestra de agua en un determinado tiempo. Éstos sólidos debido a su tamaño y peso pueden sedimentarse en un líquido inmóvil.

Ésta determinación es importante ya que da una idea de los sólidos presentes en aguas residuales y pueden ser removidos mediante procesos como la sedimentación. (Delgadillo , Camacho , & Pérez , 2010, pág. 57)

1.1.3.2. Parámetros químicos

- **Potencial Hidrogeno (pH)**

Es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia, este es un parámetro importante que da información si el agua residual que se estudia es acida o básica y cómo influye esto en las reacciones químicas que por lo general son controladas por el pH.

Los valores altos y bajos de pH, característicos de las aguas residuales industriales afectan el hábitat acuático y también las aguas subterráneas así como las variaciones de pH causa alteraciones en la solubilidad de metales pesados y sus concentraciones. (Rigola M. , 1999, pág. 29)

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

La DQO sirve para medir la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua .También se utiliza este parámetro para medir el grado de contaminación de una muestra de agua y la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas mediante medios químicos. Las unidades en la que se expresa es (mg O₂/l).

En una reacción intensa de oxidación se oxidan la mayoría de materia orgánica, pero también algunos compuestos inorgánicos como sulfuros, cianuros, etc.

Este parámetro es importante realizarlo en la caracterización de agua residual ya que depende sus valores dan una pauta de cuan contaminada está el agua residual que se estudia, por ejemplo los valores de DQO en agua no contaminada oscilan entre 1 a 5 mg O₂/l, los valores en aguas residuales domesticas oscilan entre 260 a 600 mg O₂/l y los valores para aguas residuales industriales por su mayor carga contaminante tendrán valores de DQO mucho más altos. (Rigola M. , 1990, pág. 37)

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

La DBO sirve para medir la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua a través de procesos biológicos aerobios. Las unidades en la que se expresa es (mg O₂/l).

En aguas residuales domesticas los valores de DBO oscilan entre 100 a 350 mg O₂/l y en aguas residuales industriales alcanzan varios miles.

Para seleccionar el tipo de tratamiento de aguas residuales (tratamiento biológico o tratamiento físico –químico) se puede relacionar la DBO₅ /DQO, lo que se denomina el índice de biodegradabilidad del agua. Si el valor de ésta relación es menor que 0.2 se interpreta que el vertido es de tipo inorgánico o no biodegradable y si el valor de la relación es mayor a 0.6 se interpreta que el vertido es del tipo orgánico o muy biodegradable. (Rigola M. , 1999, págs. 38-39)

- **Tensoactivos**

Llamados también tensioactivos o detergentes son compuestos formados por moléculas grandes, solubles en agua y aceite, tienen la capacidad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en los que se encuentran disueltos.

Cuando estos compuestos se acumulan en la interfaz aire-agua favorecen a la formación de espumas lo que inhibe la actividad biológica y altera el hábitat del lugar donde se descarguen este tipo de aguas residuales con detergentes. (Ramos & Sepúlveda, 2012, pág. 95)

- **Metales pesados**

Metales Pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor a la densidad del agua, tienen una amplia aplicación directa en numerosos procesos industriales.

Los metales pesados que se destacan son: cobre, níquel, cromo, cobalto, mercurio, plomo, entre otros.

Estos metales son altamente contaminantes y tóxicos su presencia en altas concentraciones provoca efectos perjudiciales en la salud de las personas y afecta el equilibrio de los ecosistemas ya que los metales pesados tienen la capacidad de acumulación en los tejidos hasta llegar al límite de toxicidad, por ejemplo el cromo VI está relacionado a la producción de cáncer provocado por ingesta de alimentos contaminados. (Contreras & Molero , 2011, pág. 165)

También se habla de contaminación a la presencia de metales más ligeros y toxicidad más baja como el aluminio y el hierro.

El aluminio es muy común en las aguas contaminadas así como en las tratadas, especialmente en las tratadas con alúmina. La exposición a concentraciones elevada de este metal en el agua puede alterar ciertas funciones de los seres vivos en especial animales y plantas.

El hierro es un requerimiento esencial para la nutrición del hombre, pero su presencia en concentraciones máximas puede provocar problemas de excesivo acumulamiento de hierro en el cuerpo dando como resultado disfunciones en ciertos órganos .La presencia de hierro en el agua también puede aumentar la concentración de materiales disueltos.

1.1.4. Tratamiento de aguas residuales en la Industria textil

Las aguas residuales industriales deben ser caracterizadas para determinar la biodegradabilidad de sus contaminantes, y así analizar las diferentes alternativas en cuanto a tratamientos para este tipo de efluentes, ya que no existe un tratamiento universal para tratar el agua residual de la industria textil.

Al momento de seleccionar un sistema de tratamiento se debe considerar la calidad del agua original, la fiabilidad, los condicionamientos locales, la flexibilidad del proceso, la capacidad de instalación, costos y la compatibilidad con el medio ambiente.

Los tratamientos físico químicos que se mencionan a continuación han sido seleccionados para tratar el agua residual que genera la fábrica de textiles “Hilario”.

1.1.4.1. Tratamiento físico-químico

Para tratar el agua residual que genera la fábrica de textiles “Hilario”, se optó por tratamientos físico-químicos como: coagulación- floculación y sedimentación.

a) Coagulación-floculación

Se conoce como coagulación – floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas (flocs) con peso específico superior al del agua. Dicho proceso se usa para:

- Remoción de la turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción del color aparente y el color verdadero.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.
- Eliminación de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación – floculación del agua:

1. La desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
2. El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto los autores suelen referirse como coagulación y al segundo como floculación.

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y solo dura fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

La floculación en cambio es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas contra otras para formar coágulos mayores. (Arboleda , 2000, págs. 30-31)

❖ **Coagulantes**

Los coagulantes se los puede clasificar en dos grupos:

- Coagulantes metálicos
- Polielectrolitos o ayudantes de coagulación

Ambos actúan básicamente como polímeros, un polímero se puede definir como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeras, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente.

Coagulantes metálicos

Existe una variedad de coagulantes metálicos por lo que se los puede clasificar entres tipos: Sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

- Coagulación con sales de aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas están el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. El sulfato de aluminio es el coagulante que por su bajo costo y manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales como la de tipo textil.

- Coagulación con sulfato de aluminio

El sulfato de aluminio es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros.

Como todos los cationes metálicos no pueden permanecer aislado cuando está rodeado de moléculas de agua, los iones de aluminio hidratados actúan como un ácido por lo tanto reaccionan fácilmente con agua alcalina, a su vez habrá un descenso del pH.

- Coagulación con sales de hierro

Las sales de hierro tienen sus ventajas sobre las sales de aluminio en ciertos casos, forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento. Se puede trabajar en un rango de pH más amplio. Los más conocidos son: el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.

Si bien las sales de hierro pueden trabajar con un pH tan bajo como 4 y tan alto como 11, lo más preferible es trabajar con aguas muy acidas. (Arboleda , 2000, págs. 47-56)

Polielectrolitos o ayudantes de coagulación

Los polielectrolitos tienen un grado de polimerización que está dado por el número de monómeros que conforman su cadena polimérica, cuando ésta tiene múltiples grupos funcionales activos se denominan polielectrolitos.

De investigaciones realizadas se desprenden conclusiones prácticas como:

- Los polielectrolitos usados en unión con coagulantes metálicos producen un floc que sedimenta rápidamente.
- Todos los polielectrolitos no son igualmente efectivos con todas las aguas.
- Dosis excesivas de polielectrolitos producen dispersión en lugar de ayudar a la coagulación.
- Con ciertas aguas, la dosificación de polielectrolitos en pequeñas cantidades reduce el gasto del coagulante.
- Deben añadirse en forma de solución diluida para asegurar una completa mezcla.

Los polielectrolitos se pueden clasificar según su origen en:

- Naturales
- Sintéticos

Según su carga:

- Iónicos (catiónicos y aniónicos)
- No iónicos

A nivel industrial se utilizan polielectrolitos sintéticos ya que los de origen natural tienen una eficacia relativamente pequeña.

El modo de empleo de los polielectrolitos puede ser de tres maneras distintas: como coagulante cuando el polímero es agregado en el agua en lugar del coagulante metálico, como ayudante de

la coagulación cuando el polímero es agregado antes del coagulante metálico o como ayudante de la floculación cuando el polímero es agregado después del coagulante metálico.

Por medio de la experimentación se puede encontrar la forma como estos polielectrolitos producen el más alto rendimiento o a su vez la inutilidad en el proceso. (Arboleda , 2000, págs. 47-50)

❖ **Factores que influyen en la coagulación-floculación:**

- pH

El pH es un factor importante ya que cada coagulante tiene un intervalo de pH en el que trabaja mejor, y se debe efectuar dentro de éste rango óptimo de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta.

Si el pH del agua no es el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes como:

- Cal viva.
- Cal apagada.
- Carbonato sódico.
- Sosa Cáustica.
- Ácidos minerales.
- Agitación

Para que la coagulación sea óptima, es necesario una agitación rápida para que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto. Al contrario, la floculación es estimulada por una agitación lenta, para favorecer la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso podría romper los flóculos ya formados.

- Temperatura del agua

La influencia principal de la temperatura está asociada al tiempo requerido para la formación de flóculos. Por lo general temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua necesitando periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

- Características del agua.

Si el agua contiene partículas suspendidas muy finas, es de coagulación -floculación más difícil, ya que estas partículas actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos y por ende necesitan más coagulante. (Mangini, 2003, págs. 55-70)

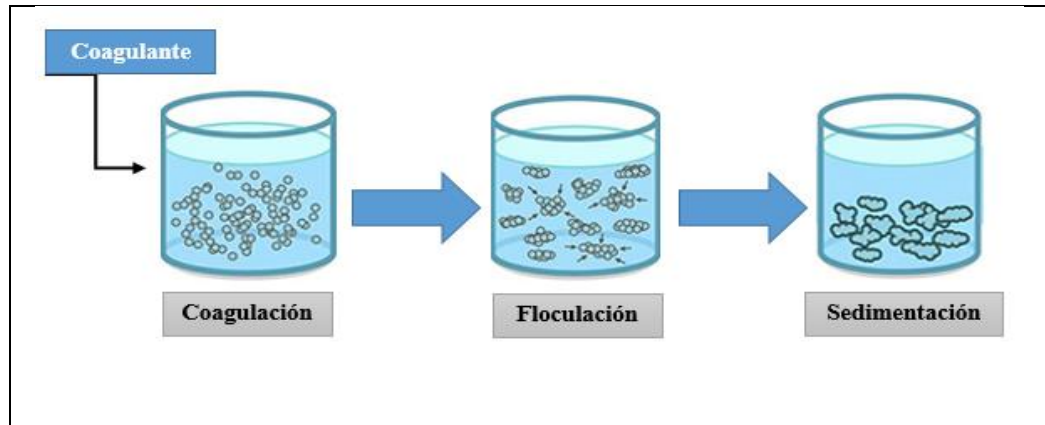


Figura 1-1. Proceso de coagulación –floculación

Fuente: WEBER W., Control de la calidad del agua., 2005

b) Sedimentación

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, o sea las partículas coaguladas del medio en el que se hallan.

Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, por tanto se debe considerar como un proceso complementario.

La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable.

Uno de los objetivos de la sedimentación es la producción de un efluente clarificado, eliminando partículas, que en el caso de tratamientos del agua residual de la industria textil pueden proceder de sustancias disueltas.

Estas partículas quedan adheridas o adsorbidas en los flóculos, se sedimentan en el fondo del decantador formando lodos que posteriormente serán extraídos para su respectivo tratamiento. (Arboleda , 2000, pág. 199)

Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, depende de la naturaleza de los sólidos presentes en el agua.

- Sedimentación discreta: las partículas que se sedimentan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. Las propiedades físicas de las partículas no cambian. Un claro ejemplo es la sedimentación de la arena.
- Sedimentación con floculación: la aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación, la sedimentación que se da en los sedimentadores primarios es un ejemplo de éste proceso.
- Sedimentación por zonas: las partículas forman una especie de manta que se sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida. Un ejemplo de este proceso son los flóculos de alúmina en los procesos de tratamiento de aguas. (Ramalho, 2003, pág. 93)

En la figura 2-1 se ilustra el fenómeno de sedimentación por zonas de los flóculos que se forman durante el proceso de coagulación –floculación.

En el instante inicial de la sedimentación, toda la suspensión es teóricamente homogénea y la concentración es uniforme, zona U.

Inmediatamente se forma una zona de líquido clarificado, zona L. Debajo de ésta se encuentra una zona U, donde la suspensión aun es uniforme. También se forma una zona de transición, zona T, donde la velocidad de sedimentación experimenta una reducción debido a la creciente concentración de la suspensión.

Por debajo de la zona T se forma la zona de compresión, zona C, en la que las partículas entran en contacto.

Después se reducen las zonas U y T, aumentando la zona del líquido clarificado, para finalmente obtener dos zonas: zona L y zona C

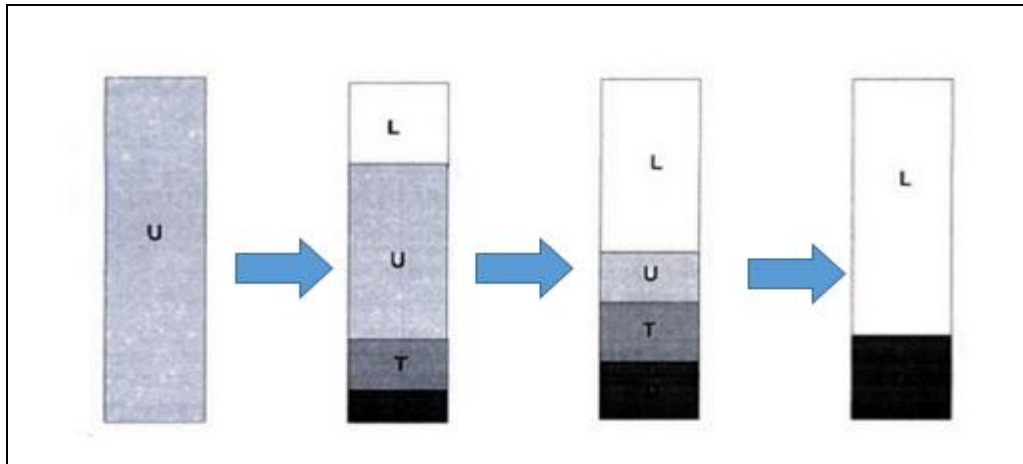


Figura 2-1. Fenómeno de sedimentación por zonas

Fuente: AGUILAR M., Tratamiento Físico Químico de aguas residuales., 2002

En los tanques de sedimentación se eliminan la mayor parte de materia en suspensión. El tiempo de retención recomendado suele ser de 2-3 horas y mediante este proceso se consigue eliminar del 60-70 % de los sólidos suspendidos y un 25-40 % de la DBO₅. (MOLERO & CONTRERAS, 2011, pág. 208)

Tanques de sedimentación

La mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan tanques de sedimentación de diseño regulado, rectangulares o circulares, con dispositivos mecánicos para la recolección y desalojo de lodos.

Un tanque sedimentador por lo general consta de cuatro zonas:

Zona de entrada: las partículas se distribuyen uniformemente.

Zona de sedimentación: la zona en la cual las partículas dejan de estar en suspensión.

Zona de salida: el lugar donde se recoge el agua para su posterior tratamiento.

Zona de lodos: es la zona reservada para la retirada de los lodos.

Tipos de tanques de sedimentación

- Sedimentador circular

Son de uso común en plantas de tratamiento, ya que se puede lograr una buena remoción de lodos, el sistema de flujo es circular, para lo cual el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque.

La evacuación de los fangos puede contener tres pasos: Acumulación, almacenamiento y extracción.

La acumulación de fangos en el decantador puede realizarse de dos formas básicas: por gravedad o mediante equipos mecánicos.

La primera se realiza mediante el fondo inclinado en forma de tolva del decantador, pero cuando las dimensiones de éste son excesivamente grandes hay que recurrir a equipos mecánicos que acumulen el fango sedimentado, por arrastre, en uno o varios puntos fijos de extracción, mediante rasquetas que barren la solera del decantador, o bien mediante la extracción de los fangos por succión (bien por depresión hidráulica o por vacío) sin necesidad de acumulación, pero esta práctica es principalmente usada en la decantación secundaria del proceso de fangos activos.

A su vez, la estructura de las rasquetas puede ser variada, siendo la básica la de espina de pez, consistente en varias rasquetas equidistantes formando un ángulo constante con el radio del decantador, y que arrastran una partícula desde la periferia al centro del decantador, haciendo pasar la partícula de una rasqueta a otra.

El almacenamiento se realiza normalmente en la solera del decantador, situadas en el centro del decantador circular en el que a veces se coloca un sistema de rasquetas de paletas de espesamiento, para aumentar la concentración del fango antes de su extracción.

La extracción o purga del fango se puede realizar automáticamente de dos formas de manera periódica, por lo que el automatismo consiste en la temporización regular de los tiempos de funcionamiento y parada del sistema de extracción. Éste se materializa bien en válvulas automáticas o bien en bombas especiales para fangos.

La eliminación de flotantes se realiza disponiendo delante del vertedero de salida una chapa deflectora que evita la salida de los flotantes. Para su acumulación los sistemas de rasquetas disponen generalmente de barredores superficiales que los arrastran hasta el punto de extracción, consistente, en una tolva que a veces dispone de una rampa por donde sube parte de la barredora. (Metcalf & Eddy, 1995, págs. 538-551)

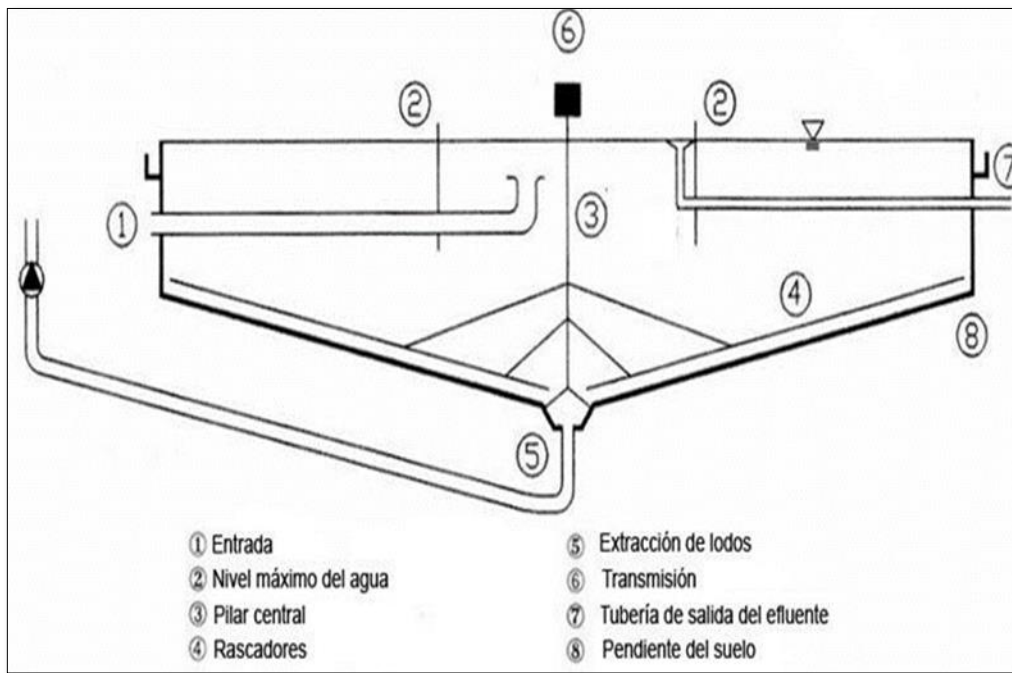


Figura 3-1. Decantador circular

Fuente: HORAN., Tratamiento de Aguas Residuales., 2003

- Sedimentador rectangular

Estos tipos de sedimentadores son construidos en zonas con poca disponibilidad de terreno, la remoción de lodos es más complicada por su geometría.

Las entradas del agua residual se encuentran en un extremo y están destinadas a minimizar la velocidad. Los diseños más comunes constan de pequeñas tuberías con eles hacia arriba, deflectores perforados, de modo que no queden atrapados los sólidos flotantes o sedimentables.

Las salidas en tanques rectangulares constan de vertederos localizados hacia el extremo de descarga del tanque, la relación longitud a ancho se encuentra normalmente en el rango de 4:1, con profundidades mínimas de 2m; el fondo se inclina suavemente hacia el embudo de lodos para facilitar el drenaje del tanque. (Terence, J, 1999, pág. 424)

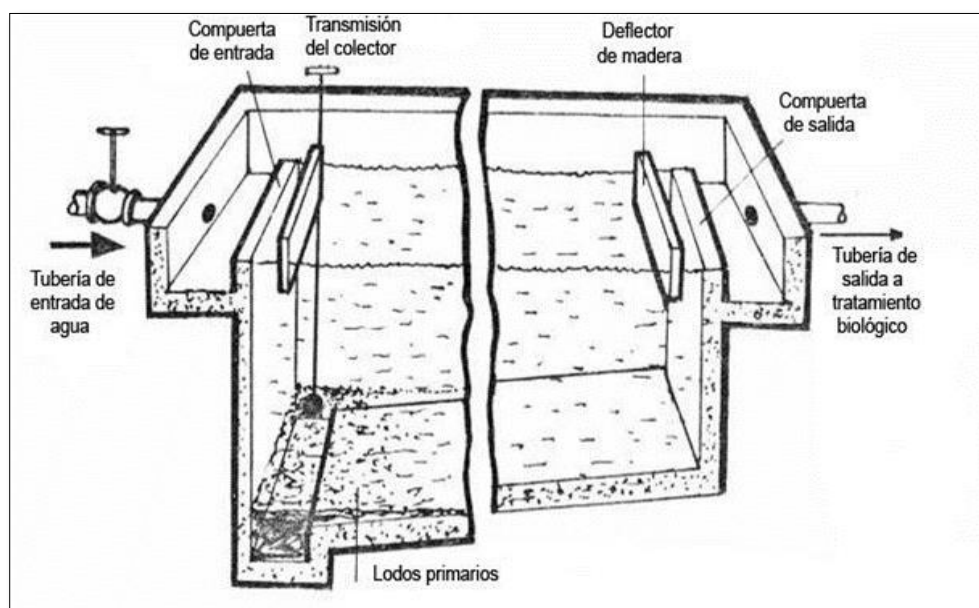


Figura 4-1. Decantador rectangular

Fuente: HORAN., Tratamiento de Aguas Residuales., 2003

1.1.4.2. *Tratamiento físico*

a) **Filtración**

La filtración es el proceso por el cual se separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana al agua o aquella materia que no fue removida en el proceso anterior, mediante el paso del agua a través de una capa porosa.

Los flóculos que resultan de la coagulación –floculación se eliminan en su mayoría en la sedimentación, a los filtros llegan solamente trazas de flóculos cuya cohesión depende de los reactivos que se utilizaron.

Después de una buena decantación es ideal la utilización de un filtro para recibir agua de calidad constante, y poco cargada de contaminantes. La filtración entonces viene a ser un tratamiento de acabado que brinda la seguridad de eliminar la carga contaminante presente en el agua.

En el caso de los efluentes de la industria textil las impurezas provenientes de la utilización de ácidos, álcalis, productos auxiliares inclusive metales como el aluminio, hierro y el cobre se eliminan muy bien mediante la coagulación- floculación con sulfato de aluminio y la posterior sedimentación, pero en cuanto al color y metales pesados como el cromo y el níquel se da una

reducción de aproximadamente el 50 % , de ahí la necesidad de efectuar la filtración a través de materiales especiales que puedan ayudar a la reducción de estos contaminantes .

La filtración puede efectuarse en muchas formas. A continuación se indica la clasificación de los filtros según varios aspectos:

Según el soporte del lecho filtrante

- Filtración a través de un soporte delgado

Incluyen filtros que se utilizan para una filtración muy fina (microfiltración)

- Micro filtración en superficie libre

No tiene acción sobre el color y sustancias orgánicas disueltas su efecto está destinado a la fracción gruesa de materia en suspensión.

- Micro filtración a presión

Se realiza con diferentes tipos de filtros como filtros con discos apilados, filtros de platillos, filtros de cartuchos, todos éstos sirven para algas, ciertas bacterias y elementos fibrosos.

- Filtración a través de un soporte grueso

En éste tipo de filtración no solo se produce una retención en superficie, sino también una retención sobre una cierta profundidad. La porosidad se obtiene según los casos con hilos de algodón, vidrio, polipropileno, etc., o también con productos aglomerados porosos como metal, arena, porcelana, plástico, etc.

- Filtración a través de un soporte con precarga

Se utilizan para el tratamiento de caudales importantes, sin que se produzca el atascamiento irreversible de los elementos filtrante.

Según la velocidad de filtración

- Filtración lenta

La filtración lenta tiene por objeto la depuración de las aguas de superficie sin coagulación ni decantación previa. Las enzimas segregadas por las algas y microorganismos (membrana biológica), que se fijan sobre la arena coagulan las materias coloidales.

La acción de éste tipo de filtro es limitada pues no elimina todos los micro contaminantes (fenoles, detergentes, pesticidas), entre otros.

- Filtración rápida

En el proceso de filtración rápida, el agua atraviesa el lecho filtrante a una velocidad mayor. La acción biológica es casi nula, se observa solamente una nitrificación en ciertos casos en los que se limita la velocidad, el contenido en oxígeno es suficiente y se encuentran en el agua bacterias nitrificantes en condiciones nutritivas favorables.

- Filtración directa

Cuando en el agua a filtrar no se añadieron reactivos previamente

- Filtración con coagulación sobre filtro

Este tipo de filtración se puede aplicar en aguas que no han sido decantadas anteriormente y son poco coloreadas.

- Filtración de agua coagulada y decantada

Estos filtros se encuentran en la situación ideal que consiste en recibir un agua de calidad prácticamente constante y poco cargada proveniente de la coagulación-floculación y la sedimentación.

Según el sentido del flujo

- Ascendente
- Descendente

- Mixto

El flujo ascendente de abajo hacia arriba, descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente).

Según la carga sobre el lecho

Depende cual sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante puede ser:

- Por gravedad

En la filtración realizada por gravedad el factor económico es la variable que define su preferencia de uso. Cuando el flujo es descendente, la filtración rápida puede realizarse en filtros de lecho único de arena o de lechos múltiples combinados.

- Por presión

El agua se hace pasar a presión con una gran velocidad de filtración. Generalmente estos filtros operan sin sedimentación previa, pero es conveniente emplear coagulación. (PERRY D, COX, & BEGER, 2010, págs. 453-478)

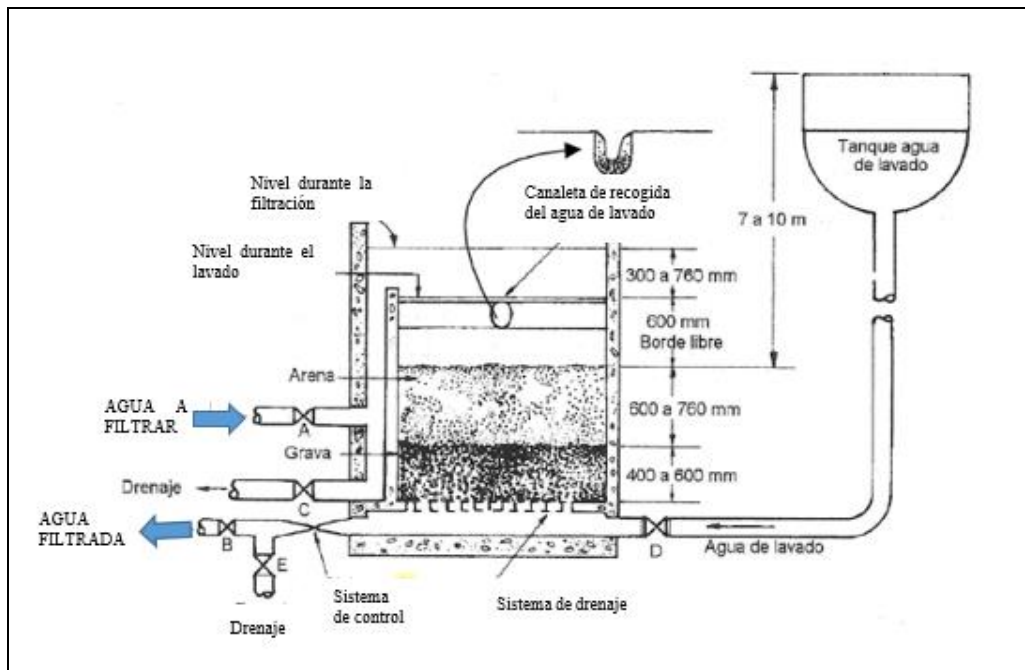


Figura 5-1. Esquema de un filtro rápido convencional de flujo descendente por gravedad de medio granular

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, 2000.

Para realizar la operación de filtración en el filtro representado en la figura 5-1. Se debe:

- Abrir la válvula A para permitir la entrada del agua a filtrar.
- Abrir la válvula B para permitir que el agua fluya a través del filtro.
- Durante la filtración deben estar cerradas la demás válvulas C, D y E

Para realizar la operación de lavado del filtro (por inversión de flujo):

- Cerrar la válvula A
- Cerrar la Válvula B cuando el nivel del agua en el filtro descienda.
- Abrir las válvulas C y D, esto permite que el agua del tanque de lavado fluya a través del lecho filtrante, expandiendo la arena y lavando los sólidos acumulados en la superficie de la misma ,arrastrándolos fuera del filtro.

Para aguas residuales provenientes de la industria textil es recomendable la filtración a través de un lecho filtrante formado por materiales especiales como el carbón activado ya que éste sirve para retener materias recalcitrantes contenidas en el agua.

Es preciso que el o los materiales que componen el lecho, se elijan cuidadosamente, tanto en su granulometría como en la altura de capa, de forma que las materias puedan penetrar profundamente dentro del lecho y no bloquearlo en su superficie, cuando se pretende obtener la clarificación óptima del agua, se aplica la filtración rápida

Un filtro se atasca a medida que su lecho se carga de materiales retenidos. Cuando el atascamiento alcanza un valor excesivo o la calidad del filtrado no es aceptable, debe procederse al lavado del lecho filtrante.

Es indispensable que, con este lavado, se devuelvan al lecho sus cualidades iniciales, sin las cuales, el filtro iría perdiendo eficacia y el material filtrante debería retirarse para su limpieza completa o para ser reemplazado.

El buen funcionamiento de un filtro depende del perfecto reparto a través de la masa filtrante del agua a filtrar.

Según las características de las partículas que deben retenerse, puede efectuarse la filtración sobre una capa de mayor o menor altura, de material homogéneo, sobre dos o varias capas de diferentes

granulometrías o, por último, sobre una o varias capas de materiales de granulometría totalmente heterogénea y escalonada.

Para asegurar una buena filtración, un filtro debe reunir numerosas condiciones. No existe un filtro universal, sino filtros adaptados especialmente, a cada uno de los problemas que se plantean.

- Filtración a través de carbón activado y arena

Después de una filtración a través de carbón activo, se obtiene una reducción suficiente de los contaminantes indeseables o tóxicos como los contenidos de cromo, níquel, etc. Llegando a ser inferiores al nivel aconsejable por la reglamentación en vigor.

Además, el carbón activado es un excelente adsorbente que presenta una alta superficie específica y elevada porosidad, es uno de los materiales adsorbentes convencionalmente más utilizado en el tratamiento de los efluentes textiles por su alta capacidad de adsorción de colorantes.

Un filtro que contenga carbón activado debe también componerse de arena ya que ésta se encarga de reducir la velocidad del agua y la distribuye uniformemente, pues el carbón activado sólo, no es suficiente para eliminar los contaminantes puesto que algunos de ellos podrían traspasar el filtro sin ser adsorbidos. (http://www.ambientum.com/revista/2003_03/CARBON.htm)

1.1.4.3. Tratamiento químico

a) Cloración

Después de la coagulación-floculación, filtración a través de arena y de carbón activado, el agua residual se ha clarificado pero el color aun excede el límite que exige la normativa.

En el tratamiento de aguas residuales, la etapa de cloración juega un papel importante especialmente cuando la disposición final del agua está dirigida a riego ya sea de parques recreativos o para uso agrícola, aplicaciones en las cuales la calidad del efluente y la seguridad del mismo son un requisito importante para la salud humana.

La cloración, ha sido una de las tecnologías más utilizadas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales como desinfectante, además de usarse para la remoción de color y olor. Esto en gran parte se debe a sus propiedades oxidantes, biocidas, su bajo costo y fácil manipulación con respecto a otros productos existentes en el mercado.

Generalmente el cloro puede utilizarse en tres formas:

- Hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$

Éste puede aplicarse en polvo seco o dispersarse apropiadamente en tabletas, su problema radica para aguas duras ya que puede llevar a la formación de costra.

- Cloro gas

Es la forma menos cara para grandes dosis, pero el uso de cloro gaseoso licuefactado sobrelleva un cierto riesgo asociado a la fuga accidental de gas.

- Hipoclorito de sodio NaClO

Es un sólido que por su inestabilidad se lo utiliza comúnmente en soluciones acuosas, es ampliamente utilizado como desinfectante.

Se puede mejorar el color del agua efectuando una adición suplementaria de cloro en una dosis muy pequeña, sin exceder el punto crítico para que el agua clarificada no contenga cloro residual en exceso y afecte sus propiedades.

La acción del cloro está muy influenciada por el pH, cuando más elevado es éste, mayor es la dosis de cloro residual. La cloración con hipoclorito cálcico o sódico tienden a aumentar el pH de mientras que el cloro gas disminuye el pH. El tiempo de reacción del cloro en el agua es de 30 minutos (PERRY D, COX, & BEGER, 2010, págs. 952-958)

1.1.4.4. Tratamiento de lodos

A lo largo de los procesos de depuración mencionados anteriormente se van a producir lodos o fangos que hay que tratar antes de ser evacuados de la planta de tratamiento de agua residual.

Los lodos generados en la industria textil son una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que se caracterizan por un alto contenido de residuos de metales provenientes de los colorantes, coloración oscura y pueden presentar olores característicos (en dependencia de los residuos que contengan).

Para tratar los lodos primero se debe distinguir como se presentan éstos, y pueden ser:

- Lodos líquidos aquellos que involucran el agua de arrastre en gran cantidad.
- Lodos concentrados que son aquellos a los cuales se les ha sacado una buena parte de agua de arrastre mediante métodos como la sedimentación u otro similares.
- Lodos semisólidos que son aquellos muy concentrados se les ha extraído mucha humedad al punto que pueden ser manejables y transportables en ese estado semi sólido. (Arboleda , 2000, pág. 291)

a) Espesamiento

Por lo general los lodos presentan una sequedad del 3 al 5% que es demasiado baja y necesitan ser concentrados mediante una nueva sedimentación con el fin de disminuir su volumen.

Los sistemas de espesamiento frecuentemente utilizados son de dos tipos:

- Gravedad
- Flotación

Ambos procesos se basan en principios de sedimentación y flotación para eliminación de sólidos en suspensión.

b) Estabilización

La estabilización sirve para destruir la materia orgánica biodegradable presente en el lodo (sobre todo los procedentes de un tratamiento biológico) a fin de evitar la putrefacción de los mismos

Un sistema de estabilización puede ser mediante un acondicionamiento químico, con el empleo fundamentalmente de cal en una cantidad proporcional de 80-100 Kg por cada tonelada de lodo.

c) Deshidratación

Los fangos una vez espesados y estabilizados deben ser deshidratados hasta una concentración que permita su evacuación en forma sólida, facilitando el transporte hasta su destino final.

La concentración mínima en materia seca de las tortas deben ser igual o superior al 20%, para una buena evacuación. Los sistemas más utilizados son:

- Eras de secado
- Filtración (presión, vacío, etc)
- Centrifugación

El destino final de los lodos deshidratados puede ser el vertedero de residuos sólidos o la reutilización con fines agrícolas.

Los lodos que se producen en la industria textil no pueden ser utilizados en procesos de compostaje agrícola o incorporados al suelo ya que el contenido de metales es un inconveniente, obligando a que su destino final sea un vertedero de desechos sólidos. (<http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-deshidratacion.htm>)

1.2. Fábrica de textiles “Hilario”

La fábrica de textiles “Hilario” se encuentra en funcionamiento desde hace 12 años, se dedica a la fabricación de telas en una amplia variedad de colores y texturas, las mismas que son utilizadas para la confección de prendas de vestir en especial ropa interior y ropa de niños.

En su planta de producción se produce telas de dos tipos: poliéster 100% y poli algodón 65/35 %, en una amplia variedad de tonos sean esto bajos, medios y fuertes.

Su proceso va desde la tejeduría hasta la obtención de tela acabada. La planta cuenta con 6 trabajadores: 5 para el área de producción de los cuales 2 trabajadores son ocasionales y 1 para el área administrativa.

El tiempo que cada trabajador dedica a la ejecución de sus actividades es de 8 horas diarias de lunes a viernes.

En la fábrica se procesa 200 Kg de tela diarios, es decir 10 piezas o rollos de tela, cada rollo tiene un peso de 20 Kg. Para cada lote el proceso de fabricación requiere diferentes etapas en seco y húmedas siendo estas últimas: el descruce, teñido, fijado, lavado químico y enjuagues repetitivos, procesos en los cuales se utiliza un volumen de agua de 2500 litros por cada baño o parada.

El agua residual procedente de cada etapa del proceso productivo se descarga en forma intermitente y convergen en un tanque de almacenamiento para posteriormente ser vertidas en los terrenos aledaños a la fábrica sin ningún tratamiento previo.



Figura 6-1. Generación de aguas residuales en la fábrica

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

1.2.1. Aspectos generales de la fábrica de textiles “Hilario”

- **Materia Primas**

- *Hilo crudo*

Se trabaja con dos tipos de hilos: 100 % poliéster y 65/35 % poli algodón, de diferente tamaño y grosor generalmente hilos de 40/1,24/1, que son los más utilizados, mientras más bajo es el número del hilo más grueso es éste. Ésta materia prima se importa desde Indonesia.

- *Colorantes y Productos Auxiliares*

Los agentes químicos que se utilizan en el proceso de producción son provistos por REQUITEX que es una empresa que provee los productos químicos para este tipo de industria.

- **Servicios Básicos**

La empresa cuenta con servicios básicos como: agua potable, energía eléctrica, vías de acceso, servicio de recolección de residuos sólidos. Y carece de un sistema de alcantarillado.

- **Sistema de trabajo**

La fábrica labora bajo el sistema de producción por lotes (Batch).

1.2.2. Proceso de producción de telas de la fábrica de textiles “Hilario”

El proceso de producción de la fábrica de textiles “Hilario” para la transformación de hilo crudo en tela acabada consta de varias etapas, en la planta se fabrican dos tipos de telas: poliéster y poli algodón para los cuales el proceso es el mismo pero difieren en las cantidades de los productos químicos que se utilizan para cada fibra.

1.2.2.1. Etapas del proceso de fabricación de telas

a) Recepción de Hilo Crudo

El hilo al llegar a la planta de producción es almacenada en un espacio del área de tejeduría, clasificado de acuerdo a su tipo de fibra del que proviene sea poliéster o poli algodón y de acuerdo al tamaño y grosor.



Figura 7-1. Almacenamiento de Hilo Crudo

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

b) Tejeduría

El hilo crudo es colocado en las máquinas hiladoras circulares o rectilíneas donde los hilos se entrelazan para formar mallas. La fábrica cuenta con siete máquinas donde mediante diferentes métodos de tejeduría como: interlock, jersey, ribb, fix, y acanalada, se obtiene una variedad de diseños de tela.

Se fabrica un aproximado de 5 piezas o rollos de tela cruda cada 8 horas, cada pieza tiene un peso de 20 Kilogramos. Una vez finalizada la tejeduría los rollos de tela cruda son transportados al área de teñido.



Figura 8-1.Máquina tejedora circular

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017



Figura 9-1.Rollos de tela cruda

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

c) Descrude

Primeramente se llena con agua la máquina jet que tiene una capacidad de 2500 litros, este procedimiento dura 10 minutos, para posteriormente introducir la tela cruda que está previamente preparada es decir desenrollada. La carga promedio de la tela es de 200 kilogramos (10 piezas).

Cuando el baño alcanza una temperatura de 50 °C se agrega detergente, humectante y un regulador de pH, se eleva la temperatura a 90 °C y se deja en circulación durante 30 minutos. Después se descarga el baño es decir se abre la llave para la salida de agua del Jet, se descarga 2500 litros de agua aproximadamente en 15 minutos

Esta etapa del proceso permite eliminar las impurezas o suciedades adheridas a la tela cruda proveniente de la tejeduría preparándola para las posteriores etapas ya que si no son removidas correctamente pueden provocar manchas o desigualdades al momento del teñido.



Figura 10-1.Máquina jet

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

d) Teñido

Nuevamente se carga el jet con 2500 litros de agua, se disuelve el colorante conjuntamente con los productos auxiliares como: dispersante, igualante, secuestrante y un regulador de pH. Se circula la tela en el baño de teñido durante 30 minutos con agua fría, posteriormente se eleva la temperatura a 130°C y se circula durante 60 minutos para que el colorante sea transferido, distribuido y penetrado mayoritariamente a la tela.

Al final de esta etapa se deja enfriar la máquina a 90 °C y se descarga el agua del jet en un lapso de 15 minutos.

El teñido se lo realiza en las máquinas por agotamiento: jet (colores fuertes y medios) y en la maquina barca (colores bajos).



Figura 11-1.Máquina jet para colores fuertes y medios

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017



Figura 12-1.Máquina barca torniquete para colores bajos

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

e) Fijado

Se introducen nuevamente 2500 litros de agua al jet, se agrega un agente fijador y una solución álcali, se deja circular el baño durante 1 hora a una temperatura de 80 °C. Después se abre la llave para que se descargue el agua del Jet.

Esta etapa post teñido es una de las más importantes ya que se encarga de incrementar la afinidad de los colorantes sobre la tela.

f) Lavado Químico

Introducir nuevamente 2500 litros de agua para poder lavar la tela, se utiliza detergente y secuestrante, el baño se lo realiza en caliente a una temperatura de 90°C durante 20 minutos, y se descarga el baño. El lavado tiene por objeto primordial eliminar el colorante residual de la superficie de la tela.

g) Enjuagues repetitivos

Se carga el jet con 2500 litros de agua, el baño se da solamente con agua a una temperatura de 20 °C durante 20 minutos, concluido el tiempo se descarga el agua. Generalmente se realizan dos enjuagues. Los enjuagues permiten retirar los productos químicos utilizados en etapas anteriores.

h) Centrifugado

La tela tinturada es llevada y colocada en la centrifugadora con el fin de eliminar el agua que se encuentra dispersa en la superficie de la tela bajo acción de fuerza centrífuga. Este proceso dura aproximadamente 15 minutos.



Figura 13-1.Centrifugadora

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

i) Secado

El proceso de secado tiene por objeto eliminar el excedente de agua que presenta la tela y no pudo ser removido en la centrifugación, este proceso debe ser monitoreado ya que un secado excesivo

puede perjudicar la apariencia de la tela. El secado se lo realiza mediante acción de aire caliente que hace que el agua restante se evapore, la tela se coloca verticalmente sobre secadores tubulares, este proceso dura aproximadamente 10 minutos.



Figura 14-1.Secadores tubulares

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

j) Calandrado

Es un acabado mecánico que se realiza en la calandra que es una máquina que consta de un conjunto de rodillos que se tocan y ejercen presión entre ellos y a su vez circula una corriente de vapor caliente para que al pasar la tela queda completamente alisada. Esta etapa es importante para que la tela adquiera un viso especial.



Figura 15-1.Secadores tubulares

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

k) Embalaje

Los rollos de tela acabada se enrollan y se embalan mediante una envoltura plástica con el objeto de proteger la tela para evitar daños en su apariencia.



Figura 16-1.Embalaje de tela acabada

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

l) Almacenamiento

Los rollos de tela embalados se colocan en la bodega de almacenamiento lo que permite tener a la empresa tener un control de los productos permitiendo así dar una mejor comercialización y la tela finalmente esta lista para su distribución.



Figura 17-1. Almacenamiento de tela acabada

Fuente: Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

1.2.2.2. Diagramas de flujo de entradas y salidas del proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”

✚ Diagrama de flujo de entrada

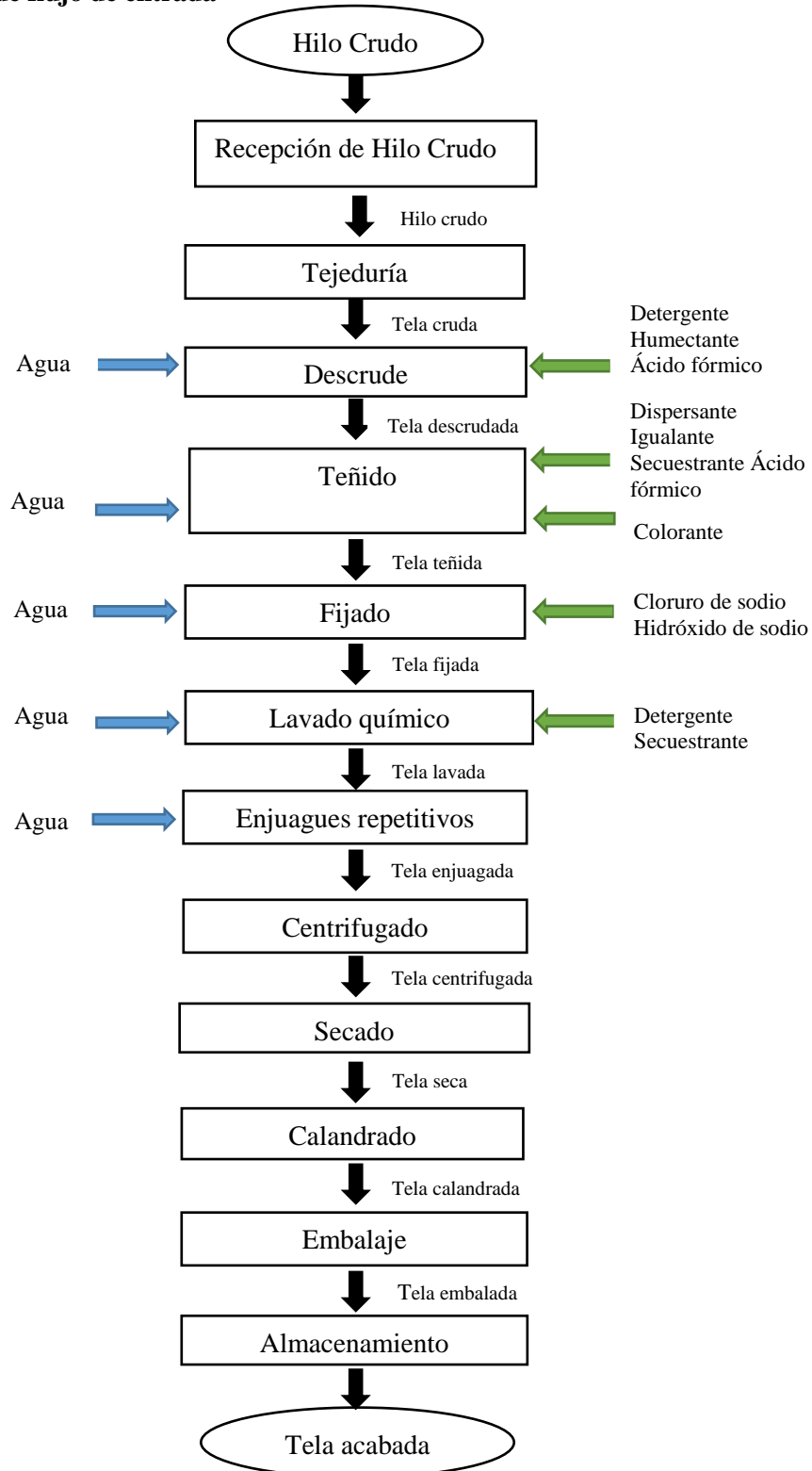


Figura 18-1. Diagrama de flujo de entradas del proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”

Fuente: Fábrica de textiles “Hilario”, 2017

Diagrama de flujo de salidas

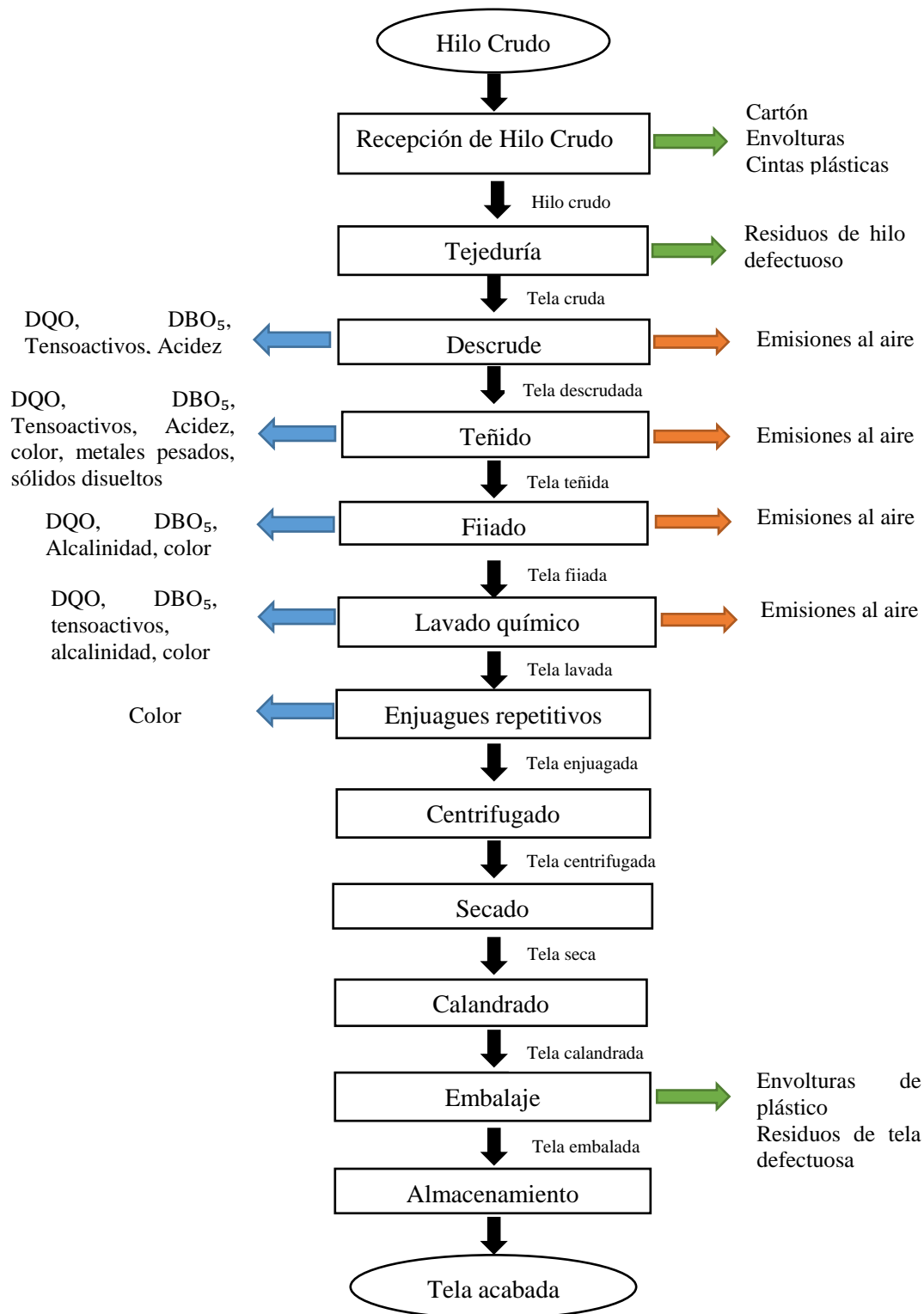


Figura 19-1. Diagrama de flujo de salidas del proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”

Fuente: Fábrica de textiles “Hilario”,2017

1.2.3. Agentes Químicos utilizados en el proceso de producción de telas de la Fábrica de Textiles “Hilario”

En los procesos húmedos descritos anteriormente se requiere de agentes químicos como son los colorantes y productos especiales conocidos como auxiliares del teñido, estos químicos son una parte fundamental ya que sirven para incrementar las propiedades de la tela terminada mejorando la calidad del teñido en cuanto a textura, suavidad, firmeza, resistencia al lavado y a la luz.

1.2.3.1. Colorantes

Son productos químicos que tienen la capacidad de dar color a las fibras textiles, los colorantes pueden ser naturales o artificiales, en la actualidad este tipo de industria ha adoptado casi en su totalidad por los colorantes artificiales puesto que tienen mejores propiedades que los naturales como la persistencia del color. (LOCKUAN F, 2012, pág. 82)

En la industria textil se utiliza diferentes colorantes que dependen del tipo de fibra a procesar ya sea natural, artificial o sintética, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2-1.Tipos de colorantes de la industria textil

Fibra	Colorante
Mezcla (natural y sintética)	Directo , reactivo ,a la tina ,al azufre ,naftol
Poliéster	Disperso y básico
Poliamida	Disperso , ácido , premetalizado
Acetato	Disperso
Lana y seda	Ácido , premetalizado
Acrílico	Disperso y básico

Fuente: LOCKUÁN F., La industria textil y su control de calidad, 2012, pp.82

La selección del colorante está basado en el desempeño deseado, en las restricciones de producción y en los costos.

Los colorantes que se utilizan en la fábrica de textiles “Hilario” se detallan a continuación:

Tabla 3-1.Colorantes utilizados en la fábrica de textiles “Hilario”

Fibra	Colorante
Poliéster 100 %	Disperso
Poli algodón 65/35 %	Reactivo

Fuente: Fábrica de textiles “Hilario”,2017

- Los colorantes dispersos son compuestos orgánicos con muy baja solubilidad que proporcionan una forma satisfactoria y fácil de teñir fibras sintéticas como el poliéster, debido a su excelente migración y difusión en la fibra, el poliéster se tiñe mejor que con tintes insolubles que con los que se disuelven fácilmente en agua.
- Los colorantes reactivos son un tipo de colorantes que forman una fuerte liga química con la fibra, muy utilizados para el teñido de fibras naturales, sintéticas y artificiales. Estos colorantes logran una solidez aceptable del color en fibras como el poli algodón y se utiliza sal con el fin de desplazar el color hacia la fibra en el menor tiempo posible, son compuestos altamente solubles en agua.

La utilización de cada tipo de colorante determina la presencia de metales pesados en los efluentes textiles, muchos de éstos se generan durante el proceso de teñido.

En la siguiente tabla se muestra algunos metales encontrados en diferentes tipos de colorantes.

Tabla 4-1. Metales pesados en diferentes colorantes.

Clase de colorante	Metales
Disperso	Cobre
Reactivo	Cobre y Níquel
Ácido	Cobre, cromo, cobalto
Premetalizado	Cobre, cromo, cobalto
Mordante	Cromo

Fuente: BAE S.J., Influencia de los contaminantes en ecosistemas acuáticos, 2006, pp.30

1.2.3.2. Auxiliares

Los productos auxiliares forman parte de las reacciones químicas que se dan en los procesos húmedos de la industria textil y su utilización tiene como finalidad ayudar a mejorar la calidad de los procesos y serán eliminados posteriormente mediante lavados y enjuagues.

A continuación se mencionan los auxiliares del teñido que se emplean en la fábrica de textiles “Hilario”:

- **Detergente (Degreast Liq)**

Un detergente es una mezcla de sustancias que influyen sobre la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases lo que permite desprender o eliminar la suciedad e impurezas presentes en la tela.

- **Humectante (Humectante OT 805 Liq)**

Los agentes humectantes son un requisito fundamental en baños acuosos ya que permiten la inmersión total de la tela.

El uso de estos agentes depende de la naturaleza del material a teñir facilitando la penetrabilidad de colorante.

- **Regulador de pH (Ácido H)**

Sirve para regular el pH de los baños acuosos en un rango entre 4 y 5, se utiliza una dilución de ácido fórmico.

- **Dispersante(Dispersante 5D Liq)**

Permite que las moléculas del colorante se encuentren en movimiento facilitando la penetración del mismo en la fibra logrando mantener una dispersión estable del colorante durante el proceso de teñido y evitar así los molestos precipitados.

- **Igualante (Igualante DM Liq)**

Los agentes igualantes permiten incrementar la movilidad de las moléculas del colorante sobre la fibra, son los encargados de la uniformidad del color evitando así las desigualaciones.

- **Secuestrante (Secural TS Liq)**

Los secuestrantes son agentes que tienen por objeto eliminar los metales pesados y alcalinotérreos que contienen las fibras textiles y pueden formar compuestos con el colorante disminuyendo la migración del colorante hacia la fibra.

La presencia de metales pesados también produce interferencia con el desempeño de los auxiliares.

- **Fijador de color (Sal n°3)**

Es uno de los auxiliares más importantes del post teñido ya que se encarga de mejorar la resistencia del color a los efectos del lavado y la luz.

- **Dador de álcali (Sosa caustica)**

El objetivo de adicionar hidróxido de sodio al baño de fijado es generar un medio alcalino estable donde se ajusta el pH entre 11,5 y 12,5 debido a las ventajas operativas.

Tabla 5-1. Productos auxiliares utilizados en la fábrica de textiles “Hilario”

Proceso	Producto Químico	Función
Descrude	Degreast Liq	Detergente
	Humectante OT 805 Liq	Humectante
	Acido H	Regulador de pH
Teñido	Dispersante 5D liq	Dispersante
	Igualante DM liq	Igualante
	Secural TS liq	Secuestrante
	Acido H	Regulador de pH
Fijado	Sal n°3	Fijador de color
	Sosa caustica	Dador de álcali
Lavado Químico	Degreast Liq	Detergente
	Secural TS liq	Secuestrante

Realizado: Karina Ramos

Fuente: Datos de la Fábrica de Textiles “Hilario”,2017

1.3. Diseño del sistema de tratamiento del agua residual

1.3.1. Caudal de diseño

El caudal de diseño constituye un dato fundamental para la formulación efectiva y el diseño de las unidades que conforman un sistema de tratamiento de aguas residuales.

El caudal se define como el volumen de agua que llega al sistema de tratamiento por unidad de tiempo. Se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{v}{t} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

Dónde:

Q= caudal ($\frac{m^3}{h}$)

V=volumen (m^3)

t = tiempo (h)

Una vez conocido el caudal se puede determinar el caudal de diseño, haciendo uso del factor de mayorización, el cual permite sobrellevar las variantes máximas que puede presentar el caudal debido a diversos factores como aumento de la producción.

Al admitir dichas variaciones de caudal se evita problemas como el reboso del agua residual y por ende la descarga sin importar la calidad de la misma.

La ecuación del caudal de diseño es la siguiente:

$$Q_D = Q + Q (FM) \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Dónde:

Q_D = caudal de diseño ($\frac{m^3}{h}$)

Q=caudal promedio ($\frac{m^3}{h}$)

FM = factor de mayorización

1.3.2. *Volumen de agua residual a tratar por día*

El volumen del agua a tratar es un dato fundamental para el correcto dimensionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento, una vez conocido el caudal de diseño se puede determinar el volumen de agua residual a tratar por día mediante la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{V_T}{t} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Despejando el volumen:

$$V_T = Q_D t \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Dónde:

V_T =volumen de agua residual a tratar por día (m^3)

Q_D = caudal de diseño ($\frac{m^3}{h}$)

t=horas de trabajo de la fábrica o jornada laboral

1.3.3. Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento que posee la fábrica es funcional, pero se necesita conocer si el volumen del mismo es lo suficientemente grande como para retener el volumen del agua residual que se genera durante la jornada de trabajo.

1.3.3.1. Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento

Para determinar el volumen del tanque rectangular se utilizará la expresión:

$$V_{TA} = l \cdot a \cdot h \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Dónde:

V_{TA} =Volumen del tanque de almacenamiento (m^3)

l =largo del tanque de almacenamiento (m)

a =ancho del tanque de almacenamiento (m)

1.3.3.2. Cálculo del área del tanque de almacenamiento

Se utilizará la fórmula del área de un rectángulo, dada la forma geométrica del tanque de almacenamiento.

$$A_{TA} = l \cdot a \quad \text{Ecuación 6-1}$$

Dónde:

A_{TA} =Área del tanque de almacenamiento (m^2)

l =largo del tanque de almacenamiento (m)

a =ancho del tanque de almacenamiento (m)

1.3.4. Diseño del tanque circular de sedimentación

1.3.4.1. Cálculo del área del sedimentador

Para determinar el área del sedimentador se utilizara la expresión de Metcalf-Eddy, la cual está en función de la carga superficial y está dada por la expresión:

$$C_s = \frac{Q_D}{A_s} \quad \text{Ecuación 7-1}$$

Despejando el área de la ecuación anterior se tiene:

$$A_s = \frac{Q_D}{C_s} \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Dónde:

C_s = carga de superficie (m^3/m^2h)

A_s = Área superficial del tanque sedimentador (m^2)

Q_D = Caudal de agua residual (m^3/h)

Para conocer el valor de la carga superficial se puede hacer uso de la siguiente tabla:

Tabla 6-1. Criterios para el diseño de sedimentadores circulares

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Tiempo de retención (h)	1.5-3	2
Carga superficial (m^3/m^2 día)	10-50	40
Profundidad (m)	3-5	3.6

Fuente: Metcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales; Romero Rojas J, Tratamiento de aguas residuales; Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores 2005.

1.3.4.2. Cálculo del radio del sedimentador

$$r_s = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}} \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Dónde:

r_s = radio del sedimentador, (m)

A_s = Área del sedimentador, (m^2)

1.3.4.3. Cálculo del diámetro del sedimentador

$$\phi_s = 2r_s \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Dónde:

ϕ_s = diámetro del sedimentador circular (m)

r_s = radio del sedimentador circular (m)

1.3.4.4. Cálculo del volumen de la parte cilíndrica del sedimentador

$$V_{sc} = \pi r^2 h_s \quad \text{Ecuación 11-1}$$

Dónde:

V_{sc} = Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador (m³)

r = radio del tanque sedimentador (m)

h_s = altura de la parte cilíndrica del sedimentador (m)

Para calcular la altura del sedimentador se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla 7-1. Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares

PARÁMETROS	INTERVALO	TÍPICO
Rectangular		
Profundidad (m)	3 – 4,5	3,6
Longitud (m)	15 – 90	25 – 40
Anchura (m)	3 – 25	5 -10
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,6 – 1,2	0,9
Circular		
Profundidad (m)	3.5 – 4.5	4.0
Longitud (m)	3 – 60	12 – 45
Anchura (m)	6,25 – 16	8
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,02 – 0,05	0,03

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales, 1995

1.3.4.5. Cálculo del volumen de la parte cónica del sedimentador

$$V_{pc} = \frac{\pi r^2 h_{pc}}{3} \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Dónde:

V_{pc} = Volumen de la parte cónica del sedimentador (m³)

r = radio del tanque sedimentador (m)

h_{pc} = altura de la parte cónica del sedimentador (m)

1.3.4.6. Cálculo del volumen total del sedimentador circular

$$V_T = V_{sc} + V_{pc} \quad \text{Ecuación 13-1}$$

Dónde:

V_{sc} = Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador (m^3)

V_{pc} = Volumen de la parte cónica del sedimentador (m^3)

1.3.4.7. Cálculo del tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo necesario para que las partículas suspendidas se depositen en el fondo del tanque sedimentador, se lo puede determinar con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{Q_D}{V_s} \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Dónde:

T_R = Tiempo de retención hidráulica, (h)

Q_D = Caudal de AR a tratar, (m^3/h)

V_s = volumen del sedimentador, (m^3)

Para determinar el tiempo de retención hidráulica también se puede utilizar los valores de la siguiente tabla:

Tabla 8-1. Tiempo de retención hidráulica para la sedimentación

Sedimentación primaria	Valor mínimo (h)	Valor típico (h)	Valor máximo (h)
Tiempo de retención para caudal medio	1,5	2	3
Tiempo de retención para caudal máximo	1	1,5	2

Fuente: Aurelio Hernández, PP. 98

1.3.4.8. Cálculo de potencia requerida del motor para la operación de mezclado

Para calcular la energía necesaria para realizar la operación de mezclado en el tanque sedimentador se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_M = G^2 \cdot \mu \cdot V_T \quad \text{Ecuación 15-1}$$

Dónde:

P_M = Potencia (W)

G = gradiente medio de velocidad (s^{-1})

μ = viscosidad dinámica ($N\ s/m^2$)

V_T = volumen del tanque sedimentador (m^3)

El gradiente de velocidad G se puede encontrar dependiendo el proceso puede ser mezclado o floculación como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9-1. Gradiente de Velocidad G y Tiempo de detención típica de los procesos de tratamiento de aguas residuales

Intervalo de Valores			
Proceso		Tiempo de Detención	Valor de G , s^{-1}
Mezclado	Operaciones de mezcla rápida típicas	5-20 s	250-1500
	Mezcla rápida en procesos de filtración de contacto	< 1-5 s	1500-7500
Floculación	Procesos de floculación típicamente empleados en el tratamiento del agua residual	10-30 min	20-80
	Floculación en procesos de filtración directa	2-10 min	20-100
	Floculación en procesos de filtración de contacto	2-5 min	30-150

Fuente: Metcalf- Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, 1995, PP. 245

El gradiente de velocidad de un fluido también se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$G = 0.25 n^{1.25} \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Dónde:

G = gradiente medio de velocidad del fluido (s^{-1})

n = velocidad de rotación (rpm)

1.3.4.9. Cálculo del porcentaje de remoción para DBO₅ y Sólidos Suspendidos

El porcentaje de remoción para DBO₅ y SST se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{T_{rh}}{a+bT_{rh}} \quad \text{Ecuación 17-1}$$

Dónde:

R = porcentaje remoción esperado (%)

T_{rh} = tiempo de retención hidráulica (h)

a y b = constantes empíricas

Para conocer los valores de las constantes a y b se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 10-1. Valores de las constantes empíricas a y b a 20 °C

Variables	A	B
DBO	0,018	0,020
SST	0,0075	0,014

FUENTE: CRITES R. and TCHOBANOGLOUS G

1.3.5. Diseño del filtro convencional lento

1.3.5.1. Cálculo del área del filtro

$$A_F = \frac{Q_D}{\text{tasa de filtración}} \quad \text{Ecuación 18-1}$$

Dónde:

A_F = Área del filtro (m²)

Q_D = caudal de diseño (m³/h)

Tasa de filtración = (m³/m² h)

1.3.5.2. Cálculo de la longitud del filtro

$$A_F = a \cdot l \quad \text{Ecuación 19-1}$$

Dónde:

A = área del filtro (m²)

a = ancho del filtro (m)

l = largo del filtro (m)

Despejando l:

$$l = \frac{A_F}{a} \quad \text{Ecuación 20-1}$$

1.3.5.3. Cálculo del volumen del filtro

$$V_F = l \cdot a \cdot h \quad \text{Ecuación 21-1}$$

Dónde:

V = volumen del filtro (m³)

a = ancho del filtro (m)

l = largo del filtro (m)

h = altura del filtro (m)

1.3.5.4. Cálculo del tiempo de retención

$$T_R = \frac{V_F}{Q} \quad \text{Ecuación 22-1}$$

Dónde:

T_R = tiempo de retención (h)

V_F = volumen del filtro (m³)

Q = caudal a tratar (m³/h)

1.3.6. Diseño del tanque de cloración

1.3.6.1. Peso de cloro necesario

$$P_{Cl} = Q_D \cdot D \quad \text{Ecuación 23-1}$$

Dónde:

P_{Cl} = Peso de cloro necesario (Kg/día)

Q_D = caudal de diseño (m³/día)

D = Dosis de cloro experimentado (Kg/m³)

1.3.6.2. Cálculo del área del tanque de cloración

El tanque de cloración será de forma circular de esta manera se facilitara el mezclado del agua y el cloro.

Para calcular el área de un tanque circular se partirá de la siguiente expresión:

$$V = \pi r^2 h \quad \text{Ecuación 24-1}$$

Dónde:

V= volumen del agua residual a tratar (m³)

r= radio del tanque de cloración (m)

h = Altura del tanque de cloración (m)

1.3.6.3. Cálculo del radio del tanque de cloración

$$r_{TC} = \sqrt{\frac{A_{TC}}{\pi}} \quad \text{Ecuación 25-1}$$

Dónde:

r_{TC}= radio del tanque de cloración (m)

A_{TC}= Área del tanque de cloración (m)

1.3.6.4. Cálculo del diámetro del tanque de cloración

$$\phi_{TC} = 2r_{TC} \quad \text{Ecuación 26-1}$$

Dónde:

ϕ_{TC}= diámetro del tanque de cloración (m)

r_{TC} = radio del tanque de cloración (m)

1.3.6.5. Cálculo del volumen del tanque de cloración

$$V_{TC} = \pi r^2 h_{TC} \quad \text{Ecuación 27-1}$$

Dónde:

V_{TC}= Volumen del tanque de cloración (m³)

r= radio del tanque de cloración (m)

h_{TC}= altura del tanque de cloración (m)

1.3.6.6. Cálculo de potencia requerida del motor para la operación de mezclado

Para calcular la energía necesaria para realizar la operación de mezclado en el tanque de cloración con el fin de disolver el hipoclorito de calcio en el agua, se utiliza la ecuación 15-1.

1.4. Marco legal

1.4.1. Normas legales Nacionales

1.4.1.1. Constitución Política de la República del Ecuador, publicada en el R.O. n° 449 del 20 de Octubre del 2008 .Título II: DERECHOS, Capítulo Segundo: Derechos del Buen Vivir, Sección Segunda: Ambiente Sano.

El Art. 14, determina que: “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.”

En el Art. 15, se indica que: “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

En el Art. 66, numeral 27. Se reconoce y garantizará a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

En el Art. 72. La naturaleza tiene derecho en la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

1.4.2. *Ley Reformatoria al Código Penal, Registro Oficial N° 2 del 25 de enero del 2000*

En esta ley se tipifican los delitos contra el Patrimonio Cultural, contra el Medio Ambiente y las Contravenciones Ambientales, además de sus respectivas sanciones, todo ello en la forma de varios artículos que se incluyen en el Libro II del Código Penal, entre ellas:

Art. 437 B. “El que infringiera las normas sobre protección ambiental, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiese causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyera un delito más severamente reprimido”.

Art. 437 K. “Además otorga potestad al sistema judicial para ordenar, como medida cautelar, la suspensión inmediata de la actividad contaminante, así como la clausura definitiva o temporal del establecimiento, sin perjuicio de lo que pueda ordenar la autoridad competente en materia ambiental”

1.4.3. *Ley de Gestión Ambiental*

Ley N° 37. Registro Oficial N° 245 del 30 de julio de 1999. Título III, Capítulo II, “DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y DEL CONTROL AMBIENTAL”.

Art. 22, determina que “Los sistemas de manejo ambiental en los contratos que requieran estudios de impacto ambiental y en las actividades para las que se hubiere otorgado licencia ambiental, podrán ser evaluados en cualquier momento, a solicitud del Ministerio del ramo de las personas afectadas”.

1.4.4. *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*

Los criterios de calidad de aguas para riego agrícola se detallan en la siguiente normativa del TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Tabla 3.

Tabla 11-1. Criterios de calidad de Aguas para riego agrícola

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	PelículaVisible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cínc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Fuente: Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Además de los criterios indicados en la tabla 3 la autoridad ambiental competente puede utilizar como guía la tabla 4 para una mejor interpretación de la calidad del agua para riego.

1.4.5. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales

Las Normas ecuatorianas se pueden encontrar los criterios a consideración para el tratamiento de aguas residuales y abastecimiento de agua potable, considerando la referencia de sistemas y procesos con tecnología adecuada.

En las normas IEOS (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias) constan de varias partes en donde se trata desde definición de términos, etapas a considerarse en el proyecto, normas de la calidad de agua con la concentración aceptable de las sustancias contaminantes, disposiciones específicas acerca de los requisitos para el diseño de los equipos a emplearse en el sistema; entre otros puntos los cuales se detallan en la mencionada norma.

a) Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Se toma como referencia la norma técnica 2198:98 acerca de la calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras; hace mención acerca de lineamientos específicos al momento de la toma de muestra de manera que sea significativa y los resultados no se distorsionen.

b) Otras Normas

Norma Técnica OS.090 "Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales" del Reglamento Nacional de Edificaciones según Decreto Supremo N° 022-2009-VIVIENDA, publicado en el Peruano el 27 de Noviembre 2009.

Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, publicada en 1995, Décima Parte (X) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Proyecto de Código Ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias, Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Rural.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología

2.1.1. Localización de la investigación

La fábrica de textiles “Hilario” se encuentra ubicada en la parroquia El Rosario perteneciente al cantón Guano provincia de Chimborazo, sus instalaciones se asientan en un terreno de su propiedad de superficie total de 2 hectáreas, y una superficie de construcción de 1500 m².

Esta zona es considerada un importante centro artesanal de tejidos de lana, su especialidad es la elaboración de alfombras por lo cual ha logrado fama internacional y entre los ecuatorianos es conocido por la dedicación de su gente.

Tabla 1-2. Localización geográfica de la fábrica de textiles “Hilario”

País	Ecuador
Región	Sierra
Provincia	Chimborazo
Cantón	Guano
Parroquia	El Rosario
Sector	El Mirador
Coordenadas geográficas	01°36'27" Latitud Sur 78°37'52" Longitud Oeste
Altitud	2300 msnm

Realizado: Karina Ramos, 2017

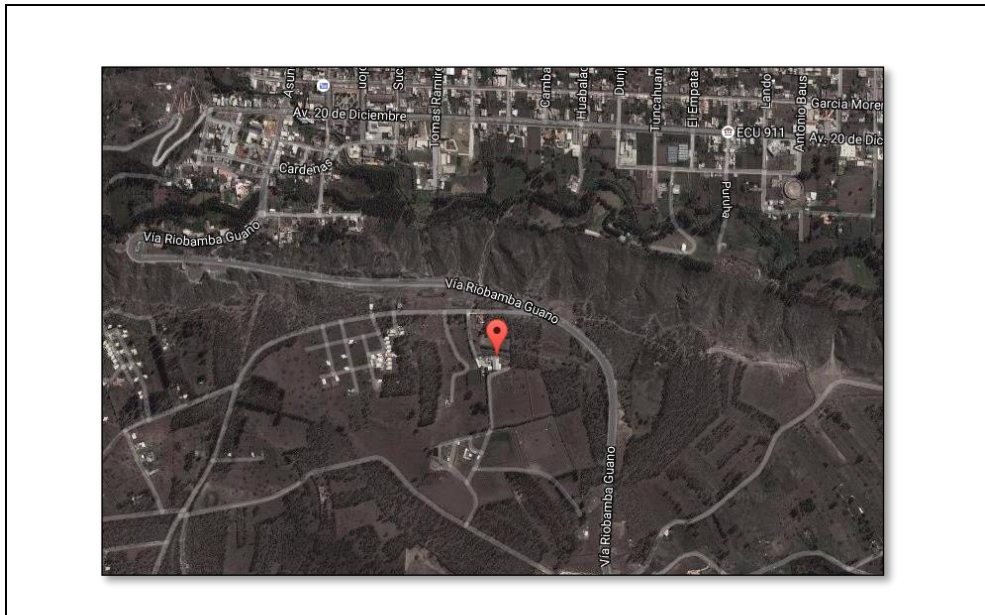


Figura 1-2. Ubicación Geográfica de la fábrica de textiles “Hilario”

Fuente: Google maps, 2017

2.1.2. *Método de recolección de la información*

Se empleó métodos como: el método inductivo, deductivo y experimental.

a) **Método Inductivo**

A partir circunstancias particulares como la medición del caudal, caracterización inicial del agua residual, pruebas de tratabilidad, caracterización del agua tratada, se determinará los cálculos de ingeniería mismos que serán el punto de inicio en el diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento.

b) **Método Deductivo**

Generalmente se dispone de diferentes sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales, su diseño estará en función del proceso de producción, carga contaminante, volumen de agua, etc. Entonces por medio de ésta información se va diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la fábrica de textiles “Hilario”.

c) **Método Experimental**

Este estudio se realizará a nivel de laboratorio, donde mediante la caracterización inicial del agua residual se conocerá los parámetros más importantes para este tipo de aguas residuales

provenientes de la industria textil como son: pH , coloración, DQO , DBO₅, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, contenido de residuos de metales pesados, tensoactivos ,etc., los mismos que ayudaran a determinar el diseño del sistema de tratamiento del agua residual más adecuado para la fábrica de textiles “Hilario”.

2.1.3. Muestreo

Un muestreo realizado de manera correcta proporcionará datos reales de la contaminación generada en el proceso de producción y es una pauta primordial para la elección del tratamiento que se dará a este tipo de aguas.

El muestreo se realizó de manera manual según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 para el manejo, muestreo y conservación del agua.

El tipo de muestreo que se ejecutó fue de tipo compuesto mediante la combinación de muestras individuales recolectadas en el tanque de almacenamiento donde se descarga el agua residual de cada una de las etapas del proceso que demandan la utilización de agua como son: descrude, teñido, fijado, lavado químico y enjuagues repetitivos.

Éstas muestras individuales se recolectaron en intervalos irregulares de tiempo, cada vez que se produjo una descarga al finalizar las etapas del proceso, observando las características del agua en cuanto a color, materias suspendidas y flotantes.

Se optó por el muestreo compuesto ya que el agua residual de cada una de las etapas del proceso se descarga en el mismo tanque de almacenamiento y la carga contaminante es variable en cada una de ellas debido a los diferentes agentes químicos empleados en el proceso.

A continuación se indica la tabla de planificación de muestreo para obtener 2 litros de muestra compuesta al día:

Tabla 2-2. Planificación del muestreo diario

Lugar de muestreo	N° de descarga	Tiempo de descarga	Etapas del proceso	Volumen de agua residual generado (l)	Porcentaje (%)	Volumen de agua residual recolectado (l)
Tanque de almacenamiento	1	9:40 9:55	Descrude	2500	16.666	0.333
	2	13:05 13:20	Teñido	2500	16.666	0.333
	3	14:30 14:45	Fijado	2500	16.666	0.333
	4	15:15 15:30	Lavado químico	2500	16.666	0.333
	5	16:00 16:15	Enjuague Repetitivo 1	2500	16.666	0.333
	6	16:45 17:00	Enjuague Repetitivo 2	2500	16.666	0.333
Volumen total				15000	100	2

Realizado: Karina Ramos, 2017

El muestreo se lo realizó en los días que se ejecutan los procesos húmedos es decir lunes, martes, miércoles y jueves ya que el día viernes está destinado a procesos secos como la tejeduría.

Aplicando la planificación del muestreo se realizó la toma de muestras durante 6 días, detallados en la siguiente tabla:

Tabla 3-2. Recolección de muestras

Tipo de tela	Días	Tipo de color	Color
100 % poliéster	1	Bajo	Beige
	2	medio	Amarillo oro
	3	fuerte	Menta
65/35 % poli algodón	1	Bajo	Mostaza
	2	Medio	Gris
	3	Fuerte	Rojo

Realizado: Karina Ramos, 2017

El muestreo para la tela poliéster como para poli algodón se lo realizó de la misma manera ya que las etapas del proceso de producción son las mismas al igual que el volumen de agua utilizado y generado, solamente difiere en las cantidades de los agentes químicos utilizados.

Posteriormente al muestreo el agua recolectada fue transportada al laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, en donde se efectuó las caracterizaciones físico-químicas del agua residual y las pertinentes pruebas de tratabilidad.

2.1.4. *Tratamiento de muestras*

Para llevar a cabo una correcta determinación de los parámetros del agua residual se debe tener en cuenta la importancia de conservar las muestras, para así retardar los cambios que sufre el agua después de ser retirada de su fuente, por ello es recomendable una vez realizado el muestreo llevar el agua al laboratorio donde será analizada.

Una vez realizada la caracterización inicial del agua residual, los datos resultantes de los respectivos análisis se relacionaron mediante el método comparativo con los valores de los diferentes parámetros de la Tabla 3 del TULSMA que indica los criterios de calidad de aguas para riego agrícola, haciendo énfasis en parámetros como metales pesados y potencial hidrogeno, ya que la fábrica descarga el agua residual en terrenos aledaños a la planta de producción utilizando la misma como agua de riego.

De acuerdo a los contaminantes que presentan este tipo de aguas residuales se determinó otros parámetros igualmente importantes como: color, ST, SST, SD, DQO, DBO₅ y tensoactivos, los mismos que se relacionaron como método de sustento con la Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

También se determinó parámetros como la conductividad y SDT relacionándolos con la Tabla 4, que indica los parámetros de los niveles de calidad de agua para riego.

Con la comparación de los datos resultantes y los valores de las tablas se puede identificar los parámetros que se hallan fuera del límite establecido los mismos que sirven para tomar decisiones oportunas en la selección de un adecuado sistema de tratamiento para este tipo de agua residual.

2.1.5. Equipos, materiales y reactivos

Los equipos, materiales y reactivos que se utilizaron a nivel de laboratorio para la caracterización inicial del agua residual así como para la caracterización final del agua tratada y las respectivas pruebas de tratabilidad se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-2. Equipos, Materiales y Reactivos

Equipos	Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Medidor multi parámetros• Espectrofotómetro HACH DR 2800• Turbidímetro• Baño María• Estufa• Digestor de DQO• Digestor de DBO• Balanza Analítica	<ul style="list-style-type: none">• Vasos de Precipitación• Cajas petri• Varillas agitadoras• Conos Imhoff• Matraz Erlenmeyer• Bureta• Pissetas• Pipetas• Probetas• Peras de Succión• Mangueras• Desecador• Viales• Balón de aforo• Carbón activado• Zeolita• Arena	<ul style="list-style-type: none">• Ácido ascórbico• Aluver 3• Bleaching 3• Hierro FerroVer• ChromaVer 3• Cuver1• Solución digestiva para DQO• Nutrientes para DBO• KOH• Sulfato de aluminio al 10 %• Pastillas de cloro• Agua destilada

Realizado: Karina Ramos, 2017

2.1.6. Métodos y técnicas

Entre las técnicas utilizadas están las técnicas in situ, y las técnicas de laboratorio, dentro de las cuales se especifican los diferentes métodos utilizados para determinar cada uno de los parámetros en el agua residual.

- **Técnicas in situ**

Éstas técnicas incluyen la determinación de parámetros, que por sus características o inestabilidad, deben medirse inmediatamente o es recomendable su medición en campo.

- **Temperatura**

La temperatura del agua está relacionada con la capacidad de solubilidad del agua, la medición se efectúa con la inmersión de un termómetro convencional o electrónico en el fluido, debe realizarse en el momento de la toma de muestra.

Este no es un parámetro con mayor relevancia en este estudio, puesto que si bien la temperatura del agua residual de algunas descargas es elevada, al final del proceso el agua residual acumulada en el tanque de almacenamiento alcanza la temperatura ambiente para luego ser sometida a un sistema de tratamiento .

- **Caudal**

Previamente identificado el lugar donde convergen las aguas residuales provenientes de las diferentes etapas del proceso productivo de la fábrica de textiles “Hilario”, se procedió a la medición del caudal mediante el método volumétrico.

Tabla 5-2. Medición de caudal

Fundamento	Materiales	Reactivos	Técnica	Cálculos
Se define como el volumen del líquido mediante un tiempo transcurrido.	Cronómetro Balde volumétrico	Agua Residual	Llenar el balde con el agua residual, medimos el tiempo que se demora en llenar. Repetimos el procedimiento unas cinco veces.	El caudal se calcula con la relación de volumen sobre tiempo.

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

La medición de caudales se realizó en las descargas de agua residual de cada una de las etapas del proceso productivo de la fábrica de textiles “Hilario”.

En la fábrica, los procesos húmedos se realizan los días lunes, martes, miércoles y jueves, los datos se tomaron el día lunes durante las 8 horas de trabajo, en las seis descargas del agua residual del proceso productivo.

- **Técnicas de laboratorio**

Las técnicas utilizadas para los análisis en el laboratorio se basan al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales) y el Manual de Análisis de Agua, método HACH.

Los análisis de las aguas residuales se realizaron en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- **Medición de la temperatura**

Tabla 6-2. Método Termométrico 2550 A.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Magnitud que mide el estado térmico de un sistema termodinámico en equilibrio.	- Termómetro	- Agua	- Introducir el bulbo del termómetro en la muestra - Esperar unos segundos hasta que se estabilice - Anotar el valor de temperatura	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Medición de la conductividad**

Tabla 7-2. Método Electrométrico 2510 B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>La conductividad es la capacidad que posee una solución acuosa de conducir la corriente eléctrica.</p> <p>El método consiste en la medida directa de la conductividad utilizando un equipo multi parámetros.</p>	<p>Vasos de precipitación</p> <p>Piseta</p>	<p>Agua residual</p> <p>Agua destilada</p>	<p>Encender el medidor multi parámetros</p> <p>Seleccionar el modo para medir la conductividad</p> <p>Colocar en una vaso de precipitación una muestra de agua residual</p> <p>Sumergir el electrodo o sonda</p> <p>Leer el valor que se muestra en la pantalla.</p> <p>Limpie el electrodo con agua destilada, seque y guarde el electrodo.</p>	<p>Lectura</p>

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Medición del color**

Tabla 8-2. Método espectrofotométrico 2120 C.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El término color se utiliza aquí para significar el color verdadero, es decir, el color real del agua.</p> <p>El color incluye no sólo el color debido a sustancias en solución, sino también que debido a la materia en suspensión.</p> <p>Las aguas residuales industriales coloreadas requieren la eliminación del color antes de la descarga en los cursos de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación - Pisseta 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH,DR 2800: Programas Almacenados - Seleccionar el test 125 Color 465 nm - Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml con agua destilada hasta la marca - Limpiar bien el exterior de la cubeta (blanco) y colocar el blanco en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0 units PtCo - Llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml con la muestra(diluida en este caso con factor de dilución 100 debido a que es una muestra muy coloreada)y colocar en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: Medición - El resultado aparecerá en: units PtCo 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de la turbiedad**

Tabla 9-2. Método nefelométrico 2130 B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Turbidez o turbiedad es un indicador de calidad del agua, que se refiere a la reducción de la transparencia del agua producida por la materia en suspensión.	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación - Piseta 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - Encender el turbidímetro - Tomar con cuidado el frasco para la muestra y enjuagar con agua destilada - Colocar la muestra de agua residual en el frasco hasta donde señala la marca y tapar. - Limpiar el exterior del frasco y colocar en la celda del turbidímetro. - Seleccionar el rango ya sea 2-20-200-2000 - Leer el valor que indica en la pantalla. 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de sólidos totales**

Tabla 10-2. Método Gravimétrico 2540 B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Sólidos totales es el término aplicado al residuo de material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida.	<ul style="list-style-type: none"> - Caja Petri - Vaso de precipitación - Desecador - Pinzas - Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar una caja Petri previamente tarada - Agitar previamente la muestra de agua - Colocar 25ml de muestra en la caja Petri - Someter a baño maría hasta la sequedad total - Luego llevar la muestra a la estufa por 30 minutos a 103°C - Luego colocar en el desecador y pesar la caja - Realizar los cálculos correspondientes 	$\frac{\text{mg ST}}{l} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{volumen de muestra, ml}}$ <p>Donde: A= Peso de residuo seco + cápsula mg B= Peso de la cápsula en mg</p>

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de sólidos suspendidos totales**

Tabla 11-2. Método espectrofotométrico 2540 D.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
SST son los sólidos que permanecen en suspensión en el agua y alimentan su turbidez, se definen como la cantidad de materia que queda después de filtrar un determinado volumen de agua.	- Vaso de precipitación	- Agua residual - Agua destilada	- Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH,DR 2800: Programas Almacenados - Seleccionar el test : sólidos en suspensión - Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml con agua destilada hasta la marca - Limpiar bien el exterior de la cubeta (blanco) y colocar el blanco en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0 mg/l - Llenar otra cubeta cuadrada de 10 ml con la muestra y colocar en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: Medición - El resultado aparecerá en: mg/l	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de sólidos disueltos totales**

Tabla 12-2. Método electrométrico 2540 C.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Los sólidos disueltos representan el material soluble presente en el agua es decir la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto es cualquier elemento presente en el agua que no sea H ₂ O molécula de agua pura ni sólidos en suspensión.	- Vaso de precipitación	- Agua residual	<ul style="list-style-type: none"> - Encender el medidor multi parámetros - Seleccionar en la pantalla TDS (sólidos disueltos totales) - Colocar en un vaso de precipitación una muestra de agua residual - Introducir el electrodo del equipo multi parámetros - Leer el valor que se muestra en la pantalla. 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de sólidos sedimentables**

Tabla 13-2. Método volumétrico 2540 F.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Los sólidos sedimentables hacen referencia a la cantidad de materia que sedimenta una muestra de agua en un determinado tiempo. Éstos sólidos debido a su tamaño y peso pueden sedimentarse en un líquido inmóvil.	<ul style="list-style-type: none"> - Cono Imhoff - Probeta 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> - Homogenizar la muestra e inmediatamente llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L. - Dejar que la muestra repose por 45 min. - Se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes. - Dejar reposar por otros 15 min y se registra el volumen de sólidos Sedimentables en el cono como: ml/l. 	Lectura en la graduación del cono

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación del potencial de hidrógeno**

Tabla 14-2. Método electrométrico 4500 B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Es un indicador de la acidez o basicidad de una sustancia, este es un parámetro importante que da información si el agua residual que se estudia es acida o básica y cómo influye esto en las reacciones químicas que por lo general son controladas por el pH.	- Vasos de precipitación	- Agua residual - Agua destilada	- Encender el medidor multi parámetros - Seleccionar el modo para medir pH - Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente para sumergir la sonda de pH en la muestra y suavemente revolver a una velocidad constante para proporcionar homogeneidad y esperar hasta que la lectura se estabilice. - Anotar el valor de la lectura en el protocolo de trabajo. - Enjuagar el electrodo o sonda de pH con agua destilada.	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de la Demanda Química de Oxígeno**

Tabla 15-2. Método espectrofotométrico 5220 D.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
La DQO sirve para medir la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua. También se utiliza este parámetro para medir el grado de contaminación de una muestra de agua y la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas mediante medios químicos. Las unidades en la que se expresa es (mg O ₂ /l).	<ul style="list-style-type: none"> - Balón de aforo - Piseta - Vaso de precipitación - Pipeta - Vial 	<ul style="list-style-type: none"> - Solución digestiva para DQO - Agua destilada - Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> - Según la calidad del agua realizar una dilución de la muestra con agua destilada (en este caso factor de dilución 50) - Tomar 2ml de la muestra diluida - Introducir en el vial con solución digestiva para DQO. - Sujetar el vial por la tapa y agitar vigorosamente para mezclar. - Someter a calentamiento de 180°C durante 2h en el digestor para DQO - Una vez que se enfríe la muestra realizar la medición. - En el espectrofotómetro HACH DR 2800 seleccionar: programas almacenados - Seleccionar el test: 435 - Colocar el blanco (vial con agua destilada) - Seleccionar en la pantalla: cero - Introducir el vial con la muestra - Seleccionar: Medición - Leer el resultado 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Tabla 16-2. Método de incubación (5 días) 5210 B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
La DBO sirve para medir la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua a través de procesos biológicos aerobios.	<ul style="list-style-type: none"> - Balón de aforo - Piseta - Frasco de vidrio - Imán - Tapón de caucho - cabezales 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Agua residual - Nutrientes para DBO - KOH 	<ul style="list-style-type: none"> - Según la calidad del agua realizar una dilución de la muestra con agua destilada. - Colocar un determinado volumen de la muestra diluida (100 ml) en un frasco de vidrio ámbar. - Se agrega los nutrientes Ca, Fe, Mg. - Colocar un imán. - Tapar el frasco con un tapón de caucho. - Adicionar una capsula de KOH para evitar fuga de gases. - Poner los cabezales y colocar el frasco en el digestor de DBO₅. - Se toman las mediciones y promediar al cabo de 5 días. 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de Tensoactivos**

Tabla 17-2. Método espectrofotométrico 5540 C.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
Llamados también tensioactivos o detergentes son compuestos formados por moléculas grandes, solubles en agua y aceite, tienen la capacidad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en los que se encuentran disueltos.	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza analítica - Equipo de destilación - Potenciómetro de laboratorio - Espectrómetro - Papel filtro - Embudos de separación 	<ul style="list-style-type: none"> - Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> - Tomar 500 ml de muestra y ajustar el pH a 4 con de ácido fosfórico utilizando el indicador naranja de metilo. - Destilar la muestra, adicionar 500ml de agua caliente, seguir destilando hasta un volumen de 500ml. 	<p>Para calcular los fenoles se utiliza la siguiente ecuación de la curva de calibración: $Y = mx + b$</p> <p>Para la concentración: $U_{fenol}/$</p> $L = \frac{A}{B}$ <p>Dónde:</p> <p>A = μgr de fenol determinada en la curva</p> <p>B = ml de la muestra original</p>

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de Cobre**

Tabla 18-2. Método espectrofotométrico 3500- Cu B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El cobre (Cu) es el primer elemento del Grupo IB en la tabla periódica; tiene un número atómico de 29, un peso atómico de 63,54 y valencias de 1 y 2.</p> <p>La abundancia media de Cu en la corteza terrestre es de 68 ppm; en los suelos es de 9 a 33 ppm; en los arroyos es de 4 a 12 $\mu\text{g} / \text{L}$; y en agua subterránea es $<0,1 \text{ mg} / \text{L}$.</p> <p>El cobre se considera un oligoelemento esencial para las plantas y los animales. Algunos compuestos son</p> <p>Tóxico por ingestión o inhalación.</p>	<p>-Pipeta</p> <p>-Vaso de precipitación</p>	<p>-CuVer 1</p> <p>-Agua destilada</p> <p>-Agua residual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH, DR 2800: Programas Almacenados - Seleccionar el test: Cobre - Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml hasta la marca con la muestra - Preparación de la muestra: - Añadir un sobre de reactivo en polvo CuVer 1 - Agitar en rotación para mezclar - Seleccionar en la pantalla del temporizador un tiempo de 5 min para empezar el periodo de reacción. - Preparación del blanco: - Llenar otra cubeta con 10 ml de la muestra - Después que suene el tiempo del temporizador, limpiar la cubeta con el blanco - Colocar en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Cu - Limpiar el exterior de la muestra preparada y colocar en el porta cubetas - Seleccionar: Medición - Leer el resultado: mg/l Cu 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de Níquel**

Tabla 19-2. Método espectrofotométrico 3500 Ni-3111B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El níquel (Ni) es el tercer elemento del Grupo VIII en la tabla periódica; tiene un número atómico de 28, un peso atómico de 58,69, y una valencia común de 2 y menos comúnmente 1, 3 o 4.</p> <p>La abundancia media de Ni en la corteza terrestre es de 1,2 ppm; en los suelos es de 2,5 ppm; en arroyos es 1 mg / L, y en aguas subterráneas es <0,1 mg / L.</p> <p>Se sospecha que es un oligoelemento esencial para algunas plantas y animales.</p>	<p>-Pipeta</p> <p>-Vaso de precipitación</p>	<p>-Ácido nítrico concentrado</p> <p>-Agua destilada</p> <p>-Agua residual</p>	<p>-Preparación de la muestra: La preparación de la muestra requerida depende de la forma del metal medido.</p> <p>-Instale una lámpara de cátodo hueco para el metal deseado en el instrumento y el dial de longitud de onda</p> <p>-Instale la cabeza del quemador adecuado y ajuste la posición de la cabeza del quemador.</p> <p>-Encienda el aire y ajuste el caudal para el metal que se está midiendo.</p> <p>-Encienda el acetileno, ajuste el caudal al valor especificado y encienda la llama.</p> <p>-Permita que la llama se estabilice pocos minutos.</p> <p>El instrumento está ahora listo para funcionar.</p> <p>-Cuando los análisis estén terminados, extinga la llama apagando primero el acetileno y después el aire.</p> <p>-Seleccione al menos tres concentraciones de cada solución metálica estándar para fijar la concentración de metal esperada de una muestra.</p> <p>-Aspirar el blanco y encero el instrumento.</p> <p>-A continuación, aspirar cada estándar y registrar</p>	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de Cromo**

Tabla 20-2. Método espectrofotométrico cromo hexavalente - 8023.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El cromo (Cr) es el primer elemento del grupo VIB en la tabla periódica; tiene un atómico número de 24, peso atómico de 51,99 y valencias de 1 a 6.</p> <p>El cromo se considera no esencial para las plantas, pero un oligoelemento esencial para los animales.</p> <p>Se ha demostrado que los compuestos hexavalentes son carcinógenos por inhalación y son corrosivos para tejidos.</p>	<p>-Pipeta</p> <p>-Vaso de precipitación</p> <p>-Piseta</p>	<p>- ChromaVer 3</p> <p>-Agua destilada</p> <p>-Agua residual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH, DR 2800: Programas Almacenados - Seleccionar el test: 90 Cromo Hexavalente - Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml hasta la marca con la muestra - Preparación de la muestra: <ul style="list-style-type: none"> - Añadir un sobre de reactivo en polvo ChromaVer 3 - Agitar en rotación para mezclar (en presencia de cromo hexavalente aparecerá un color violeta) - Seleccionar en la pantalla del temporizador un tiempo de 5 min para empezar el periodo de reacción. - Preparación del blanco: <ul style="list-style-type: none"> - Llenar otra cubeta con 10 ml de la muestra - Después que suene el tiempo del temporizador, limpiar la cubeta con el blanco - Colocar en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Cr⁶⁺ - Limpiar el exterior de la muestra preparada y colocar en el porta cubetas - Seleccionar: Medición - Leer el resultado: mg/l Cr⁶⁺ 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: HACH DR 2800-Cr⁶⁺Model Series.

- **Determinación de Aluminio**

Tabla 21-2. Método espectrofotométrico 3500-Al B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El aluminio (Al) es el segundo elemento del Grupo IIIA de la tabla periódica; tiene un número atómico de 13, un peso atómico de 26,98 y una valencia de 3.</p> <p>El sulfato de aluminio se utiliza en procesos de tratamiento de agua para flocular partículas suspendidas, pero puede dejar un residuo de aluminio en el agua acabada.</p> <p>El aluminio no es esencial para las plantas ni animales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura el nivel máximo recomendado por la organización para las aguas de riego es de 5 mg / L.</p> <p>Hay la posibilidad de un vínculo entre niveles elevados de aluminio en los tejidos cerebrales y la enfermedad de Alzheimer.</p>	<p>-Pipeta</p> <p>-Vaso de precipitación</p> <p>-Piseta</p> <p>-Probeta</p>	<p>-Ácido</p> <p>-Ascórbico</p> <p>-AluVer3</p> <p>-Bleaching 3</p> <p>-Agua destilada</p> <p>-Agua residual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH,DR 2800 el test: 10 aluminum - Llenar una probeta de 50 ml con la muestra - Añadir un reactivo en polvo de Ácido Ascórbico y disolver - Añadir un reactivo en polvo de AluVer3 (una coloración anaranjado-rojo indica la presencia de aluminio) - Esperar 1 min que es el tiempo de reacción, agitando la mezcla para evitar inconsistencia en el resultado. - Preparación del Blanco: - Llenar una cubeta cuadrada de 10 ml con la mezcla hasta la marca - Añadir un reactivo en polvo Bleaching 3 - Durante 30 segundos agitar la mezcla vigorosamente - Iniciar el tiempo de reacción de 15min - Preparación de la muestra: - Colocar 10 ml de la mezcla de la probeta en una segunda cubeta cuadrada - Al cabo de cinco minutos después, secar la cubeta que contiene el blanco - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Al⁺³ - Inmediatamente secar y colocar la muestra preparada. 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

- **Determinación de Hierro**

Tabla 22-2. Método espectrofotométrico 3500-Fe B.

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<p>El hierro (Fe) es el primer elemento del Grupo VIII de la tabla periódica; tiene un número atómico de 26, un peso atómico de 55,85, y valencias comunes de 2 y 3 (y ocasionalmente valencias de 1, 4, y 6). La abundancia promedio de Fe en la corteza terrestre es de 6.22%; en los suelos Fe oscila entre 0.5 a 4,3%; en arroyos tiene un promedio de aproximadamente 0,7 mg / L; y en las aguas subterráneas es de 0,1 a 10 mg / l. Pequeñas cantidades de hierro son requeridas por los humanos pero excesivas cantidades pueden dañar nuestro organismo.</p>	<p>-Pipeta -Vaso de precipitación -Piseta</p>	<p>-Hierro FerroVer -Agua destilada -Agua residual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar en la pantalla del espectrofotómetro HACH, DR 2800: Programas Almacenados - Seleccionar el test: 265 Hierro FerroVer - Preparación de la muestra: - Llenar una cubeta de 10 ml hasta la marca con la muestra - Añadir un sobre de reactivo en polvo de Hierro FerroVer - Agitar con rotación para mezclar (una coloración anaranjada indica la presencia de hierro) - Seleccionar en la pantalla el temporizador de 3 min. - Preparación del blanco: - Llenar otra cubeta de 10 ml hasta la marca con la muestra - Después de que suene el temporizador limpiar bien la cubeta con el blanco y colocar en el porta cubetas - Seleccionar en la pantalla: cero - Aparecerá en la pantalla: 0.00 mg/l Fe - Limpiar el exterior de la muestra preparada y colocar en el porta cubetas - Seleccionar: Medición - Leer el resultado: mg/l Fe 	Lectura

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

2.2. Datos Experimentales

2.2.1. Datos de la medición del caudal

La medición de los caudales se realizó en el tanque de almacenamiento en las 6 descargas de agua residual provenientes de las diferentes etapas del proceso durante las 8 horas de jornada laboral.

Tabla 23-2. Medición de caudales de la etapa de descruce.

N° de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	9:40	9.7	3.49	2.78
2	9:44	9.6	3.48	2.76
3	9:48	9.8	3.51	2.79
4	9:52	9.6	3.47	2.77
5	9:55	9.6	3.48	2.76
Promedio				2.77
Valor máx.				2.79
Valor mín.				2.76

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.77 L/s, caudal máximo es de 2.79 L/s y el mínimo de 2.76 L/s.

Tabla 24-2. Medición de caudales de la etapa de teñido

N° de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	13:05	9.6	3.49	2.75
2	13:08	9.7	3.49	2.78
3	13:11	9.8	3.52	2.78
4	13:16	9.7	3.49	2.78
5	13:20	9.4	3.47	2.71
Promedio				2.76
Valor máx.				2.78
Valor mín.				2.75

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.76 L/s, caudal máximo es de 2.78 L/s y el mínimo de 2.75 L/s.

Tabla 25-2. Medición de caudales de la etapa de fijado

N° de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	14:30	9.8	3.51	2.79
2	14:33	9.7	3.50	2.77
3	14:37	9.8	3.52	2.78
4	14:41	9.7	3.49	2.78
5	14:45	9.6	3.48	2.76
Promedio				2.78
Valor máx.				2.79
Valor min.				2.76

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.78 L/s, caudal máximo es de 2.79 L/s y el mínimo de 2.76 L/s.

Tabla 26-2. Medición de caudales de la etapa de lavado químico

N° de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	15:15	9.7	3.49	2.78
2	15:18	9.6	3.47	2.77
3	15:22	9.8	3.51	2.79
4	15:26	9.6	3.45	2.78
5	15:30	9.9	3.52	2.81
Promedio				2.79
Valor máx.				2.81
Valor min.				2.77

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.79 L/s, caudal máximo es de 2.81 L/s y el mínimo de 2.77 L/s.

Tabla 27-2. Medición de caudales de la etapa del enjuague repetitivo 1

N° de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	16:00	9.6	3.47	2.77
2	16:05	9.5	3.46	2.75
3	16:08	9.5	3.45	2.75
4	16:11	9.6	3.46	2.77
5	16:15	9.6	3.48	2.76
Promedio				2.76
Valor máx.				2.77
Valor min.				2.75

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.76 L/s, caudal máximo es de 2.77 L/s y el mínimo de 2.75 L/s.

Tabla 28-2. Medición de caudales de la etapa del enjuague repetitivo 2

Nº de medición	Hora	Volumen (L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)
1	16:45	9.7	3.49	2.78
2	16:49	9.5	3.46	2.75
3	16:53	9.6	3.47	2.77
4	16:57	9.5	3.45	2.75
5	17:00	9.6	3.48	2.76
Promedio				2.76
Valor máx.				2.78
Valor min.				2.75

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la tabla se muestra el caudal promedio horario 2.76 L/s, caudal máximo es de 2.78 L/s y el mínimo de 2.75 L/s.

El caudal en las diferentes etapas del proceso de producción de la fábrica de textiles “Hilario” no varía significativamente, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 29-2. Caudal promedio total de la fábrica de textiles “Hilario”

Etapas del proceso	Caudal promedio (L/s)
Descrude	2.77
Teñido	2.76
Fijado	2.78
Lavado Químico	2.79
Enjuague 1	2.76
Enjuague 2	2.76
Caudal promedio total	2.77

Realizado: Karina Ramos, 2017

Mediante la medición de caudales se conoció que en la fábrica de textiles “Hilario” se genera un caudal promedio total de 2.77 L/s, el tiempo en el que se produce cada descarga es de 15 minutos, siendo 6 descargas, se tiene como resultado un volumen equivalente a 14958 litros de agua residual al día.

2.2.2. Caracterización físico –química del agua residual de la fábrica de textiles “Hilario”

En el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, se realizó la caracterización físico –química de las muestras compuestas del agua residual de la fábrica de textiles “Hilario” provenientes de los procesos de fabricación de tela poliéster así como de tela poli algodón.

2.2.2.1. Caracterización físico –química del agua residual proveniente del procesamiento de tela poliéster (100 %)

Tabla 30-2. Resultados del análisis del agua residual

Parámetro	Unidad	Muestra 1 color bajo (beige)	Muestra 2 color medio (amarillo oro)	Muestra 3 color fuerte (menta)	Promedio
Temperatura	°C	19.5	19.6	19.7	19.6
Conductividad	milimhos/cm	0.395	0.403	0.410	0.403
Color	Unidades de color	303	342	366	337
Turbiedad	UNT	45	69	87	67
Sólidos totales	mg/L	339	346	353	566
Sólidos suspendidos totales	mg/L	86	88	91	88.3
Sólidos disueltos totales	mg/L	253	258	262	257.7
Sólidos sedimentables	ml/L	<1	<1	<1	<1
Potencial de hidrogeno	UND	6.53	6.55	6.57	6.55
Demanda química de oxigeno	mg/L	159	161	163	161
Demanda bioquímica de oxigeno(5días)	mg/L	75	79	80	78
Tensoactivos	mg/L	-----	-----	0.43	0.43
Cobre	mg/L	-----	-----	0.020	0.020
Níquel	mg/L	-----	-----	0.017	0.017
Cromo	mg/L	0.061	0.065	0.068	0.065
Aluminio	mg/L	0.53	0.55	0.56	0.55
Hierro	mg/L	0.81	0.89	0.91	0.87

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, CESTTA y laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Como se observa en la Tabla 30-2, los valores de los diferentes parámetros determinados en las tres muestras de agua residual, son similares, sin importar si tienen una tonalidad baja, media o fuerte, por lo cual se calculó el promedio de los valores para realizar la debida comparación con los valores de la normativa ambiental.

Tabla 31-2. Comparación de los resultados obtenidos con la normativa ambiental.

Parámetro	Unidad	Método	Límite	Resultado	Cumple
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.6	-----
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	0.403	SI
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	337 Inapreciable en dilución : 1/20	SI
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	67	-----
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	566	SI
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	130	88.3	SI
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	450	257.7	SI
Sólidos sedimentables	ml/L	2540-F	1.0	<1	SI
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	6.55	SI
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	200	161	SI
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/L	5210-B	100	78	SI
Tensoactivos	mg/L	5540-C	0.5	0.43	SI
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	0.2	0.020	SI
Níquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	0.2	0.017	SI
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	0.065	SI
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	5.0	0.55	SI
Hierro	mg/L	3500 Fe-B	5.0	0.87	SI

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la Tabla 31-2, (Ver en Anexo H). Todos los valores cumplen con la normativa, algunos de ellos están muy por debajo del límite establecido, incluso los parámetros de color y tensoactivos que son los principales contaminantes de este tipo de efluentes se encuentra dentro de norma, la razón de éstos resultados está ligada directamente a las propiedades químicas de la tela poliéster

como la elevada sensibilidad a los álcalis fuertes, excelente resistencia a los agentes oxidantes y la utilización de colorantes dispersos que tienen un alto grado de fijación..

2.2.2.2. Caracterización físico –química del agua residual proveniente del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %)

Tabla 32-2. Resultados del análisis del agua residual

Parámetro	Unidad	Muestra 1 color bajo (mostaza)	Muestra 2 color medio (gris)	Muestra 3 color fuerte (rojo)	Promedio
Temperatura	°C	19.7	19.8	19.6	19.7
Conductividad	milimhos/cm	11.8	12.3	13.4	12.5
Color	Unidades de color	9 750	9 940	10 310	10 000
Turbiedad	UNT	1 726	1 759	1 798	1 761.0
Sólidos totales	mg/L	8 381	8 635	8 864	8 026.0
Sólidos suspendidos totales	mg/L	318	320	322	320
Sólidos disueltos totales	mg/L	7 300	7 450	8 275	7 675.0
Sólidos sedimentables	ml/L	<1	<1	<1	<1
Potencial de hidrogeno	UND	12.48	12.69	12.88	12.68
Demanda química de oxígeno	mg/L	6 752	6 823	6 954	6 843.0
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/L	2 410	2 652	2 882	2 648.0
Tensoactivos	mg/L	-----	-----	9.93	9.93
Cobre	mg/L	6.63	6.96	7.23	6.94
Níquel	mg/L	-----	-----	8.64	8.64
Cromo	mg/L	1.23	1.65	1.82	1.57
Aluminio	mg/L	5.42	5.68	5.91	5.67
Hierro	mg/L	6.18	6.36	6.87	6.47

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Como se observa en la Tabla 32-2, los valores de los diferentes parámetros determinados en las tres muestras de agua residual de tonalidad baja, media y fuerte, son similares, por lo que se

calculó el promedio de los valores para realizar la debida comparación con los valores de la normativa ambiental.

Tabla 33-2. Comparación de los resultados obtenidos con la normativa ambiental.

Parámetro	Unidad	Método	Límite	Resultado	Cumple
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.7	-----
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	12.5	NO
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	10 000 Apreciable en dilución : 1/20	NO
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	1 761.0	-----
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	8 026.0	NO
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	130	320	NO
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	450	7 675.0	NO
Sólidos sedimentables	ml/L	2540-F	1.0	<1	SI
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	12.68	NO
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	200	6 843.0	NO
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/L	5210-B	100	2 648.0	NO
Tensoactivos	mg/L	5540-C	0.5	9.93	NO
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	0.2	6.94	NO
Níquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	0.2	8.64	NO
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	1.57	NO
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	5.0	5.67	NO
Hierro	mg/L	3500 Fe-B	5.0	6.47	NO

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la Tabla 33-2, (Ver en Anexo D). Solamente el parámetro de sólidos sedimentables cumple con la normativa, los demás valores están por encima del límite establecido por la normativa ambiental.

2.2.3. Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad tienen por finalidad determinar si los contaminantes presentes en un efluente son susceptibles a ser eliminados mediante el sistema de tratamiento de agua seleccionado.

Permite la determinación de dosis precisas para garantizar el mínimo gasto de insumos así como los parámetros de diseño, el tamaño y el tipo de las diferentes unidades que van a conformar la planta de tratamiento de agua.

Al aplicar las pruebas de tratabilidad se puede descartar procesos que no se adapten al tipo de efluente estudiado, lo cual influye en el ahorro económico al momento de invertir en una planta de tratamiento de agua.

Una vez realizada la caracterización del agua a tratar mediante la cual se conocieron los diferentes parámetros tanto físicos como químicos que se encuentran fuera de la normativa ambiental, el agua residual de la fábrica de textiles “Hilario” proveniente del procesamiento de poli algodón (65/35 %) fue sometida a diferentes análisis de tratabilidad para observar su comportamiento ante diferentes dosis de reactivos.

Las pruebas de tratabilidad fueron aplicadas en agua residual de tonalidad fuerte como es el color rojo, ya que si se logra tratar el color fuerte, se tratará también los colores medios y bajos, dado que los valores de los parámetros tanto físicos como químicos determinados en la caracterización inicial, son similares para las tres tonalidades.

2.2.3.1. Prueba de Jarras

La prueba de jarras es un ensayo de laboratorio que sirve para determinar el coagulante o floculante óptimo, mezclado necesario, pH óptimo, dosis óptima, y rendimiento máximo alcanzable.

a) Químicos utilizados

Se realizaron pruebas con coagulantes metálicos y polielectrolitos para poder verificar o descartar su utilidad para este tipo de agua residual.

Coagulantes metálicos

Se experimentaron diferentes compuestos como:

- Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$
- Cloruro de polialuminio (PAC)
- Cloruro férrico $FeCl_3$
- Sulfato férrico $FeSO_4$
- Sulfato ferroso $Fe_2(SO_4)_3$

Tabla 34-2. Pruebas con coagulantes metálicos

Coagulantes metálicos	V_i (ml)	C_f (ppm)	Parámetro	Unidad	Antes de la coagulación-floculación	Después de la coagulación - floculación
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ al 5%	5	250	Color	Units PtCo	10000	8549
			pH	UND	12.68	11.10
			Turbiedad	UNT	1761	1586
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	11.37
	10	500	Color	Units PtCo	10000	7720
			pH	UND	12.68	8.22
			Turbiedad	UNT	1761	1347
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	9.6
Cloruro de polialuminio (PAC) al (5%)	5	250	Color	Units PtCo	10000	9954
			pH	UND	12.68	12.65
			Turbiedad	UNT	1761	1753
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.5
	10	500	Color	Units PtCo	10000	10000
			pH	UND	12.68	12.67
			Turbiedad	UNT	1761	1760
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.4
Cloruro férrico $FeCl_3$ al (5%)	5	250	Color	Units PtCo	10000	9986
			pH	UND	12.68	12.67
			Turbiedad	UNT	1761	1758
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.5
	10	500	Color	Units PtCo	10000	10000
			pH	UND	12.68	12.67
			Turbiedad	UNT	1761	1760
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.4
	5	250	Color	Units PtCo	10000	10000
			pH	UND	12.68	12.65

Sulfato férrico FeSO ₄ al (5%)			Turbiedad	UNT	1761	1760
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.4
	10	500	Color	Units PtCo	10000	9997
			pH	UND	12.68	12.60
			Turbiedad	UNT	1761	1755
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.5
Sulfato ferroso Fe ₂ (SO ₄) ₃ al (5%)	5	250	Color	Units PtCo	10000	9900
			pH	UND	12.68	12.63
			Turbiedad	UNT	1761	1758
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.4
	10	500	Color	Units PtCo	10000	10000
			pH	UND	12.68	12.64
			Turbiedad	UNT	1761	1761
			Conductividad	milimhos/cm	12.5	12.3

$$* C_i V_i = C_f V_f$$

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias

Como se observa en la tabla 34-2, la utilización del sulfato de aluminio al 5 % en un volumen de 10 ml presenta una tendencia a disminuir los valores de los parámetros medidos como el color, pH, turbiedad, conductividad, siendo éste el coagulante metálico seleccionado para la prueba de jarras.

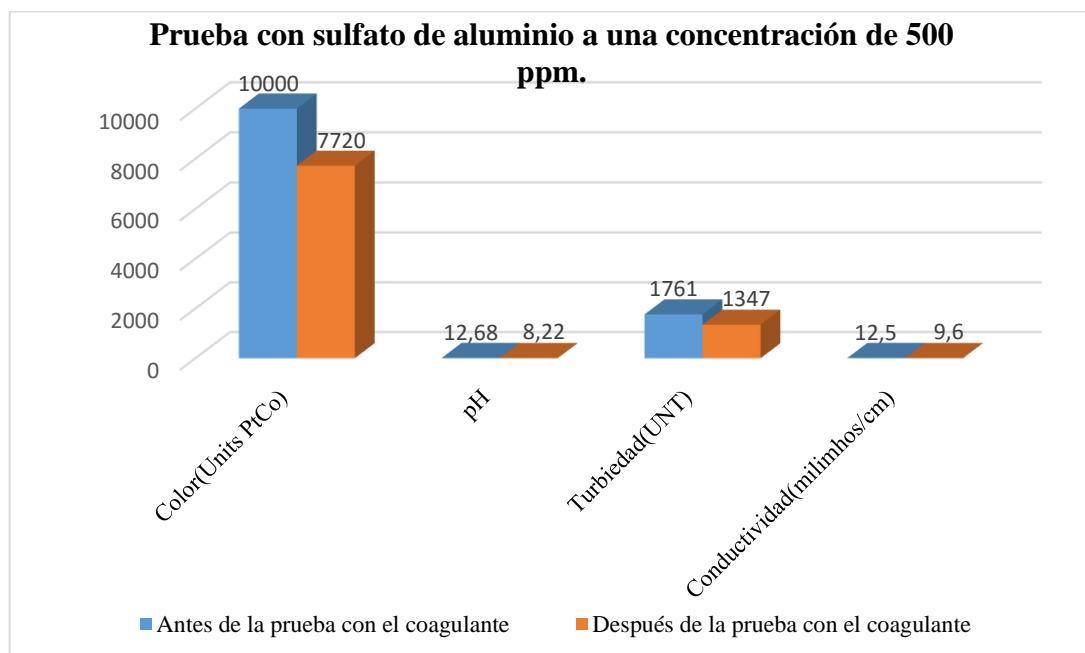


Gráfico 1-2. Resultados obtenidos después de realizar pruebas con sulfato de aluminio a una concentración de 500 ppm.

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 1-2. Se puede observar que al realizar una prueba con sulfato de aluminio a una concentración de 500 ppm ciertos parámetros de calidad del agua como el color, pH, turbidez y conductividad, tienden a disminuir de manera significativa.

Se descarta la utilidad del Cloruro de polialuminio (PAC), Cloruro férrico, Sulfato férrico y el Sulfato ferroso para éste tipo de agua residual ya que no tienen ningún efecto sobre la misma, debido a que algunos de ellos tienen rangos de pH entre 4 y 7 para alcanzar una coagulación óptima, y debido a la alcalinidad que presenta el agua estudiada se necesitaría de grandes volúmenes de ácidos fuertes para ajustar el rango de pH.

Polielectrolitos

Se utilizaron polielectrolitos aniónicos y catiónicos en polvo, haciendo soluciones con concentraciones muy bajas, comprobando las tres formas en las que pueden actuar los polielectrolitos.

Tabla 35-2. Pruebas con polielectrolitos

Polielectrolitos	C_i (g/ml)	V_i (ml)	C_f (ppm)	Turbiedad antes de la coagulación- floculación (UNT)	Turbiedad después de la coagulación- floculación (UNT)
Polielectrolito aniónico	0.25	1	2.5	1761	1760
		3	7.5	1761	1755
		5	12.5	1761	1768
	0.50	1	5	1761	1756
		3	15	1761	1764
		5	25	1761	1763
	2.0	1	20	1761	1758
		3	60	1761	1758
		5	100	1761	1760
Polielectrolito catiónico	0.25	1	2.5	1761	1761
		3	7.5	1761	1762
		5	12.5	1761	1763
	0.50	1	5	1761	1756
		3	15	1761	1768
		5	25	1761	1768
	2.0	1	20	1761	1771
		3	60	1761	1755
		5	100	1761	1752

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias

Como se observa en la tabla 35-2. Se trató el agua residual con diferentes dosis y concentraciones entre 0.25% y 2 % de polielectrolitos, haciéndolos actuar de tres formas como coagulante es decir agregando el polielectrolito en lugar del coagulante metálico, como ayudante de la coagulación, agregando el polielectrolito antes del coagulante metálico y como ayudante de la floculación, agregando el polielectrolito después del coagulante metálico.

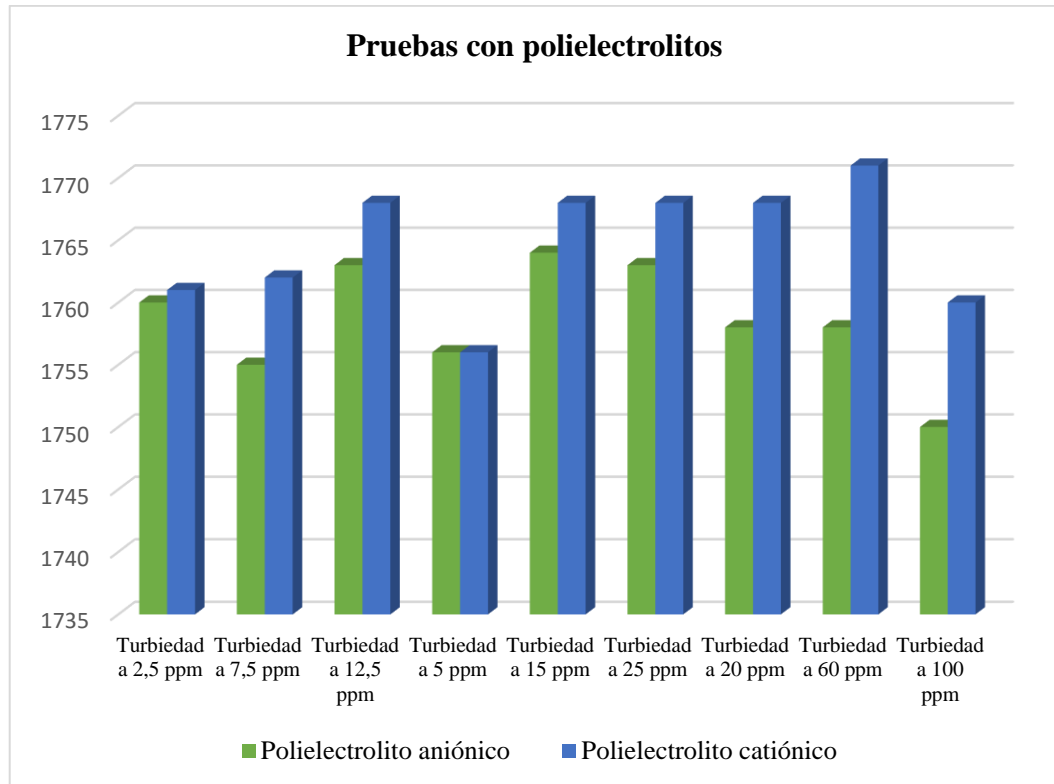


Gráfico 2-2. Resultados obtenidos después de realizar pruebas con polielectrolitos

Realizado: Karina Ramos, 2017

Como se puede observar en el gráfico 2-2 no hay un cambio significativo en la disminución de la turbiedad inicial del agua que tiene un valor de 1761 UNT. Observando este comportamiento se determinó que no es efectiva la utilización de los polielectrolitos para éste tipo de aguas residuales ya que no hay ningún efecto en ellas e incluso a mayor concentración provoca dispersión de las partículas desestabilizadas que se obtienen mediante la coagulación con la sal metálica.

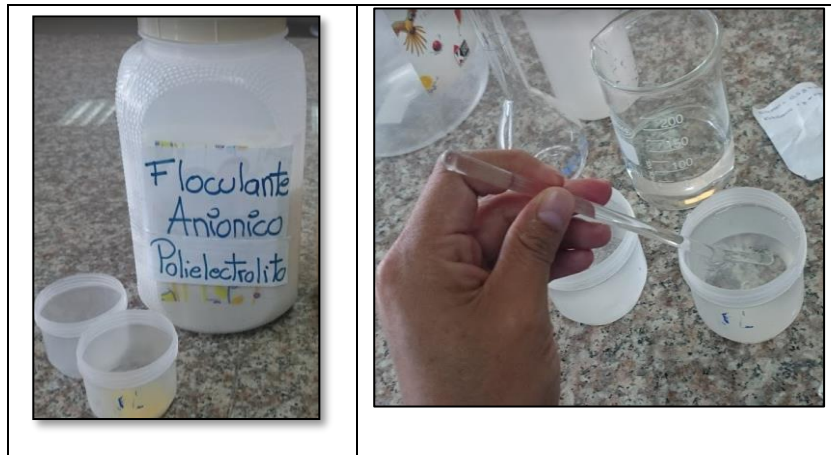


Figura 2-2. Polielectrolito

Fuente: Karina Ramos, 2017

b) Dosificación de químicos

Después realizar las pruebas para determinar qué químicos reaccionan favorablemente con la muestra de agua residual de la fábrica textil, se determinó que solamente el sulfato de aluminio reaccionó con la misma, de ahí la necesidad de encontrar la dosificación precisa de éste coagulante.



Figura 3-2. Coagulante metálico

Fuente: Karina Ramos, 2017

Por lo que la prueba de jarras se realizó simulando el proceso de coagulación-floculación se colocó 1 litro de agua residual en jarras o recipientes y se añadió progresivamente diferentes dosis de coagulante, sin necesidad de ajustar el pH.

Tabla 36-2. Diferentes Dosificaciones de Sulfato de Aluminio al 10 %

N° de jarras (1000 ml)	V _i (ml)	C _f (ppm)	pH inicial	pH final	Turbiedad inicial (UNT)	Turbiedad final(UNT)
1	2	200	12.68	11.98	1761	1585
2	5	500	12.68	10.55	1761	1223
3	10	1000	12.68	8.22	1761	591
4	15	1500	12.68	10.37	1761	963
5	20	2000	12.68	12.54	1761	1614

Realizado: Karina Ramos, 2017

Como podemos ver en la tabla 36-2, al dosificar 10 ml de sulfato de aluminio al 10% la turbidez disminuye de 1761 UNT hasta 591 UNT; no sucede así al dosificar cantidades mayores o menores a esta dosis, por lo tanto la dosis optima será 10 ml de sulfato de aluminio al 10% por cada litro de agua a tratar, o expresado en concentración 1000 miligramos de sulfato de aluminio por cada litro de agua residual, con lo que se conseguirá remover cierto porcentaje de color del agua residual y también reducir la carga contaminante.

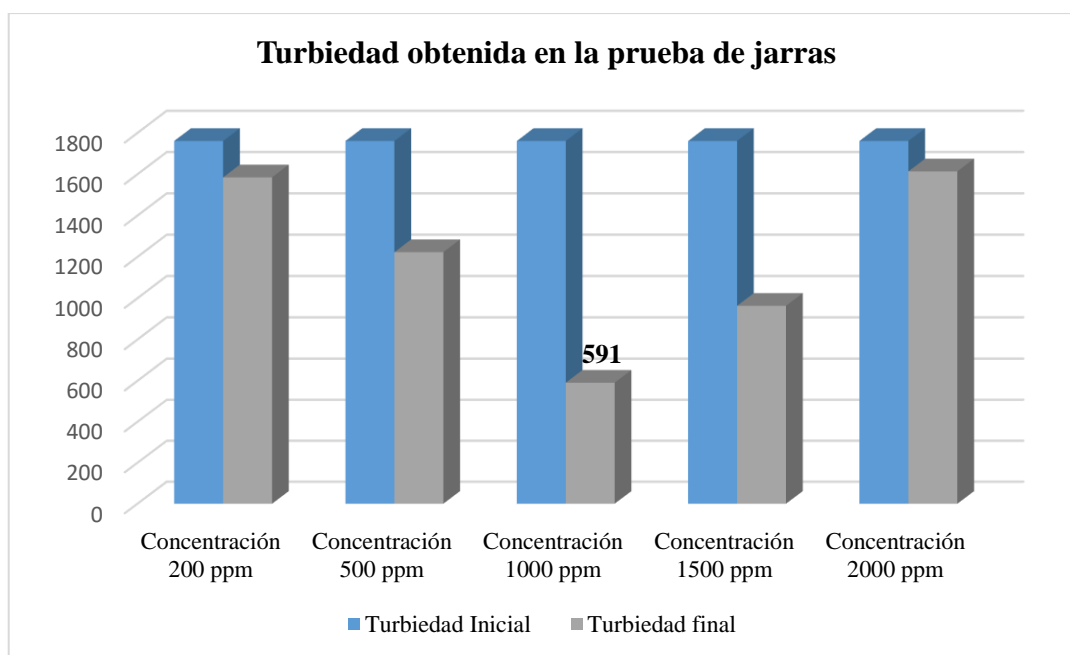


Gráfico 3-2. Resultados de turbiedad obtenidos en la prueba de jarras

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 3-2. Se indica el menor valor de turbiedad 591 UNT alcanzado con una concentración de 1000 ppm de sulfato de aluminio.

La velocidad de rotación para la operación de mezclado se determinó de manera experimental siendo 150 rpm durante 5 minutos para homogenizar el medio con el coagulante es decir una agitación rápida y posteriormente una agitación lenta de 40 rpm durante 15 min para favorecer la formación de flóculos.

Posteriormente se realizó una prueba de DQO para verificar la reducción de la carga contaminante y mediante el método espectrofotométrico se midió el color, los resultados se muestran a continuación:

Tabla 37-2. Resultados del DQO y color obtenidos en la coagulación con sulfato de aluminio al 10% y una dosificación de 10 mL.

Parámetro	Unidad	Antes de la coagulación	Después de la coagulación
DQO	mg/L	6843	2125
Color	unidades de color	10000	5220

Realizado: Karina Ramos, 2017

c) Cálculo del requerimiento diario de Dosificación del Sulfato de Aluminio

Experimentalmente se determinó la dosificación exacta de sulfato de aluminio al 10% siendo la misma de:

$$10 \text{ ml de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ al } 10\% / 1 \text{ L de agua residual} = 1 \text{ gramo de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 / 1 \text{ L de agua residual}$$

Por tanto para determinar el requerimiento diario se tomara en cuenta el volumen total de agua a tratar considerando el caudal de diseño:

$$\text{Cantidad}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = \frac{1 \text{ gramo de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{1 \text{ L agua residual}} \times \frac{17949.6 \text{ L de agua residual}}{\text{dia}} = 17949.6 \frac{\text{gramos } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{\text{dia}} = \mathbf{17.95 \frac{\text{Kg } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{\text{dia}}}$$

Se requerirá entonces 17.95 Kg de sulfato de aluminio para tratar un volumen total de 17.95 m³ de agua residual al día.

En la siguiente figura se puede observar el agua residual antes y después del tratamiento con sulfato de aluminio.



Figura 4-2. Coagulación del agua residual con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Fuente: Karina Ramos, 2017

2.2.3.2. Sedimentación

El agua proveniente de la coagulación- floculación posee partículas coaguladas, las mismas que deben ser separadas del líquido y esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, experimentalmente la sedimentación se realiza homogenizando la muestra e inmediatamente llenándola en el cono Imhoff hasta la marca de 1 L.

Posteriormente se deja que la muestra repose por un determinado tiempo, que en el caso de la muestra objeto de estudio fue de 2 horas, tiempo en el cual se obtuvo flóculos de mejor tamaño y textura. Así como también se determina el volumen de lodos producido en la sedimentación leyendo la marca que señala el cono imhoff, siendo 88 mL de lodos por cada litro de agua residual.



Figura 5-2. Sedimentación en el cono imhoff.

Fuente: Karina Ramos, 2017

Como se muestra en la figura 5-2, mediante la sedimentación se produce un efluente clarificado, que en el caso del agua residual de la industria textil el color visiblemente mejora pero aun es persistente.

2.2.3.3. Filtración

La calidad del agua residual mejoró después de la coagulación con sulfato de aluminio, pero no lo suficiente como para estar dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental, uno de los parámetros más visibles es la presencia del color que es muy apreciable a simple vista. Después de tratar la filtración con diferentes materiales filtrables como la zeolita y algunos adsorbentes naturales se implementó en el sistema de tratamiento un filtro a base de arena y carbón activado ya que es el material con mejores resultados para remover el color del agua residual.

El filtro se simuló de manera tal que para cuando el agua pase lentamente a través del mismo, los materiales que lo conforman absorban los contaminantes que aún no fueron removidos en el proceso anterior especialmente el color y ciertos metales pesados.

Tabla 38-2. Resultados obtenidos en el proceso de filtración.

Parámetro	Unidad	Antes de la filtración	Después de la filtración
DQO	mg/L	2125	278
Color	unidades de color	5220	1132
pH	UND	8.22	7.61
Turbiedad	UNT	591	108

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la siguiente figura se puede observar el agua residual antes y después de la filtración.

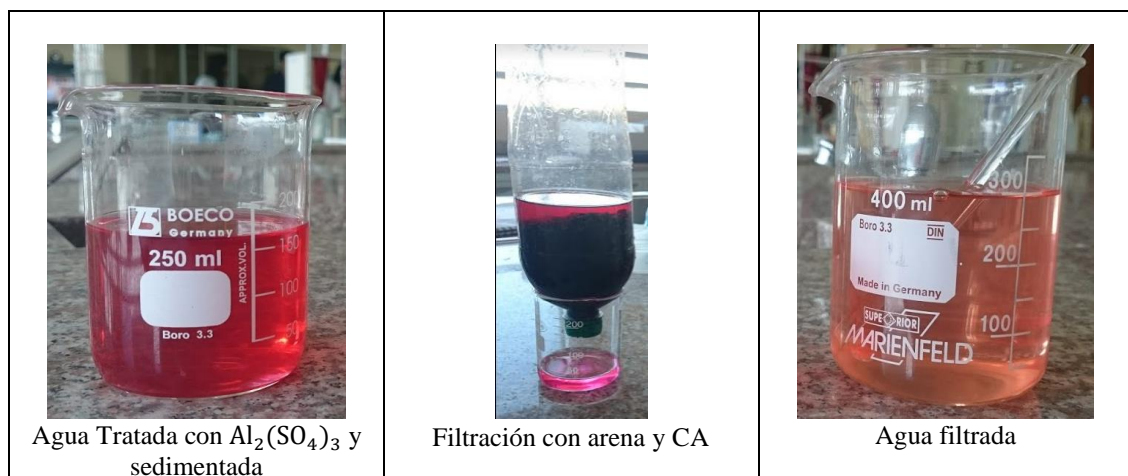


Figura 6-2. Filtración del agua residual con carbón activado y arena

Fuente: Karina Ramos, 2017

2.2.3.4. Cloración

El agua resultante del proceso de filtración tiene una carga contaminante mucho menor a la inicial pero el color sigue persistente y apreciable, por esta razón se optó por tratar el agua con diferentes agentes oxidante blanqueadores como el peróxido de hidrogeno, diferentes soluciones de hipoclorito de sodio, e incluso con un agente oxidante muy poderoso como es el ozono, determinando que el mejor blanqueador para este tipo de agua residual es el hipoclorito de calcio en tabletas.

Se aplicaron dosis de hipoclorito de calcio entre 10 y 200 mg/l a distintos tiempos de contacto, siendo la dosis optima de 30 mg /l en un tiempo de reacción de 30 minutos, con esta dosis el agua presenta cambio físicos positivos especialmente en cuanto al color.

Se debe considerar muy importante la dosis critica de 30 mg /l ya que con dosis mayores el efecto se revierte, es decir se da origen a efectos negativos en el agua como la formación de subproductos indeseables.

Tabla 39-2. Resultados obtenidos en el proceso de cloración.

Parámetro	Unidad	Antes de la cloración	Después de la cloración
DQO	mg/L	278	182
Color	unidades de color	1132	475
pH	UND	7.61	7.82
Turbiedad	UNT	108	29

Realizado: Karina Ramos, 2017

La aplicación de cloro además de cumplir con el objetivo de desinfectar el agua, puede modificar las características físicas y químicas de la misma y por ende la calidad del efluente final, siendo una muy buena alternativa para el tratamiento y uso agrícola del agua residual.

a) Cálculo del requerimiento diario de hipoclorito cálcico

Experimentalmente se determinó la dosificación de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ siendo la misma de:

$$30 \text{ mg de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 / 1 \text{ L de agua residual}$$

Para determinar el requerimiento diario se tomara en cuenta el volumen total de agua a tratar considerando el caudal de diseño:

$$Cantidad_{Ca(ClO)_2} = \frac{30 \text{ mg de } Ca(ClO)_2}{1 \text{ L agua residual}} \times \frac{17949.6 \text{ L de agua residual}}{\text{día}} = 538\,488 \frac{\text{mg de } Ca(ClO)_2}{\text{día}}$$

$$538\,488 \frac{\text{mg de } Ca(ClO)_2}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 0.538 \frac{\text{Kg de } Ca(ClO)_2}{\text{día}}$$

Se requerirá entonces 0.538 Kg de $Ca(ClO)_2$ para tratar un volumen total de 17.95 m³ de agua residual al día.

Comercialmente hay tabletas de hipoclorito de calcio de 22 gramos cada una, haciendo relación con el requerimiento diario se tendrá:

$$1 \text{ tableta de } Ca(ClO)_2 \longrightarrow 0.022 \text{ Kg de } Ca(ClO)_2$$

$$X \longleftarrow 0.538 \text{ Kg de } Ca(ClO)_2$$

X = 24.45 tableta de $Ca(ClO)_2$ para tratar un volumen total de 17.95 m³ de agua residual al día.

En la siguiente figura se observa el agua antes y después de la cloración.

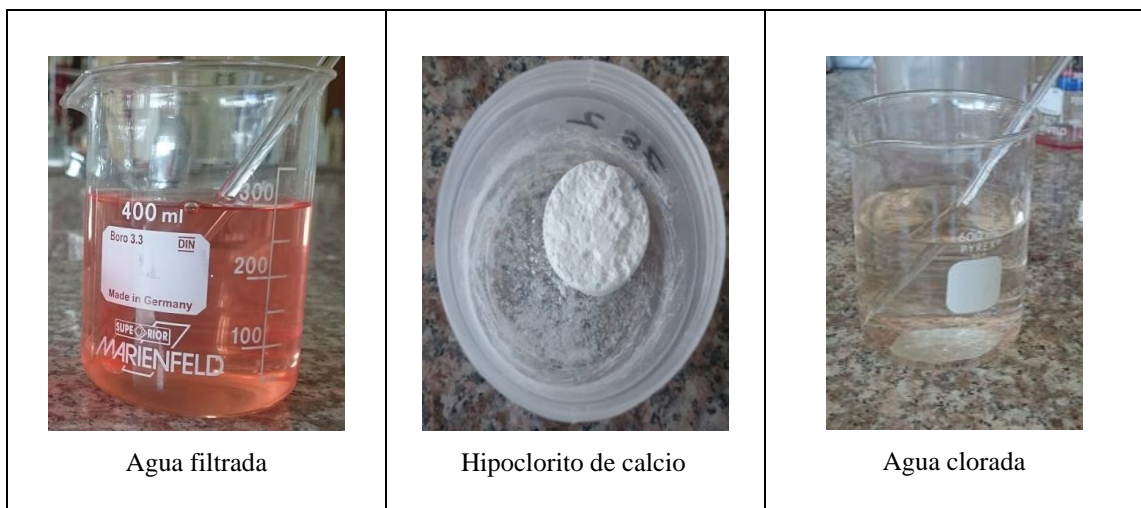


Figura 7-2. Cloración del agua residual con hipoclorito de calcio

Fuente: Karina Ramos, 2017

2.2.4. Caracterización del Agua Residual después de las pruebas de tratabilidad

Los resultados de las pruebas de tratabilidad se pueden apreciar a continuación, estos resultados se puede observar en el Anexo J.

Tabla 40-2. Resultados obtenidos en la caracterización del agua tratada proveniente del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %)

Parámetro	Unidad	Método	Límite	Resultado	Cumple
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.0	-----
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	0.46	SI
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	475 Inapreciable en dilución 1/20	SI
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	29	-----
Sólidos totales	mg/L	2540-B	1600	593	SI
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-D	130	81	SI
Sólidos disueltos totales	mg/L	2510-C	450	289	SI
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-F	1.0	<1	SI
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	7.82	SI
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-D	200	182	SI
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/L	5210-B	100	81	SI
Tensoactivos	mg/L	5540-C	0.5	0.38	SI
Cobre	mg/L	3500 Cu-B	0.2	0.11	SI
Níquel	mg/L	3500 Ni,3111-B	0.2	0.13	SI
Cromo	mg/L	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	0.09	SI
Aluminio	mg/L	3500 Al-B	5.0	3.7	SI
Hierro	mg/L	3500 Fe-B	5.0	0.9	SI
Cloro residual	mg/L	yodométrico	0.3-1.5	0.92	SI

Realizado: Karina Ramos, 2017

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, laboratorio de servicios ambientales UNACH, 2017

Como se puede observar en la tabla 40-2, todos los valores de los parámetros tanto físicos como químicos se encuentran dentro del límite establecido por el TULSMA, tabla 3. Criterios de calidad para agua de uso agrícola, cumpliendo así la calidad que exige la normativa ambiental.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Resultados de las pruebas de tratabilidad

3.1.1. Prueba de jarras

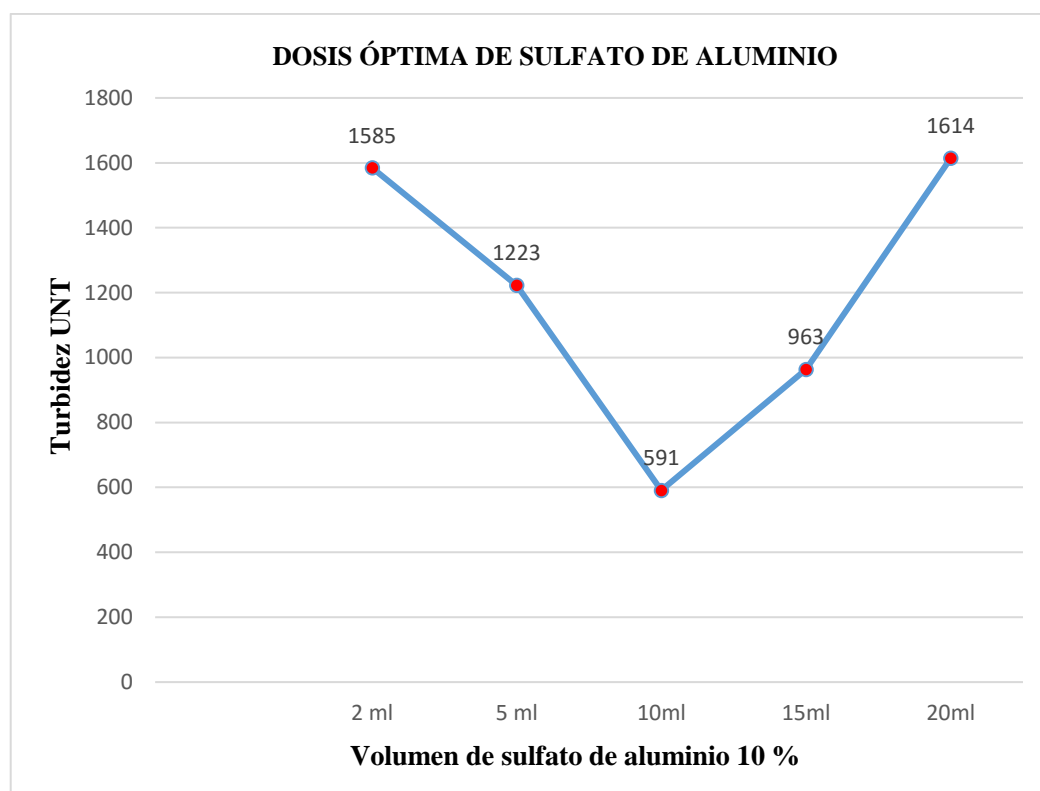


Gráfico 1-3. Dosis óptima de Sulfato de Aluminio

Realizado: Karina Ramos, 2017

Para simular la etapa de coagulación – floculación del sistema de tratamiento es necesario determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio. En el gráfico 1-3, se puede observar que la dosis de 10 ml puede alcanzar un valor de turbidez de 591, siendo el menor en comparación con las demás dosis, en la prueba de jarras después de colocar la dosis óptima de sulfato de aluminio se necesita un tiempo de agitación de 5 minutos seguido de un tiempo de reposo de 30 min.

3.1.2. Cloración

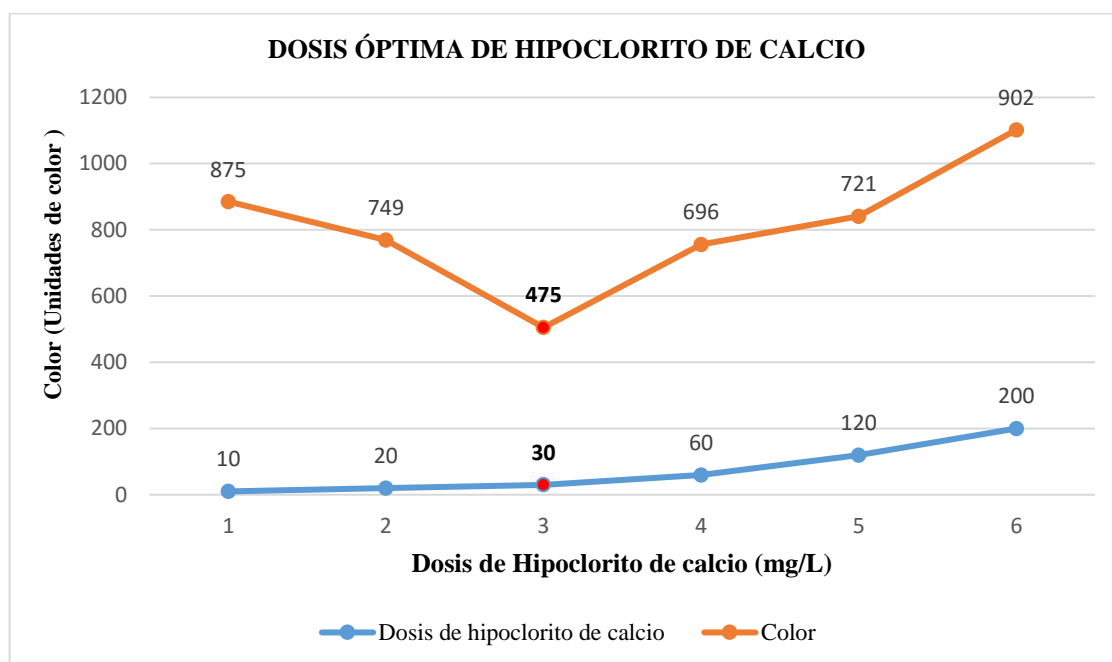


Gráfico 2-3. Dosis óptima de hipoclorito cálcico

Realizado: Karina Ramos, 2017

En la cloración se necesita determinar la dosis óptima de hipoclorito de calcio o dosis crítica a la cual se producen efectos positivos en el agua como es la disminución del color. La dosis óptima en este caso es 30 mg/L y un tiempo de contacto de 30 min, con lo cual se alcanza el menor valor de 475 unidades de color, como se observa en el gráfico 2-3.

Con ésta dosis óptima de hipoclorito de calcio, la cantidad de cloro residual en el agua tratada se encuentra dentro del rango que exige la normativa ambiental. Ver Anexo J.

3.2. Comparación de resultados del Agua Residual antes y después del Tratamiento

En la siguiente tabla se muestra la diferencia entre los valores de los parámetros físico-químicos del agua residual y el agua tratada.

Tabla 1-3. Comparación de los parámetros físico químicos del agua residual y el agua tratada.

Parámetros	Unidad	Agua residual	Agua tratada
Temperatura	°C	19.7	19.0
Conductividad	milimhos/cm	12.5	0.46
Color	Unidades de color	10 000 Apreciable en dilución : 1/20	475 Inapreciable en dilución 1/20
Turbiedad	UNT	1 761.0	29
Sólidos totales	mg/L	8 026.0	593
Sólidos suspendidos totales	mg/L	320	81
Sólidos disueltos totales	mg/L	7 675.0	289
Sólidos sedimentables	mL/L	<1	<1
Potencial de hidrogeno	UND	12.68	7.82
Demanda química de oxigeno	mg/L	6 843.0	182
Demanda bioquímica de oxigeno(5días)	mg/L	2 648.0	81
Tensoactivos	mg/L	9.93	0.38
Cobre	mg/L	6.94	0.11
Níquel	mg/L	8.64	0.13
Cromo	mg/L	1.57	0.09
Aluminio	mg/L	5.67	3.7
Hierro	mg/L	6.47	0.9

Realizado: Karina Ramos, 2017**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias ,2017

En la tabla 1-3 se puede observar la disminución de los valores de los parámetros físicos químicos obtenidos después de las pruebas de tratabilidad.

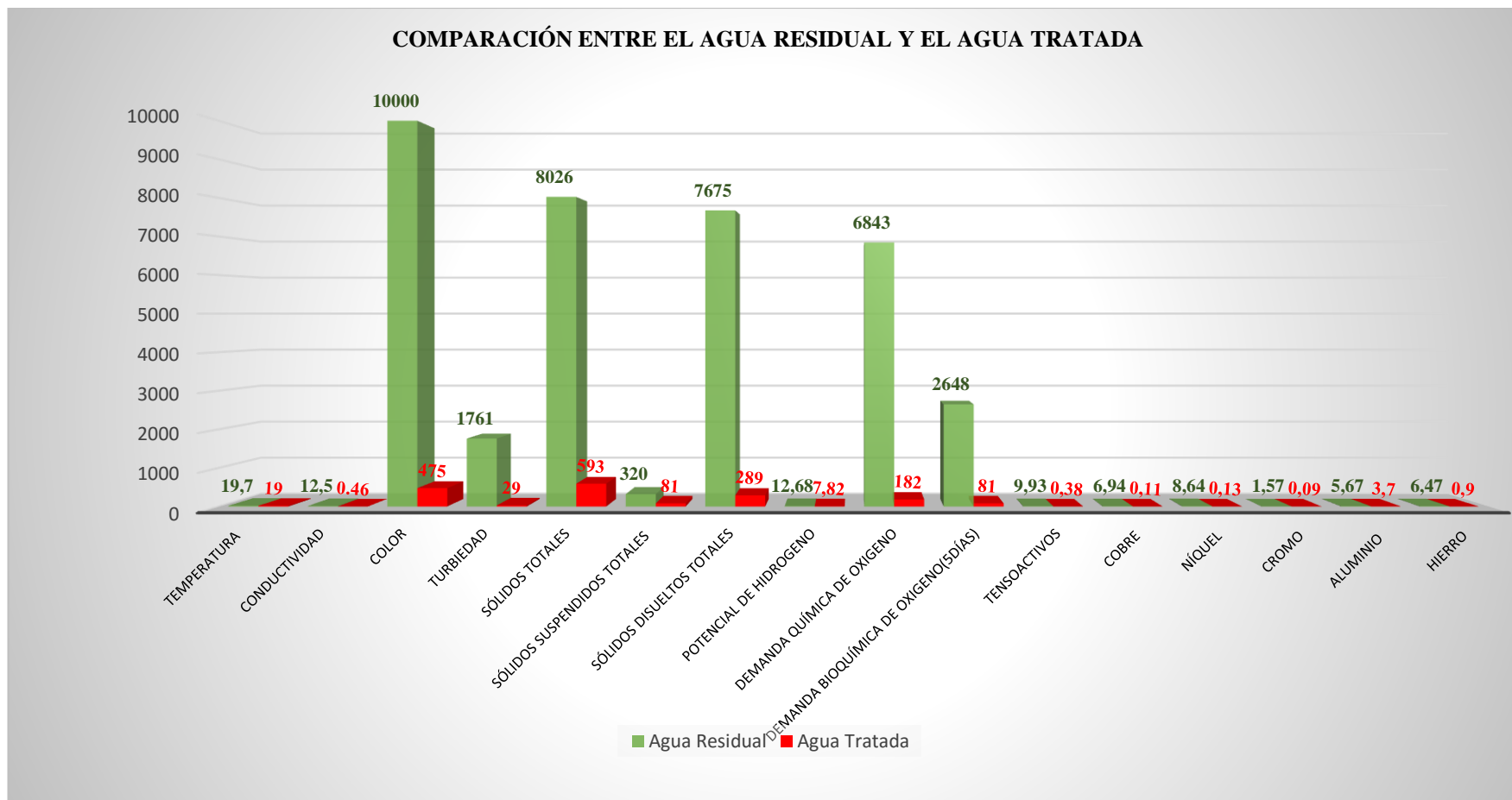


Gráfico 3-3. Comparación de los parámetros físico químicos entre el agua residual y el agua tratada.

Realizado: Karina Ramos, 2017

En este gráfico se puede comprobar la diferencia en la calidad del agua a la entrada y salida del tratamiento. Esto se logró gracias a la adecuada selección del mismo y a la determinación al momento de realizar las pruebas de tratabilidad.

3.3. Resultados del porcentaje de remoción obtenidos después del tratamiento.

Con los resultados del agua tratada es preciso conocer el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes, para lo cual se toma en consideración los valores de la caracterización inicial del agua residual y el resultado obtenido después del tratamiento.

3.3.1. Porcentaje de reducción de la conductividad

Tabla 2-3. Caracterización de la conductividad.

Agua Residual (milimhos/cm)	Agua Tratada (milimhos/cm)	% Reducción	Límite máximo permisible (TULSMA)
12.5	0.46	96.32	0.7

Realizado: Karina Ramos, 2017

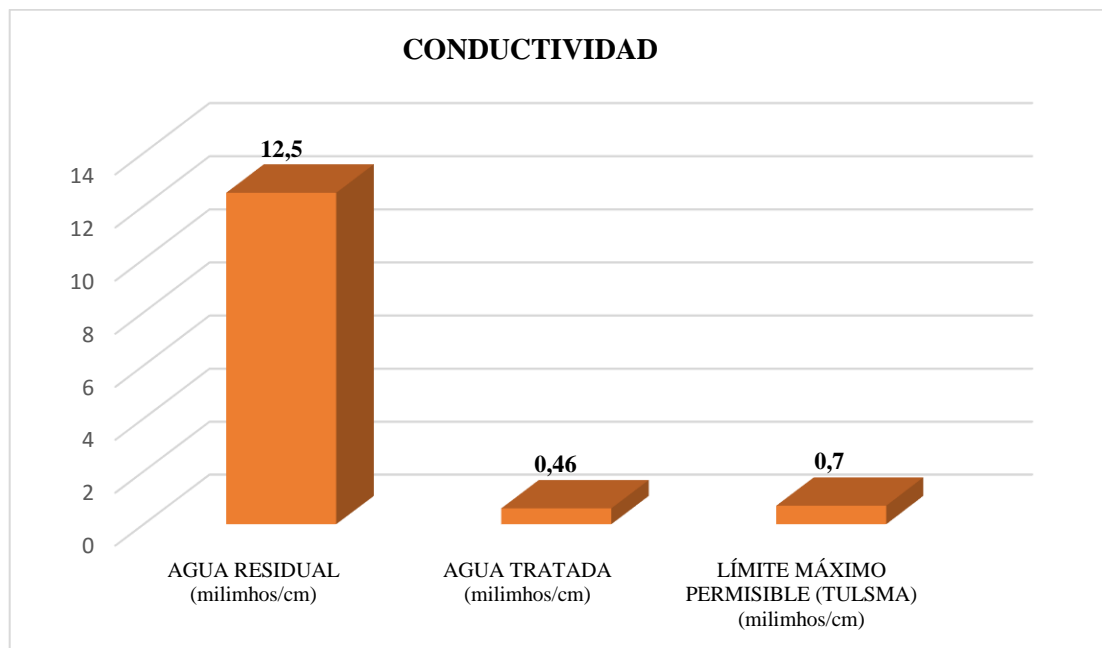


Gráfico 4-3. Disminución de la conductividad

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 4-3, se observa la disminución de la conductividad de 12.5 milimhos/cm a 0.46 milimhos/cm valor que está dentro del límite establecido por el TULSMA para agua de riego que es 0.7 milimhos/cm, este valor de conductividad demuestra que la calidad del agua es apta para el regadío ya que mientras menor sea la conductividad, menor será el esfuerzo que tienen que hacer las plantas para absorber el agua.

3.3.2. Porcentaje de reducción del pH

Tabla 3-3. Caracterización del pH.

Agua Residual (Units PtCo)	Agua Tratada (Units PtCo)	% Reducción	Límite máximo permisible (TULSMA)
12.68	7.82	38.33	6-9

Realizado: Karina Ramos, 2017

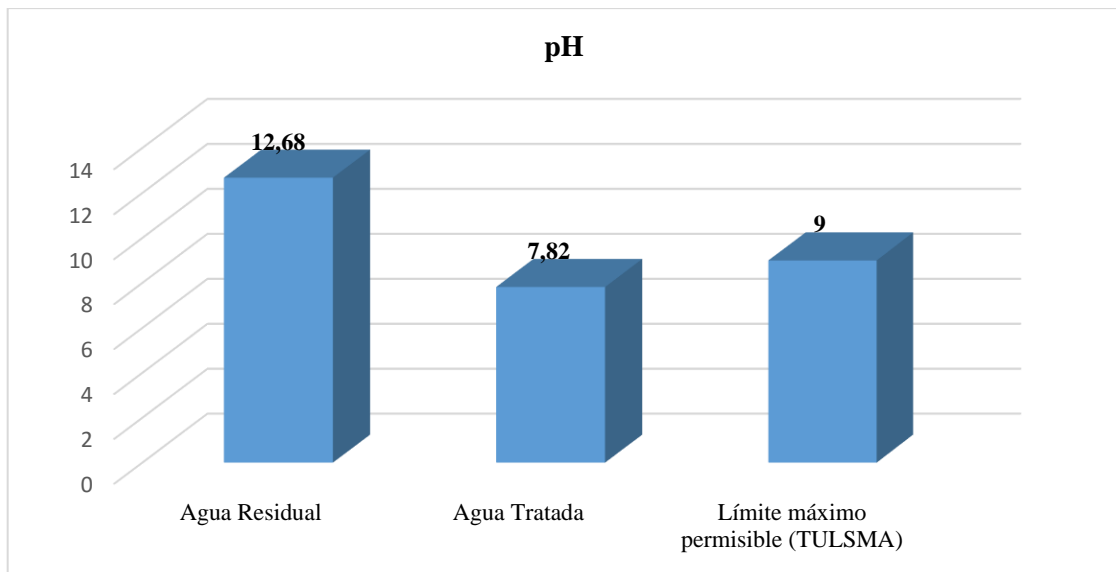


Gráfico 5-3. Disminución del pH

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 5-3, se observa la disminución del potencial hidrógeno de 12.68 a 7.82 valor que está dentro del límite establecido por el TULSMA para agua de riego, que es de 6-9.

3.3.3. Porcentaje de remoción del color.

Tabla 4-3. Caracterización del color.

Agua Residual (Units PtCo)	Agua Tratada (Units PtCo)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
10000	475	95.25	Inapreciable en dilución : 1/20

Realizado: Karina Ramos, 2017

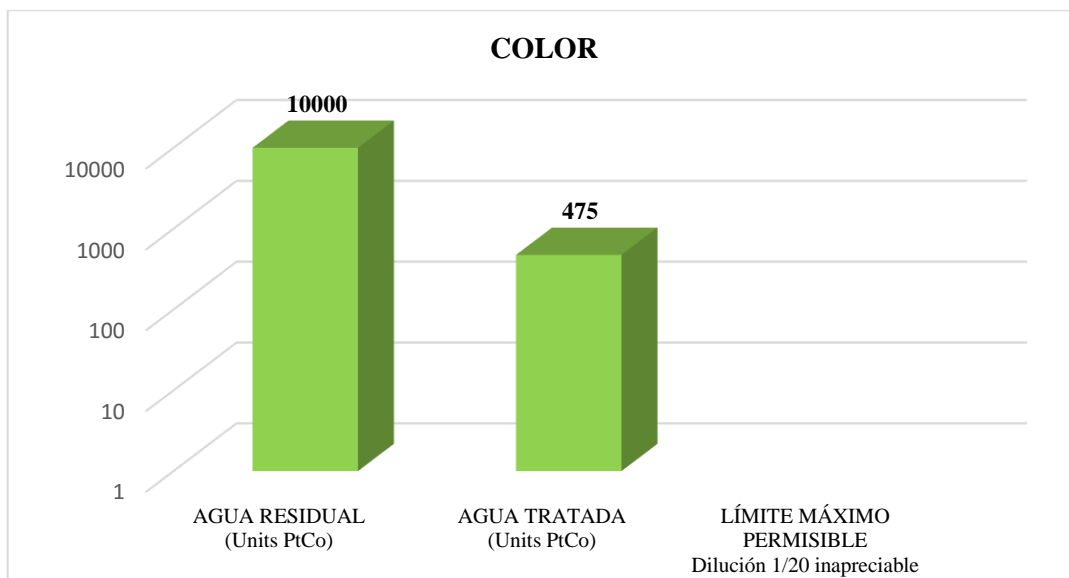


Gráfico 6-3. Disminución del color

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 6-3, se observa la disminución del color, cuantitativamente de 10000 units PtCo a 475 units PtCo, y cualitativamente al realizar un dilución de 1/20 con el agua tratada que tienen un valor de 475 units PtCo se observa que el color es inapreciable, con lo cual este parámetro se encuentra dentro del límite establecido por el TULSMA .Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

3.3.4. Porcentaje de remoción de la turbiedad.

Tabla 5-3. Caracterización de la turbiedad

Agua Residual (UNT)	Agua Tratada (UNT)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
1761	29	98.35	-----

Realizado: Karina Ramos, 2017

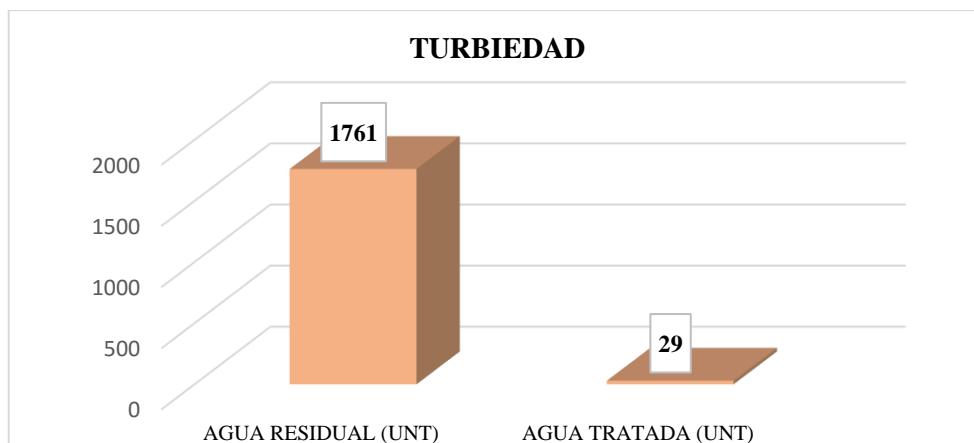


Gráfico 7-3. Disminución de la turbiedad
Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 7-3, se observa la disminución de la turbiedad de 1761 UNT a 29 UNT, este parámetro proporciona información de la transparencia que tiene el agua y los sólidos suspendidos que se encuentran en la misma, con el valor de 29 UNT se determina que es agua de calidad aceptable.

3.3.5. Porcentaje de remoción de sólidos totales

Tabla 6-3. Caracterización de ST

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
8026	593	92.61	1600

Realizado: Karina Ramos, 2017

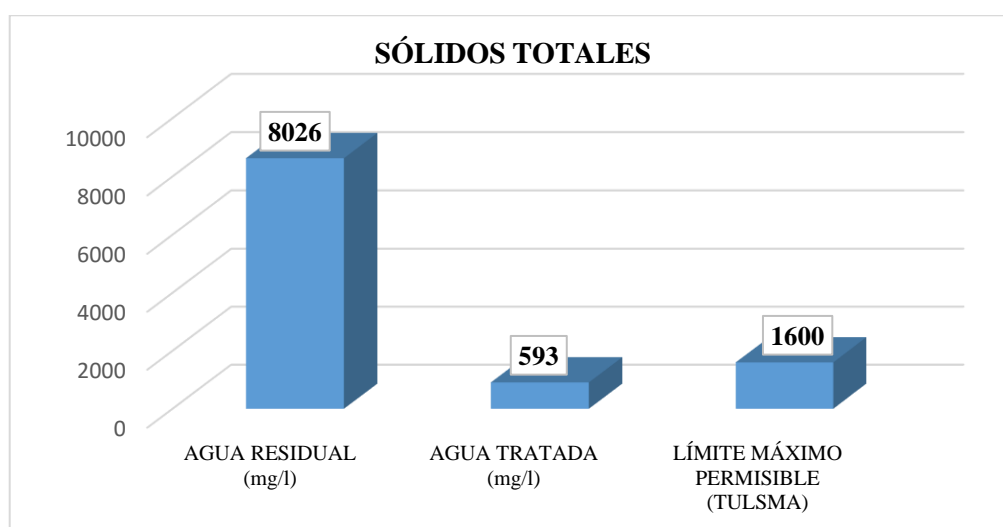


Gráfico 8-3. Disminución de ST
Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 8-3, se observa la disminución de ST presentes en el agua de 8026 mg/l a 593 mg/l valor que está dentro del límite establecido por el TULSMA .Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, además este valor de 593 mg/l permite estimar que los contenidos de sólidos disueltos y suspendidos están también dentro de la normativa.

3.3.6. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales

Tabla 7-3. Caracterización de SST

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
320	81	74.69	130

Realizado: Karina Ramos, 2017

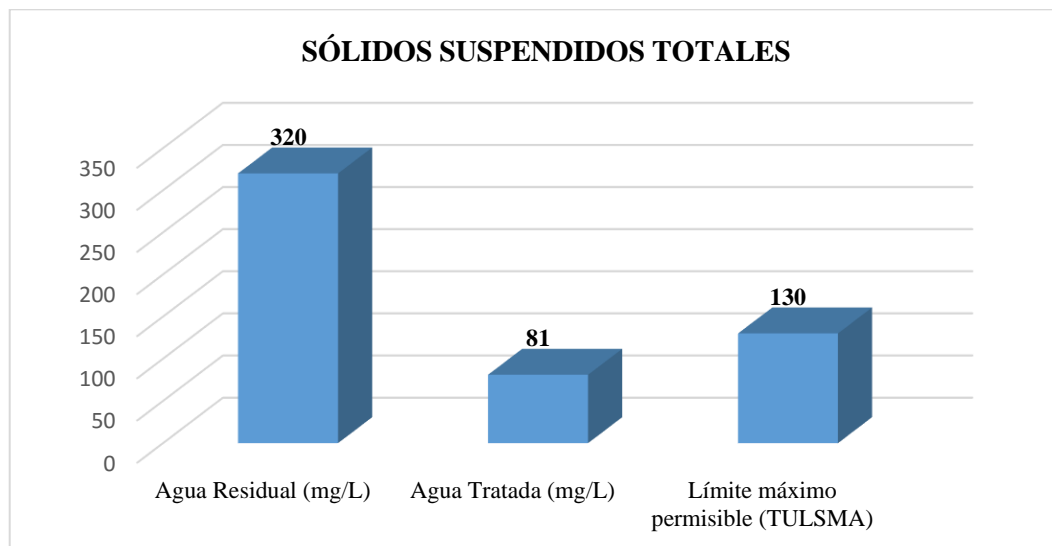


Gráfico 9-3. Disminución de SST

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 9-3, se observa la disminución de SST presentes en el agua de 320 mg/l a 81 mg/l valor que está dentro del límite establecido por el TULSMA .Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

3.3.7. Porcentaje de remoción de sólidos disueltos totales

Tabla 8-3. Caracterización de SDT

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
7675	289	96.23	450

Realizado: Karina Ramos, 2017

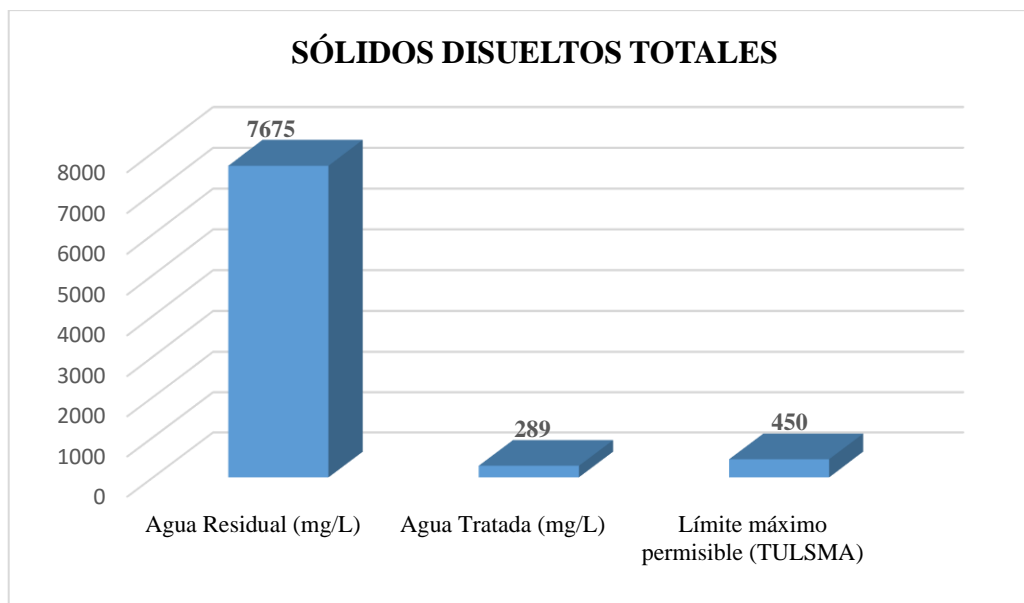


Gráfico 10-3. Disminución de SDT

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 10-3, se observa la disminución de SDT presentes en el agua de 7675 mg/l a 289 mg/l valor que está dentro del límite establecido por el TULSMA. Tabla 3. Criterios de calidad para agua de riego.

3.3.8. Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno

Tabla 9-3. Caracterización de la DQO

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
6843	182	97.34	200

Realizado: Karina Ramos, 2017

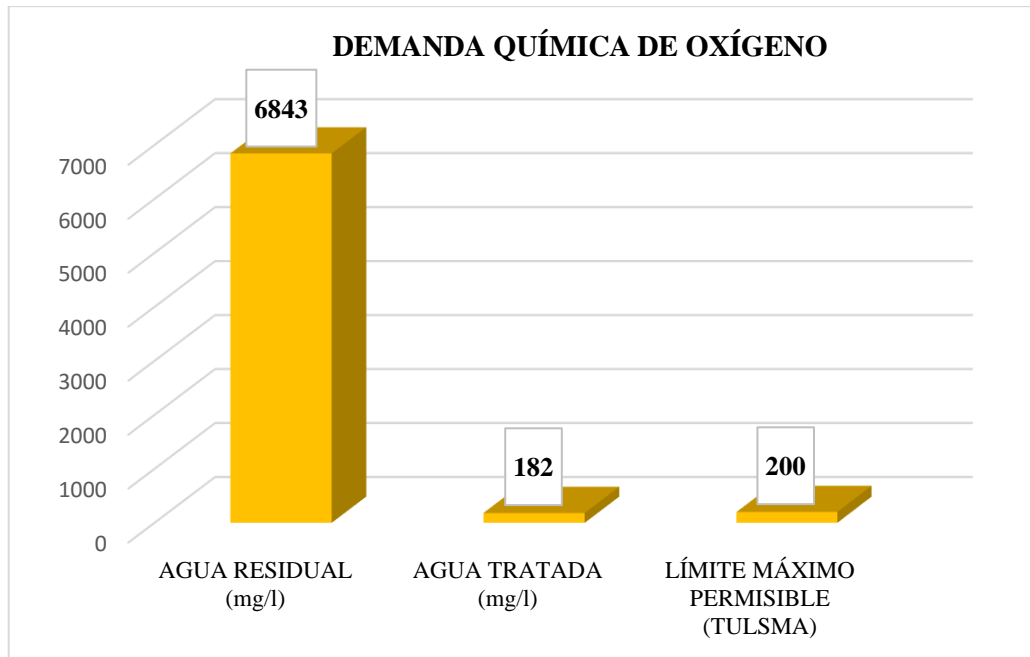


Gráfico 11-3. Disminución de la DQO

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 11-3, se observa la disminución de la DQO de 6843 a 182, con lo cual este parámetro se encuentra dentro del límite establecido por el TULSMA Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, el valor de 182 mg /l indica que las sustancias contaminantes presentes en el agua residual fueron oxidadas mediante los medios químicos utilizados.

3.3.9. *Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno*

Tabla 10-3. Caracterización de la DBO₅

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
2648	81	96.94	100

Realizado: Karina Ramos, 2017

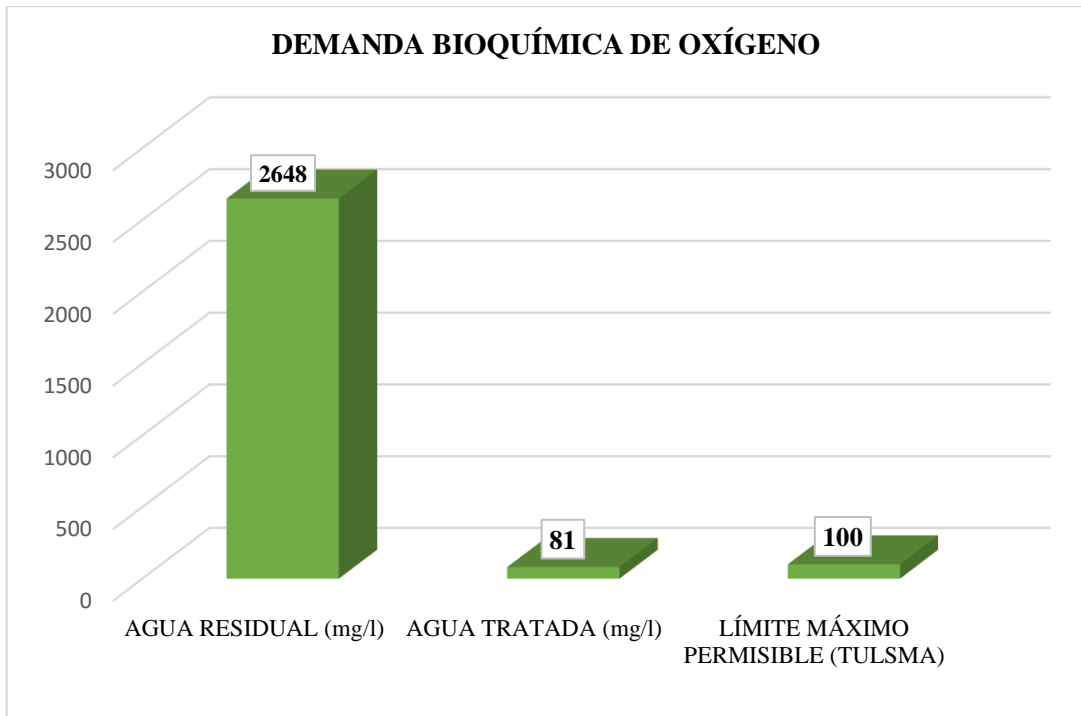


Gráfico 12-3. Disminución de la DBO₅

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 12-3, se observa la disminución de la DBO₅ de 2648 mg/l a 81 mg/l, con lo cual este parámetro se encuentra dentro del límite establecido por el TULSMA Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

3.3.10. Porcentaje de remoción de tensoactivos

Tabla 11-3. Caracterización de tensoactivos

Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
9.93	0.38	96.17	0.5

Realizado: Karina Ramos, 2017

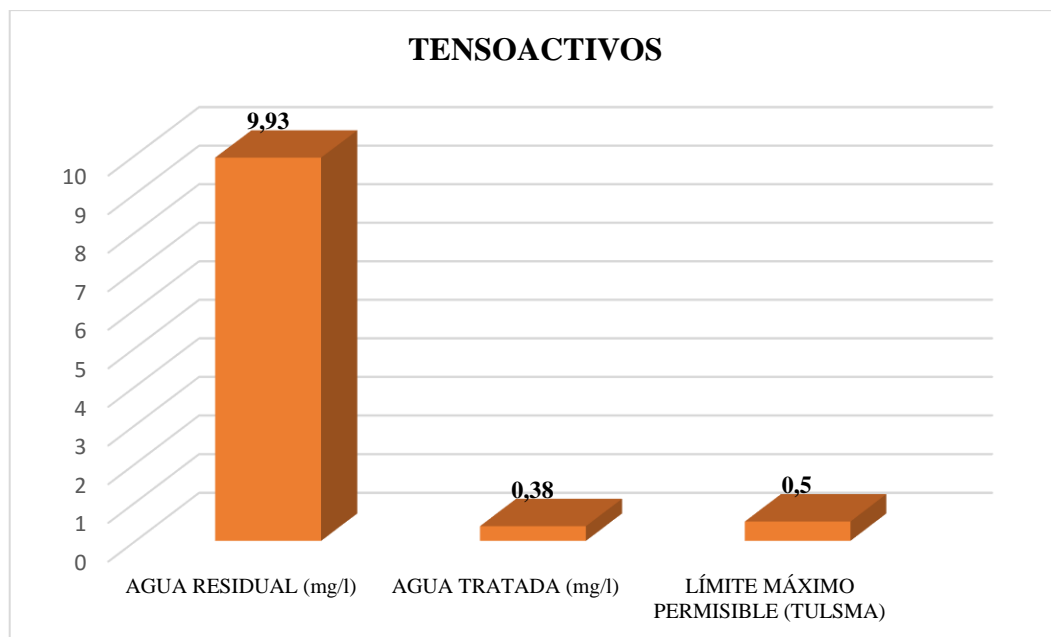


Gráfico 13-3. Disminución de tensoactivos

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 13-3, se observa la disminución de tensoactivos de 9.93 mg/l a 0.38 mg/l, este último valor se encuentra por debajo del límite establecido por el TULSMA Tabla 9, que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. La presencia de tensoactivos en este tipo de aguas es un problema importante ya que en sus procesos de producción son ampliamente utilizados y sus efectos en el suelo y la vegetación son negativos.

3.3.11. Porcentaje de remoción de metales pesados y metales ligeros

Tabla 12-3. Caracterización de metales pesados y metales ligeros

Metales	Agua Residual (mg/L)	Agua Tratada (mg/L)	% Remoción	Límite máximo permisible (TULSMA)
Cobre	6.94	0.11	98.41	0.2
Níquel	8.64	0.13	98.49	0.2
Cromo	1.57	0.09	94.27	0.1
Aluminio	5.67	3.7	34.74	5.0
Hierro	6.47	0.9	86.09	5.0

Realizado: Karina Ramos, 2017

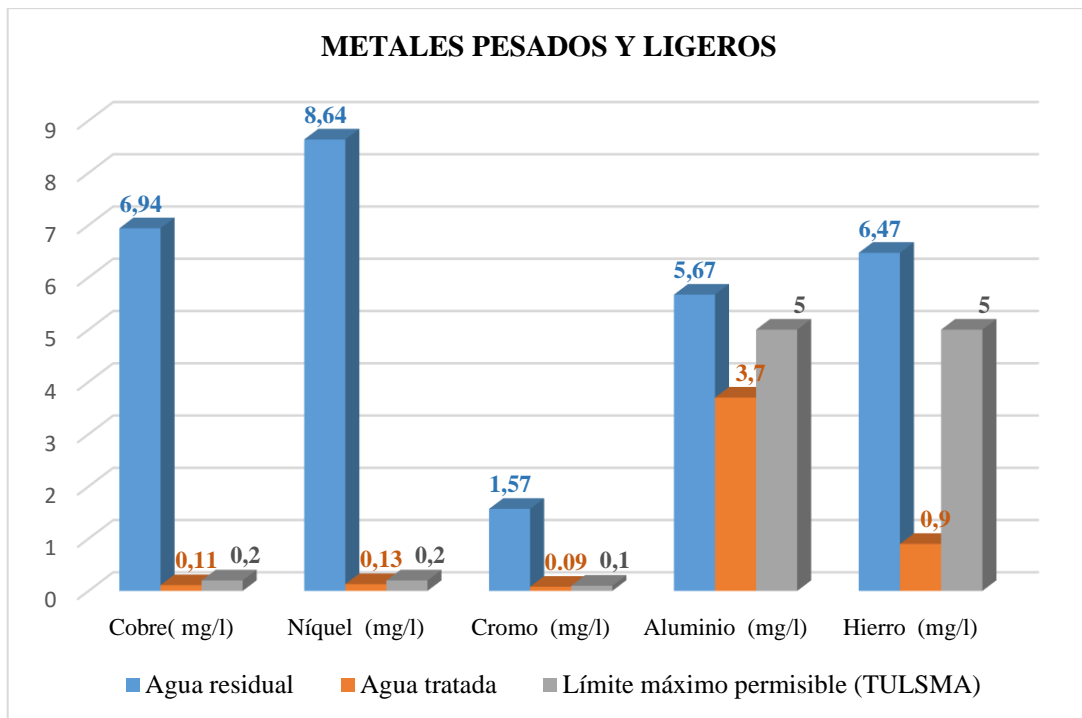


Gráfico 14-3. Disminución de metales pesados y metales ligeros

Realizado: Karina Ramos, 2017

En el gráfico 14-3, se puede observar la disminución de metales pesados como el cobre y el níquel que se encuentran en mayor cantidad debido a la naturaleza de los colorantes que se utilizan para el teñido de las telas, también la disminución del cromo y otros metales ligeros como el aluminio y el hierro. Cada uno de ellos han disminuidos y tienen valores que se encuentran por debajo del límite establecido por el TULSMA. Tabla 3. Criterios de calidad para agua de riego.

3.4. Cálculos de ingeniería para el diseño del sistema de tratamiento del agua residual de la fábrica de textiles “Hilario”.

El sistema de tratamiento de agua residual para la fábrica de textiles Hilario operará al final de la jornada de trabajo diaria, es decir una vez que se hayan producido las 6 descargas de agua residual provenientes del procesamiento de tela poli algodón que es la que por su carga contaminante se encuentra fuera de normativa ambiental.

3.4.1. Cálculo del caudal de diseño

El caudal promedio que genera la planta de producción es de 2.77 l/s.

$$Q = 2.77 \frac{l}{s} \times \frac{900 s}{1 \text{ descarga (15 min)}} \times \frac{6 \text{ descargas (15 min)}}{1 \text{ dia}} = 14958 \frac{l}{\text{dia}}$$

El factor de mayorización para este caso será del 20 %

$$Q_D = Q + Q \text{ (FM)}$$

$$Q_D = 14958 \frac{l}{dia} + 14958 \frac{l}{dia} \text{ (0.2)}$$

$$Q_D = 17949.6 \frac{l}{dia} = 17.95 \frac{m^3}{dia} = 2.24 \frac{m^3}{h}$$

3.4.2. *Cálculo del volumen del agua a partir del caudal de diseño*

$$V_T = Q_D \cdot t$$

$$V_T = 2.24 \frac{m^3}{h} \cdot 8 h = 17.95 m^3 = 17950 l$$

3.4.3. *Tanque de almacenamiento*

3.4.3.1. *Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento*

Las dimensiones de largo, ancho y altura del tanque de almacenamiento fueron medidos en el lugar.

$$V_{TA} = l \cdot a \cdot h$$

$$V_{TA} = (4m)(2,5m)(2m)$$

$$V_{TA} = 20 m^3$$

3.4.3.2. *Cálculo del área del tanque de almacenamiento*

$$A_{TA} = l \cdot a$$

$$A_{TA} = (4m)(2.5m)$$

$$A_{TA} = 10 m^2$$

3.4.4. *Diseño del tanque circular de sedimentación*

3.4.4.1. *Cálculo del área del sedimentador*

$$C_s = \frac{Q_D}{A_s}$$

Despejando el área de la ecuación anterior se tiene:

$$A_s = \frac{Q_D}{C_s}$$

El valor de la carga superficial es $14 \frac{m^3}{m^2 dia}$ considerado en la tabla 6-1.

$$A_s = \frac{2.24 \frac{m^3}{h}}{0.58 \frac{m^3}{m^2 h}}$$

$$A_s = 3.86 m^2$$

3.4.4.2. Cálculo del radio del sedimentador

$$r_s = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$$

$$r_s = \sqrt{\frac{3.86 m^2}{3.1416}}$$

$$r_s = 1.11 m$$

3.4.4.3. Cálculo del diámetro del sedimentador

$$\phi_s = 2r_s$$

$$\phi_s = 2(1.11m)$$

$$\phi_s = 2.22 m$$

3.4.4.4. Cálculo del volumen de la parte cilíndrica del sedimentador

El valor de la altura es 4.5 m considerado de la tabla 7-1.

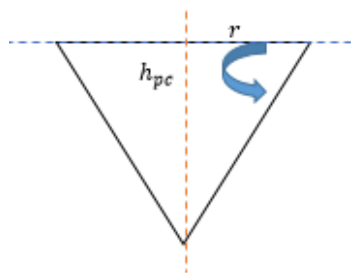
$$V_{sc} = \pi r^2 h_s$$

$$V_{sc} = (3.1416)(1.11m)^2(4.5m)$$

$$V_{sc} = 17.42 m^3$$

3.4.4.5. Cálculo del volumen de la parte cónica del sedimentador

El valor del ángulo es 45° considerado del criterio para ángulos según la bibliografía de Jorge Arboleda Valencia.



$$V_{pc} = \frac{\pi r^2 h_{pc}}{3}$$

$$\text{tangente } \sigma = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

$$\text{tangente } \sigma = \frac{h_{pc}}{r}$$

$$h_{pc} = \text{tg } \sigma \cdot r$$

$$h_{pc} = (\text{tg } 45^\circ)(1.11 m)$$

$$h_{pc} = 1.11 m$$

Reemplazando la altura de la parte cónica:

$$V_{pc} = \frac{\pi r^2 h_{pc}}{3}$$

$$V_{pc} = \frac{(3.1416)(1.11m)^2 (1.11m)}{3}$$

$$V_{pc} = 1.43 m^3$$

3.4.4.6. Cálculo del volumen total del sedimentador

$$V_T = V_{sc} + V_{pc}$$

$$V_T = 17.42 m^3 + 1.43 m^3$$

$$V_T = 18.85 m^3$$

3.4.4.7. Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica es de 2 horas el mismo que se determinó experimentalmente en el cono imhoff y coincide con los valores de la tabla 8-1 de tiempo para la retención hidráulica de la sedimentación según bibliografía de Aurelio Hernández página 98.

$$Trh = 2 h$$

3.4.4.8. Cálculo de potencia requerida del motor para la operación de mezclado en la coagulación -floculación

El valor de la viscosidad dinámica es $1.102 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$ corresponde a los valores de las propiedades del agua a diferentes temperaturas.

$$P_M = G^2 \cdot \mu \cdot V_T$$

Para calcular el gradiente de velocidad se utiliza la expresión:

$$G = 0.25 n^{1.25}$$

El valor de n corresponde a la velocidad de rotación para la operación de mezclado que se determinó de manera experimental siendo 150 rpm.

$$G = 0.25 (150)^{1.25}$$

$$G = 0.25 (150)^{1.25}$$

$$G = 131.2 s^{-1}$$

Reemplazando en la ecuación de la potencia:

$$P_M = G^2 \cdot \mu \cdot V_T$$

$$P_M = (131.2 s^{-1})^2 (1.102 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}) (18.85 m^3)$$

$$P_M = 357.57 \frac{N \cdot m}{s} = 357.57 \text{ watts} = 0.48 Hp = 0.5 Hp$$

La potencia necesaria es de 0.5 Hp que representa un valor aceptable ya que estos motores son recomendados para caudales máximos de 38 L/min equivalente a $2.28 \frac{m^3}{h}$.

3.4.4.9. Cálculo del tiempo de mezclado para la operación de mezclado en la coagulación – floculación

La velocidad de rotación para la operación de mezclado se determinó de manera experimental siendo 150 rpm durante 5 minutos para homogenizar el medio con el coagulante es decir una agitación rápida y posteriormente una agitación lenta de 40 rpm durante 15 min para favorecer la formación de flóculos.

3.4.4.10. Cálculo del porcentaje de remoción de DBO₅ y SST

Los valores de las constantes empíricas a y b a 20 °C, tomados de la tabla 10-1.

$$R_{DBO_5} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

$$R_{DBO_5} = \frac{2h}{0.018 + 0.020(2h)}$$

$$R_{DBO_5} = 34.48 \%$$

$$R_{SST} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

$$R_{SST} = \frac{T_{rh}}{a + bT_{rh}}$$

$$R_{SST} = \frac{2h}{0,0075 + 0,014 (2h)}$$

$$R_{SST} = 56.34 \%$$

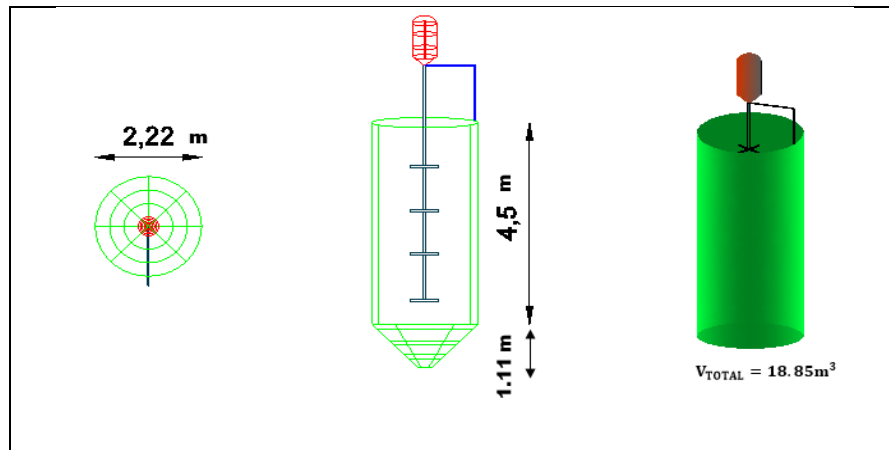


Figura 1-3. Dimensiones del sedimentador circular

Fuente: Karina Ramos ,2017

3.4.5. *Diseño del filtro convencional lento*

3.4.5.1. *Cálculo del área del filtro*

El valor de la tasa de filtración es $7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}$ tomado de la tabla de clasificación de los filtros según la bibliografía de Jorge Arboleda Valencia.

$$A_F = \frac{Q_D}{\text{tasa de filtración}}$$

$$A_F = \frac{2.24 \text{ m}^3/\text{h}}{0.29 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}}$$

$$A_F = 7.72 \text{ m}^2$$

3.4.5.2. *Cálculo de la altura del filtro*

La altura del filtro estará en función a la altura del borde libre, nivel del agua sobrenadante sobre el lecho, altura del lecho filtrante y el sistema de drenaje y soporte.

Los datos de la altura de cada unidad que compone el filtro han sido tomados de la tabla de filtros lentos según la bibliografía de Jorge Arboleda.

Borde libre: 0.3 m

Nivel del agua: 1 m

Altura del lecho filtrante:

- Carbón activado granular (esfericidad 0.70 mm):0.60 m
- Arena: 1.20 m

Sistema de drenaje y soporte: 0.30 m

$$\text{Altura del filtro} = 0.30\text{m} + 1\text{m} + 0.60\text{m} + 1.20\text{m} + 0.30\text{m}$$

$$\text{Altura del filtro} = 3.40 \text{ m}$$

3.4.5.3. Cálculo de la longitud del filtro

$$A_F = \text{ancho} \cdot \text{largo}$$

$$\text{largo} = \frac{A_F}{\text{ancho}}$$

$$\text{largo} = \frac{7.72 \text{ m}^2}{1.5 \text{ m}}$$

$$\text{largo} = 5.15 \text{ m}$$

3.4.5.4. Cálculo del volumen del filtro

$$V_F = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$V_F = (5.15 \text{ m}) (1.5 \text{ m}) (3.40 \text{ m})$$

$$V_F = 26.27 \text{ m}^3$$

3.4.5.5. Cálculo del tiempo de retención

$$T_R = \frac{V_F}{Q}$$

$$T_R = \frac{26.27 \text{ m}^3}{2.24 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$T_R = 11.72 \text{ h} \cong 12 \text{ h}$$

3.4.5.6. Sistema de drenaje y soporte

Según Jorge Arboleda Valencia, el sistema de drenaje y soporte para filtros lentos tiene las siguientes especificaciones:

- Espacio entre laterales: 1.20 m
- Espacio entre orificios del tubo: 0.15 m
- Diámetro del orificio: 3 mm

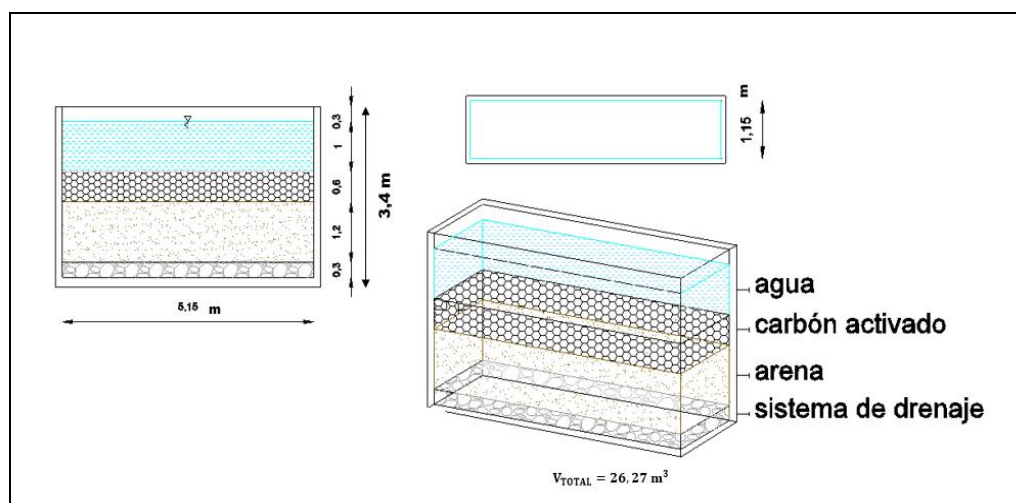


Figura 2-3. Dimensiones del filtro convencional lento

Fuente: Karina Ramos ,2017

3.4.6. Diseño del tanque de cloración

3.4.6.1. Peso de cloro necesario

$$P_{Cl} = Q_D \cdot D$$
$$P_{Cl} = (17.95 \frac{m^3}{dia})(0.03 \frac{Kg}{m^3})$$
$$P_{Cl} = 0.538 \frac{Kg}{dia}$$

3.4.6.2. Cálculo del área del tanque de cloración

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = A \cdot h$$
$$A_{TC} = \frac{V_T}{h_{TC}}$$
$$A_{TC} = \frac{17.95 \frac{m^3}{dia}}{4 m}$$
$$A_{TC} = 4.49 m^2$$

3.4.6.3. Cálculo del radio del tanque de cloración

$$r_{TC} = \sqrt{\frac{A_{TC}}{\pi}}$$
$$r_{TC} = \sqrt{\frac{4.49 m^2}{\pi}}$$
$$r_{TC} = 1.19 m$$

3.4.6.4. Cálculo del diámetro del tanque de cloración

$$\phi_{TC} = 2r_{TC}$$
$$\phi_{TC} = 2(1.19 m)$$
$$\phi_{TC} = 2.38 m$$

3.4.6.5. Cálculo del volumen del tanque de cloración

$$V_{TC} = \pi r^2 h_{TC}$$
$$V_{TC} = (3.1416) (1.19m)^2 (4m)$$
$$V_{TC} = 17.97 m^3$$

3.4.6.6. Cálculo de potencia requerida del motor para la operación de mezclado

El valor de la viscosidad dinámica es $1.102 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}$ corresponde a los valores de las propiedades del agua a diferentes temperaturas.

$$P_M = G^2 \cdot \mu \cdot V_{TC}$$

El gradiente de velocidad tiene un valor de 250 s^{-1} considerado de la tabla de intervalo de valores para el proceso de mezclado y floculación según la bibliografía de Metcalf-Eddy.

$$P_M = (250 \text{ s}^{-1})^2 (1.102 \times 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2}) (17.79 \text{ m}^3)$$

$$P_M = 1225.3 \text{ watts} = 1.6 \text{ Hp}$$

3.4.6.7. Cálculo del tiempo de mezclado para la operación de mezclado en la cloración

Considerando de la tabla de intervalo de valores para el proceso de mezclado y floculación según la bibliografía de Metcalf-Eddy, el tiempo de mezclado para favorecer el contacto entre el hipoclorito de calcio y el agua es de 20 segundos.

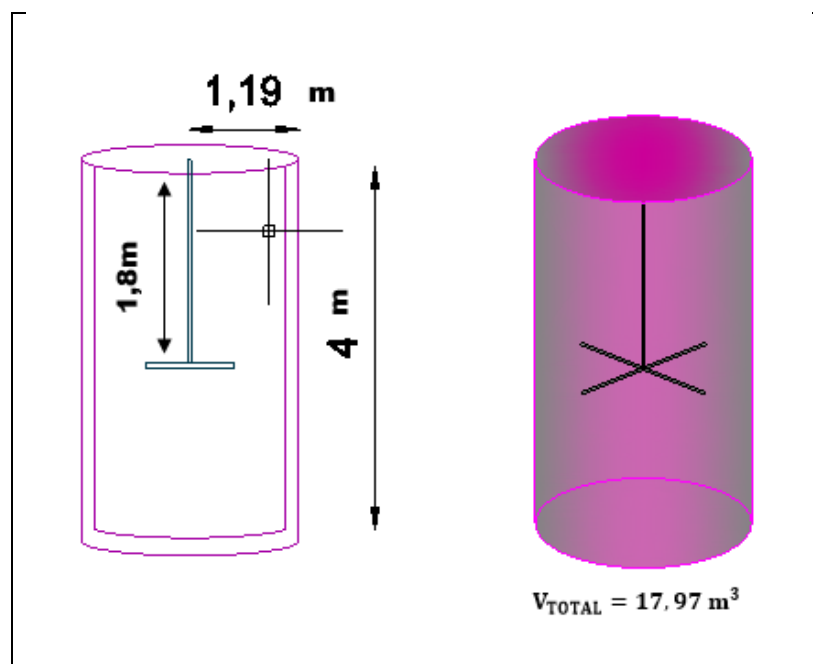


Figura 3-3. Dimensiones del tanque de cloración

Fuente: Karina Ramos ,2017

3.4.7. Diseño de eras de secado

En el cono Imhoff se determinó que por cada litro de agua residual se genera 88 ml de lodos.

$$V_{\text{lodos}} = \frac{88 \text{ ml lodos}}{1 \text{ l de agua residual}} \times \frac{17950 \text{ l de agua residual}}{1 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ l de lodo}}{1000 \text{ ml de lodo}}$$

$$V_{\text{lodos}} = 1579.6 \frac{\text{l}}{\text{día}} = 1.58 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Se debe considerar que mientras mayor sea el área de las eras de secado mejor será la transferencia de calor y los lodos se secarán más rápido, por tanto las dimensiones de las eras de secado serán:

$$l = 3 \text{ m}$$

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

$$h = 0.5 \text{ m}$$

El área de secado será:

$$A_s = l \cdot a$$

$$A_s = (3\text{m})(1.5\text{m})$$

$$A_s = 4.5 \text{ m}^2$$

Sobre el área calculada de 4.5 m² se dispondrá una capa de arena, la misma que ayudará como lecho filtrante para que los lodos provenientes de la sedimentación se sequen con mayor rapidez, para facilitar el posterior transporte de éstos a un vertedero de desechos sólidos ya que el contenido de metales es un inconveniente y no pueden ser utilizados como abono agrícola.

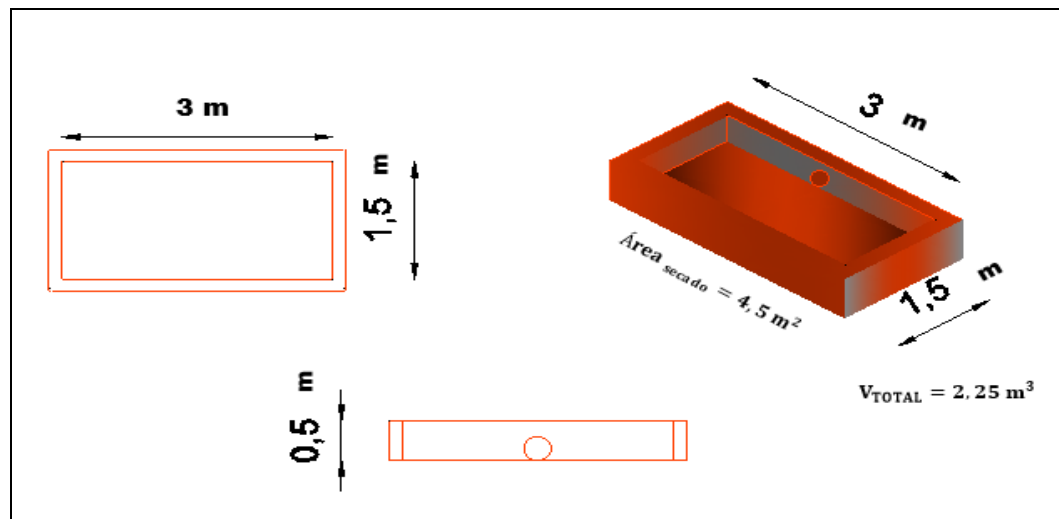


Figura 4-3. Dimensiones de las eras de secado

Fuente: Karina Ramos ,2017

3.4.8. Tuberías y accesorios del sistema de tratamiento

La longitud de tubería lisa se determinó tomando en consideración el área física donde se va a construir el sistema de tratamiento del agua residual así como la disposición de la planta de

producción. La tubería comúnmente utilizada para el transporte de agua sea potable o residual es la de PVC y además es económicamente accesible.

Los principales accesorios a utilizar son codos de 90°, válvulas de compuerta y uniones. El material de éstos también es de PVC.

3.5. Resultados obtenidos en el dimensionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento del agua residual

3.5.1. Tanque de almacenamiento

Conociendo las dimensiones del tanque de almacenamiento, mismo que es funcional para el sistema de tratamiento, se detallan a continuación importantes parámetros de diseño que son necesarios conocer.

Tabla 13-3. Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque circular de sedimentación.

Parámetros	Simbología	Unidades	Resultados
Área del tanque de almacenamiento	A_{TA}	m^2	10
Volumen del tanque de almacenamiento	V_{TA}	m^3	20

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.2. Tanque circular de sedimentación

Una vez realizados los cálculos se detallan los parámetros de diseño para el sedimentador circular con sus respectivos valores para el dimensionamiento del mismo.

Tabla 14-3. Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque circular de sedimentación.

Parámetros	Simbología	Unidades	Resultados
Carga superficial	C_s	$\frac{m^3}{m^2 h}$	0.58
Área del tanque sedimentador	A_s	m^2	3.86
Radio del sedimentador circular	r_s	m	1.11

Diámetro del sedimentador circular	\varnothing_s	<i>m</i>	2.22
Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador	V_{sc}	m^3	17.42
Altura de la parte cilíndrica del sedimentador	h_{sc}	<i>m</i>	4.5
Volumen de la parte cónica del sedimentador	V_{pc}	m^3	1.43
Altura de la parte cónica del sedimentador	h_{pc}	<i>m</i>	1.11
Volumen total del sedimentador circular	V_T	m^3	18.85
Tiempo de retención hidráulica	Trh	<i>h</i>	2
Potencia requerida del motor para la operación de mezclado en la coagulación –floculación	P_M	<i>Hp</i>	0.5
Gradiente de velocidad	G	s^{-1}	131.2
viscosidad dinámica	M	$N s/m^2$	1.102×10^{-3}
Tiempo de mezclado para la coagulación – floculación	t_M	<i>min</i>	Agitación rápida :150 rpm durante 5 min Agitación lenta: 40 rpm durante 15 min
Porcentaje de remoción de DBO₅	R_{DBO_5}	%	34.48
Porcentaje de remoción de SST	R_{SST}	%	56.34

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.3. Filtro convencional lento

Realizados los cálculos se detallan los parámetros de diseño para el filtro convencional lento con sus respectivos valores para el dimensionamiento del mismo, el lecho filtrante está conformado por arena y carbón activado granular.

Tabla 15-3. Resultados obtenidos en el dimensionamiento del filtro convencional lento.

Parámetros	Simbología	Unidades	Resultados
Área del filtro	A_F	m^2	7.72
Tasa de filtración	T_F	$m^3/m^2 h$	0.29
Ancho del filtro	A	m	1.5
Largo del filtro	l	m	5.15
Altura del borde libre	B_L	m	0.3
Altura del nivel del agua	N_{H_2O}	m	1
Altura del lecho filtrante	L_F	m	Carbón activado :0.60
			Arena: 1.20
Altura del sistema de drenaje y soporte	S_{DT}	m	0.30
Altura total del filtro	h_T	m	3.40
Volumen del filtro	V_F	m^3	26.27
Tiempo de retención	T_R	h	12
Sistema de drenaje y tuberías:		m	1.20
			- Espacio entre laterales
			- Espacio entre orificios del tubo
- Diámetro del orificio		mm	3

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.4. Tanque de cloración

Una vez calculados los parámetros de diseño para el tanque de cloración se indican los respectivos valores para el dimensionamiento del mismo.

Tabla 16-3. Resultados obtenidos en el dimensionamiento del tanque de cloración.

Parámetros	Simbología	Unidades	Resultados
Área del tanque de cloración	A_{TC}	m^2	4.49
Radio del tanque de cloración	r_{TC}	m	1.19
Diámetro del tanque de cloración	\emptyset_{TC}	m	2.38
Volumen del tanque de cloración	V_{TC}	m^3	17.97
Potencia requerida del motor para la operación de mezclado	P_M	Hp	1.6
Gradiente de velocidad	G	s^{-1}	250
Tiempo de mezclado para la operación de mezclado en la cloración	t_M	s	20

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.5. Eras de secado

Una vez realizados los cálculos se detallan los parámetros de diseño para las eras de secado con sus respectivos valores para el dimensionamiento de mismas.

Tabla 17-3. Resultados obtenidos en el dimensionamiento de las eras de secado.

Parámetros	Simbología	Unidades	Resultados
Volumen de lodos	V_{lodos}	$\frac{m^3}{dia}$	1.58
Largo	l	m	3
Ancho	a	m	1.5
Altura	h	m	0.5
Área de secado	A_s	m^2	4.5

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.6. Tipos de materiales utilizados en las unidades que conforman el sistema de tratamiento, tuberías y accesorios.

Un sistema de tratamiento de agua residual requiere de una construcción cuyos materiales permitan una eficiente depuración, con características importantes como impermeabilidad y alta resistencia.

3.5.6.1. Unidades que conforman el sistema de tratamiento de agua residual

La primera unidad de este sistema de tratamiento es el tanque de almacenamiento el cual es funcional para la fábrica por eso no consta en el diseño y está construido de hormigón armado.

Tabla 18-3. Tipo de material utilizado para los componentes principales del sistema de tratamiento.

Unidades	Material
Tanque circular de sedimentación	Hormigón armado
Filtro convencional lento	Hormigón armado
Tanque de cloración	Hormigón armado
Eras de secado	Hormigón armado

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.6.2. Tuberías y accesorios que conforman el sistema de tratamiento de agua residual

Tabla 19-3. Descripción de la tubería utilizada en el sistema de tratamiento del agua residual.

	Diámetro	Material	Longitud	Descripción
Tuberías	4 pulgadas	PVC	26m	Se utilizarán estas tuberías para el transporte del agua desde el tanque de almacenamiento hacia las diferentes unidades del sistema, hasta la salida del agua tratada a los terrenos aledaños a la planta.
	6 pulgadas	PCV	8 m	Se utilizara esta tubería para el transporte de los lodos desde el tanque circular de sedimentación hasta las eras de secado.

Realizado: Karina Ramos, 2017

Tabla 20-3. Descripción de los accesorios utilizados en el sistema de tratamiento del agua residual.

Accesorio	Cantidad	Material	Descripción
Codo de desagüe de 1” 90G	4	PVC	Estos codos permiten cambiar la dirección del agua.
Codo de desagüe de 4” 90G	1	PVC	
Codo de desagüe de 6” 90G	1	PVC	
Unión Gibault 4” asimétrica	8	PVC	Se utiliza para unir las válvulas de compuerta en la línea de tubería que transporta el agua residual

Unión Gibault 6” asimétrica	2	PVC	Se utiliza para unir la válvula que se halla ubicada a la salida de los lodos
Válvula de compuerta de 4”	4	PVC	Sirve para abrir o cerrar el paso del agua a cada una de las unidades
Válvula de compuerta de 6”	1	PVC	Sirve para descargar los lodos hacia las eras de secado

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.5.6.3. Otros componentes que forman el sistema de tratamiento

Tabla 21-3. Descripción de otros componentes utilizados en el sistema de tratamiento del agua residual.

Componente	Material	Descripción
Mezclador	Acero inoxidable	Sirve para la operación de mezclado tanto para la coagulación floculación así como para la cloración
Motor		0.5 Hp para accionar el mezclador para la coagulación floculación
Motor		1.6 Hp para accionar el mezclador para el contacto cloro -agua

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.6. Propuesta

El presente estudio proviene de una necesidad real de la fábrica de textiles “Hilario” debido al impacto ambiental que provoca la descarga del agua residual en el entorno, sin previo tratamiento. Se realizó la caracterización inicial del agua residual procedente de los dos tipos de tela que en la fábrica se producen a fin de conocer la calidad de las mismas, en base a estos análisis se determinó que solamente el agua residual del procesamiento de poli algodón necesita tratarse con la finalidad de reducir su carga contaminante.

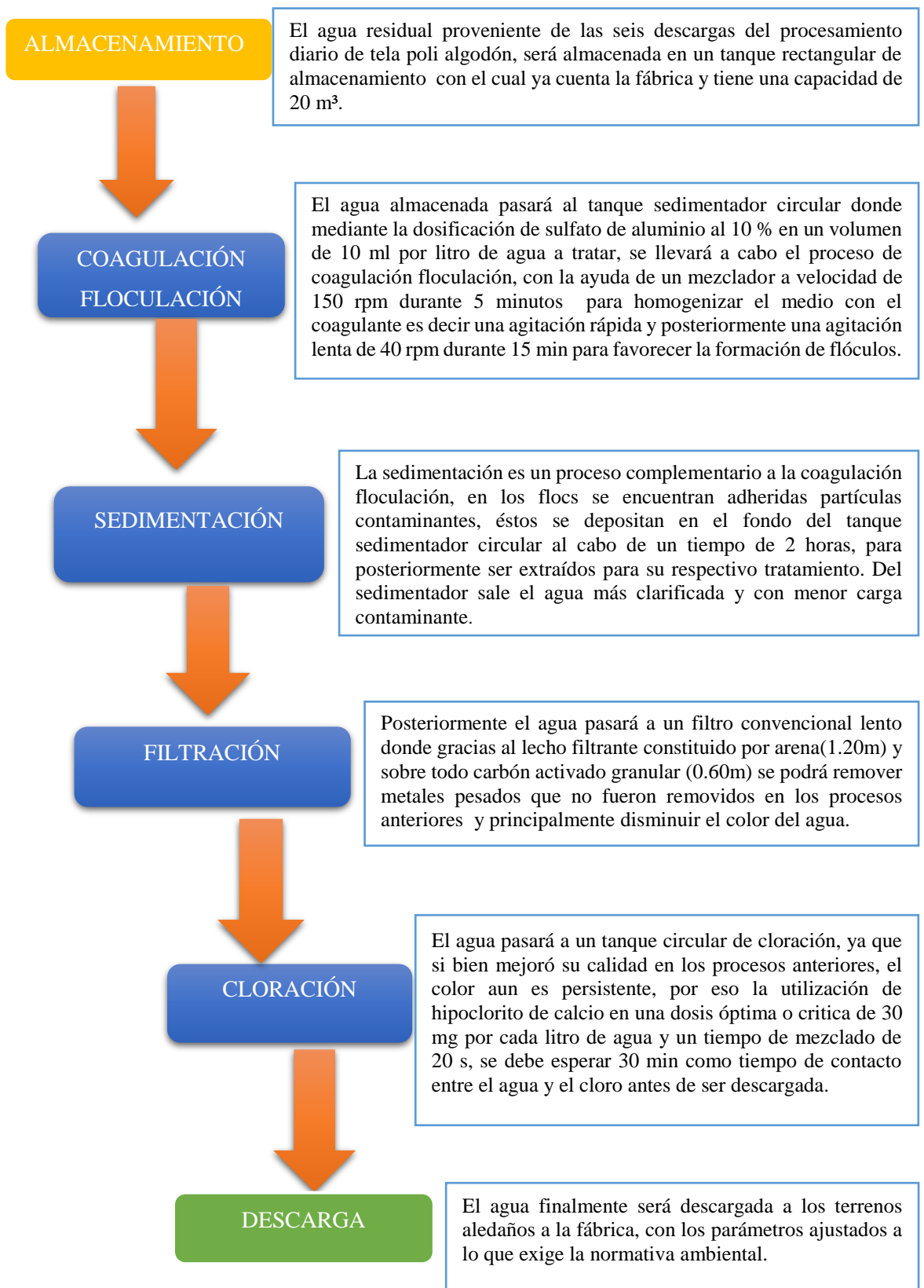
Mediante pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio se seleccionó el sistema de tratamiento del agua residual idóneo para este tipo de agua de la industria textil.

La propuesta del sistema de tratamiento del agua residual para ésta fábrica consiste en tratamientos físico químicos mismos que permitirán ajustar los parámetros de calidad del agua citados en el TULSMA, libro VI, anexo 1, recurso agua, tabla 3. Criterios de calidad de Aguas para riego agrícola.

El sistema de tratamiento consiste de un tanque de almacenamiento, un tanque circular de sedimentación, un filtro convencional lento, un tanque circular de cloración y eras de secado, para lo cual se cuenta con un terreno disponible de 600 m² de superficie, cabe señalar que se realizó un levantamiento topográfico del terreno (ver Anexo K) mediante el cual se describen las características particulares del terreno como las diferencias de altura de los relieves , elementos que se encuentran en el lugar y pendientes.

Gracias a esto se determinó que el transporte del agua de una unidad a otra será por gravedad, es decir el agua caerá de una unidad elevada hasta una ubicada más abajo.

Los lodos provenientes de la sedimentación serán dispuestos en una era de secado de 4.5 m² de área con el fin de eliminar la mayor cantidad de agua que poseen y así facilitar su transporte hacia el relleno sanitario.



3.7. Presupuesto

3.7.1. Presupuesto general para el sistema de tratamiento

Tabla 22-3. Presupuesto general para el sistema de tratamiento

PRESUPUESTO GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PARA LA FÁBRICA DE TEXTILES "HILARIO"						
ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	IF	INVERSIÓN FIJA				
		DESBROCE Y LIMPIEZA	m ²	70	1,5	105,00
		REPLANTEO Y NIVELACIÓN DE ESTRUCTURAS	m ²	30	1,05	31,50
		EXCAVACIÓN MANUAL EN CIMENTOS Y PLINTOS	m ³	6	9,80	58,80
		DESALOJO A MAQUINA. EQUIPO: VOLQUETA	m ³	6	5,70	34,20
		REPLANTILLO DE H.S 140 Kg/CM2, e=15 cm	m ²	50	6,38	319,0
		HORMIGON SIMPLE F'c = 210 KG/CM2.	m ³	14	142,59	1996,26
		ACERO DE REFUERZO F'Y =4200 KG/CM2.	kg	600	1,97	1182,0
		ALISADO INTERIOR CON PIEDRA CARBORUNDO	m ²	40	4,3	172,0
		ALISADO DE PISOS (MORTERO 1:3, E = 1.5 CM)	m ²	11	8,05	91,85
		ALISADO EXTERIOR (MORTERO 1:3, E = 1.5 CM, INCLUYEN ANDAMIOS)	m ²	17	7,97	137,64
		ESCALONES D =16 mm	u	25	5	125,0
		ARENA PARA EL FILTRO LENTO (MATERIAL, TRANSPORTE E INSTALACION DE ACUERDO A DISEÑO)	m ³	9	20,8	187,2
		CARBON ACTIVADO GRANULAR (MATERIAL, TRANSPORTE E INSTALACION DE ACUERDO A DISEÑO)	Kg	200	2,70	540
		ARENA PARA ERA DE SECADO (MATERIAL, TRANSPORTE E INSTALACION DE ACUERDO A DISEÑO)	m ³	1.60	20,8	33,28
		GRAVA PARA SOPORTE DEL FILTRO LENTO DP=25 mm (MATERIAL, TRANSPORTE E INSTALACION DE ACUERDO A DISEÑO)	m ³	9	18,8	169,2
		GRAVA PARA ERA DE SECADO DP=25 mm (MATERIAL, TRANSPORTE E INSTALACION DE ACUERDO A DISEÑO)	m ³	1	18,8	18,8
		CODO DESAGÜE DE PVC DE 4" 90G	u	2	5,85	11,7
		CODO DESAGÜE DE PVC DE 6" 90G	u	2	6,5	13,0
		CODO DESAGÜE DE PVC DE 1" 90G	u	4	3,20	12,8
		VÁLVULAS DE COMPUERTA DE 110mm, 4"	u	4	18,0	72,0
		VÁLVULAS DE COMPUERTA DE 150 mm,6"	u	1	4,5	4,5
		UNIÓN GIBault 6" ASIMETRICA	u	2	3,7	7,4

	UNIÓN GIBAULT 4" ASIMETRICA	u	4	4,2	16,8
	TUBERIA DE PVC 4" 0.63 MPa EC	m	26	2,25	58,5
	TUBERIA DE PVC 6" 0.63 MPa EC	m	8	3,5	28,0
	MEZCLADORES	u	2	30,0	60,0
	MOTOR 0.5 HP	u	1	150	150,0
	MOTOR 1.5 HP	u	1	230	230,0
	PINTURA LATEX	m ²	25	5	125,0
	SUBTOTAL A :	5 991.43			
	OM OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO				
B	OPERARIO (MANTENIMIENTO CADA SEIS MESES)	U	1	366	366,00
	ENERGIA ELECTRICA	KW/mes	2880	0,093	267,84
	AGUA POTABLE	m ³ /mes	12	0,46	5,52
	HERRAMIENTA MENOR Y OTROS	U	2	20	40,0
	SUBTOTAL B:	679,36			
TOTAL COSTO DIRECTO (A+B)					6 670.79
IMPREVISTOS %			8%	533,66	
COSTO TOTAL				7 204.45	

Fuente: Ing. Civil. Daniela Moreno, 2017

3.7.2. Presupuesto para los compuestos químicos empleados.

Tabla 23-3. Costo del sulfato de aluminio y del hipoclorito de calcio.

Compuesto químico	Cantidad requerida (Kg/día)	Valor unitario por Kg (\$)	Valor total diario (\$)
Sulfato de aluminio	17.95	0.75	13.46
Hipoclorito de calcio	0.538	2.25	1.21

Realizado: Karina Ramos, 2017

3.8. Análisis y discusión de resultados

De acuerdo a la caracterización físico-química del agua residual proveniente de los dos tipos de tela que se producen en la fábrica textiles “Hilario”, se identificó que el agua del procesamiento de tela poliéster (100%), sin importar si es un color bajo, medio o fuerte, los cuales fueron caracterizados previamente, no necesitan tratarse ya que los parámetros determinados están dentro de los límites permisibles del TULSMA: Tabla 3. Criterios de calidad de aguas para riego agrícola y Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Como se muestra en las tablas: 30-2,31-2.

Al contrario el agua residual que procede del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %) necesita tratarse ya que los parámetros como: Conductividad (12.5 milimhos/cm), Color (10000 Units PtCo), Turbiedad (1761 UNT), ST(8026 mg/l), SST(320 mg/l), SDT(7675 mg/l), pH(12.68), DQO(6 843 mg/l), DBO₅(2648 mg/l), Tensoactivos (9.93 mg/l), Cobre (6.94 mg/l), Níquel(8.64 mg/l), Cromo (1.57 mg/l), Aluminio (5.67 mg/l), Hierro (6.47 mg/l), se encuentran fuera de los límites permisibles del TULSMA, según la tabla 33-2.

Con fundamento en estos datos se optó por realizar pruebas de tratabilidad (pruebas de jarras, filtración, cloración) al agua residual del proceso de poli algodón de un color fuerte, considerando que éste presenta valores más altos en relación a los colores bajos y medios. Primeramente se realizaron pruebas para verificar o descartar la utilización de diferentes coagulantes metálicos y polielectrolitos en este tipo de agua residual.

Los coagulantes metálicos que se utilizaron fueron sales de aluminio y hierro en diferentes concentraciones y volúmenes, de los cuales solamente el sulfato de aluminio, tuvo una reacción favorable en la calidad del agua residual, reduciendo parámetros como: color, pH, turbiedad, conductividad, como se muestra en la tabla 34-2 y en el gráfico 1-2.

También se realizaron pruebas de efectividad con polielectrolitos aniónicos y catiónicos en diferentes concentraciones y volúmenes, de las tres formas que pueden ser utilizados, pero ninguno tuvo reacción favorable en el agua residual por lo que se descartó su uso para este tipo de agua como se puede observar en la tabla 35-2 y en el gráfico 2-2.

Para encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio se procedió a simular el proceso de coagulación–floculación mediante la prueba de jarras, detallada en la tabla 36-2 y en el gráfico 3-2, determinando que la dosis óptima es de 10 ml de sulfato de aluminio al 10 % por cada litro de agua a tratar como se indica en el gráfico 1-3 y se verificó la reducción de la carga contaminante

al determinar el valor de DQO y color como se muestra en la tabla 37-2, y de manera visible como indica la figura 4-2.

Se simularon procesos de sedimentación como se muestra en la figura 5-2, y procesos de filtración y cloración para conocer qué tan efectivos son éstos para disminuir la carga contaminante en este tipo de agua residual, obteniéndose resultados favorables como la remoción de color, DQO, turbiedad, mismos que se muestran en las tablas 38-2 y 39-2 y en las figuras 6-2 y 7-2, respectivamente. Para el proceso de cloración fue necesario realizar ensayos para determinar la dosis óptima de hipoclorito cálcico como indica el gráfico 2-3 .ya que dosis mayores pueden producir efectos negativos en el agua como la formación de subproductos indeseables y la presencia de valores fuera del límite del cloro residual en el agua tratada.

De acuerdo a las pruebas de tratabilidad, el sistema de tratamiento del agua residual está constituido por un proceso de coagulación – floculación con la dosis óptima de sulfato de aluminio y un tiempo de mezclado de 150 rpm durante 5 minutos para homogenizar el medio con el coagulante es decir una agitación rápida y una agitación lenta de 40 rpm durante 15 min para favorecer la formación de flocs; posteriormente la sedimentación tendrá un tiempo de retención de 2 horas para que sedimenten los flocs, seguido de una filtración en un lecho de carbón activado y arena aprovechando la capacidad absorbente de éstos materiales. Finalmente el agua pasará a un proceso de cloración con la dosis óptima de hipoclorito de calcio con el fin de remover el color del agua residual que no pudo ser eliminado en los procesos anteriores.

Una vez realizada las pruebas de tratabilidad y establecidos los procesos que formarán el sistema de tratamiento del proceso de poli algodón, se realizó la caracterización del agua tratada para compararla con la normativa ambiental y determinar que si cumple con la norma citada en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), Libro VI. Anexo I. Recurso Agua. Tabla 3: Criterios de Calidad de Aguas para uso Agrícola en Riego, datos que se pueden observar en la tabla 40-2. En la tabla 1-3 así como en el gráfico 3-3 se visualiza la comparación de los parámetros físico-químicos entre el agua residual y el agua tratada.

Finalmente se puede apreciar en las siguientes tablas: 2-3,4-3,5-3,6-3,7-3,8-3,9-3,10-3,11-3,12-3,13-3,14-3 y en los gráficos:4-3,5-3,6-3,7-3,8-3,9-3,10-3,11-3,12-3,13-3,14-3, el porcentaje de remoción de cada uno de los contaminantes, para lo cual se tomó en consideración los valores de la caracterización inicial del agua residual y el resultado obtenido después del tratamiento.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó el agua residual proveniente de los dos tipos de tela que se producen en la fábrica textiles “Hilario”, mediante análisis físico-químicos en base a la norma citada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Libro VI. Anexo I. Recurso Agua. Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego y Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, identificándose que el agua del procesamiento de tela poliéster (100%), sin importar si es un color bajo, medio o fuerte, no necesita tratarse ya que los parámetros determinados están dentro de los límites permisibles. Al contrario el agua residual que procede del procesamiento de tela poli algodón (65/35 %) necesita tratarse ya que los parámetros como: Conductividad (12.5 milimhos/cm), pH(12.68), Color (10000 Units PtCo), Turbiedad (1761 UNT), ST(8026 mg/L), SST(320 mg/L), SDT(7675 mg/L), DQO(6 843 mg/L), DBO₅(2648 mg/L), Tensoactivos (9.93 mg/L), Cobre (6.94 mg/L), Níquel(8.64 mg/L), Cromo (1.57 mg/L), Aluminio (5.67 mg/L), Hierro (6.47 mg/L), se encuentran fuera de los límites permitidos por la normativa ambiental.
- Con la identificación de las variables de proceso que son: el caudal de diseño de $2.24 \frac{m^3}{h}$ y la concentración de los contaminantes se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales que controló los parámetros fuera de la norma TULSMA, fundamentándose en las pruebas de tratabilidad mismas que se basaron en la reducción de los parámetros físico-químicos que estaban muy por encima de los valores que establece la normativa ambiental como: Color, Turbiedad, ST, SDT, DQO, DBO₅, Cobre y Níquel. Siendo los procesos seleccionados: coagulación-floculación, sedimentación, filtración lenta y cloración; como resultado de las pruebas de tratabilidad se obtuvo una remoción de color de 95.25 %, una reducción de turbiedad de 98.35%, una remoción de ST de 92.61%, una remoción de SDT de 96.23%, una remoción de DQO de 97.34%, una remoción de DBO₅ de 96.94 %, una remoción de cobre de 98.41% y una remoción de níquel de 98.49 %.
- Los cálculos de ingeniería se fundamentaron en el caudal de diseño y el tipo de agua a tratar, según normas, criterios de dimensionamiento y ecuaciones sugeridas por bibliografías para el tratamiento de aguas residuales. El sistema de tratamiento de aguas residuales para la fábrica de textiles “Hilario” consta de las siguientes unidades: tanque de almacenamiento, tanque circular de sedimentación, filtro convencional lento y tanque circular de cloración. Estos procesos resultaron eficientes para ajustar los parámetros que están fuera de norma.

- Con el diseño de tratamiento planteado, se comprobó mediante la caracterización físico-química final del agua tratada, la disminución de los contaminantes teniendo como resultado: Conductividad (0.46 milimhos/cm), pH(7.82),Color (475 Units PtCo), Turbiedad (29 UNT),ST(593 mg/L), SST(81 mg/L), SDT(289 mg/L), DQO(182 mg/L), DBO₅(81 mg/L),Tensoactivos (0.38 mg/L),Cobre (0.11 mg/L), Níquel(0.13 mg/L), Cromo (0.09 mg/L), Aluminio (3.7 mg/L),Hierro (0.9 mg/L), cumpliendo así con lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para uso agrícola en riego y Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

RECOMENDACIONES

- La fábrica de textiles Hilario debería implementar el sistema de tratamiento de agua residual para de esta manera cumplir con la normativa ambiental.
- Realizar un revestimiento de impermeabilización para el tanque de almacenamiento con el que cuenta la fábrica.
- Crear cierta turbulencia en el tanque circular de sedimentación antes de agregar el sulfato de aluminio al agua, accionando el mezclador durante un tiempo de 60 segundos, para favorecer la homogenización y el proceso de coagulación floculación.
- Cuando el sistema de tratamiento de agua residual esté operando se consideren los tiempos de retención determinados para cada unidad de tratamiento, con la finalidad de no perturbar la efectividad de los procesos y así ajustar los parámetros que se encuentran fuera de norma.
- Realizar la caracterización de los lodos resultantes del sistema de tratamiento con el fin de conocer si éstos necesitan ser estabilizados antes de ser llevados al proceso de deshidratación en las eras de secado para su disposición final en un vertedero de desechos sólidos.
- Realizar periódicamente el mantenimiento de las instalaciones del sistema de tratamiento para evitar inconvenientes a futuro.
- Utilizar mascarillas, guantes al momento de manipular las sustancias químicas necesarias en el proceso de tratamiento del agua.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA, J. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera edición. Bogotá-Colombia: Editorial Mc. Graw-Hill, 2000, pp. 30-31.

COHN, Cox; & BEGER, P. *Aspectos de la calidad del agua*. Segunda Edición. New Jersey–Estados Unidos: Editorial PublishersGlobal, 2010, pp.453-478.

DAROS, G. *La contaminación de aguas en Ecuador*. Segunda edición. Quito-Ecuador: Editorial Lavigne, 2005, p.5.

DELGADILLO , O. et al . *Depuración de aguas residuales*. Tercera edición. Cochabamba-Bolivia: Editorial Antequera, 2010, p.57.

Ecuador. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes, recurso agua. Quito-Ecuador. Libro VI, Anexo I. 2016. Pp.14-24.

ELIAS, X. *Reciclaje de residuos industriales* .Segunda edición .Madrid –España: Editorial Díaz de Santos, 2012, p.596.

LOCKUÁN F., *La industria textil y su control de calidad*. Segunda Edición. Madrid –España: Editorial Díaz de Santos, .2012, pp.23-84.

METCALF, J; & EDDY, P. *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Tercera edición. Madrid-España: Editorial McGraw – Hill Interamericana, 1995, pp. 538-551.

MOLERO, M; & CONTRERAS, F. *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Segunda edición. Madrid-España: Editorial Díaz de Santos, 2011, pp.165-208.

RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales*. Madrid –España: Editorial Reverte S.A, 2003, p.93.

RAMOS , R ; & SEPÚLVEDA, R. *El agua en el medioambiente*. Segunda edición. California-EE.UU: Editorial Plaza y Valdés, 2012, p.95.

RIGOLA, M. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y aguas residuales*. Barcelona-España: Editorial Marcombo, 1999, pp.27-37.

SÁNCHEZ, O. *Perspectivas sobre conservación de medios acuáticos*. México-México: Editorial Marquéz, 2007, pp.124-125.

TERENCE, J. *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*. Bogotá – Colombia: Editorial McGraw – Hill Interamericana, 2000, p. 424.

CRESPI & HUERTAS. *Industria Textil: depuración biológica o físico química* [en línea].Cataluña - España: departamento de saneamiento, 1981. [Consulta: 20 enero 2017]. Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/6266/Article06.pdf>

AMBIENTUM, “Clasificación de aguas residuales industriales”. *Revista Ambientum* [en línea].Madrid-España: 2002, pp.2. [Consulta: 19-03-2017]. Disponible en:

http://www.ambientum.com/revista/2002_22/CLSFCCNG3.asp

ANEXOS

ANEXO A: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA (TULAS).

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Criterios de calidad de aguas de uso de uso agrícola o de riego.

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la TABLA 3 y TABLA 4.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	PelículaVisible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001

Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Además de los criterios indicados, la autoridad ambiental competente utilizará también las guías de la TABLA 4, para interpretar la calidad del agua para riego.

TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero-Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450-2000	>2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3yCE=		0,7	0,7-0,2	<0,2
RAS=3-6yCE=		1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS=6-12yCE=		1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS=12-20yCE=		2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS=20-40yCE=		5,0	5,0-2,9	<2,9
Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/l	3,0	3,0-9,0	>9
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Cloruros:				
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0-10,0	>10
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Boro:	mg/l	0,7	0,7-3,0	>3
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃ -)	mg/l	5,0	5,0-30,0	>30
Bicarbonato (HCO ₃ -) Solo aspersión	meq/l	1,5	1,5-8,5	>8,5
pH	Rango normal		6,5-8,4	

* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos
- (2) CE =Conductividad eléctrica del agua de regadío (1milimhos/cm=1000micromhos/cm)
- (3) SDT = Sólidos disueltos totales
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles

Debido a la calidad del agua se determinaron los principales parámetros para aguas de industria textil, y algunos de ellos no constaban en la tabla de criterios de calidad para aguas de uso agrícola, por lo que esos datos se sustentaron en la tabla 9.

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedadahl	N	mg/l	50,0

Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Los responsables (propietario y operador) deberán dar cumplimiento a las normas de criterios de calidad contenidas en esta Norma.

ANEXO B: MEDICIÓN DEL CAUDAL POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO



a)



b)



c)



d)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Karina Elizabeth Ramos Guambo</p>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
<p>a) Llenar el balde con el agua residual midiendo el tiempo que se demora en llenar.</p> <p>b) Medir el volumen</p> <p>c) Colocar el agua en frascos adecuados</p> <p>d) Conservar las muestras.</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lámina	Escala:	Fecha
			1		Marzo ,2017

ANEXO C: MUESTREO COMPUESTO



a)



c)



b)



d)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
<p>a) Alícuotas del agua residual proveniente de tela poli algodón tonalidad media, color gris</p> <p>b) Alícuotas del agua residual proveniente de tela poli algodón tonalidad fuerte , color rojo</p> <p>c) Alícuotas del agua residual proveniente de tela poliéster tonalidad media, color amarillo oro</p> <p>d) Formación de la muestra compuesta</p>	<p><input type="checkbox"/>Certificado <input type="checkbox"/>Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/>Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/>Información</p> <p><input type="checkbox"/>Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Karina Elizabeth Ramos Guambo</p>	Lámina	Escala:	Fecha
			2		Marzo ,2017

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL



a)



b)



c)



d)



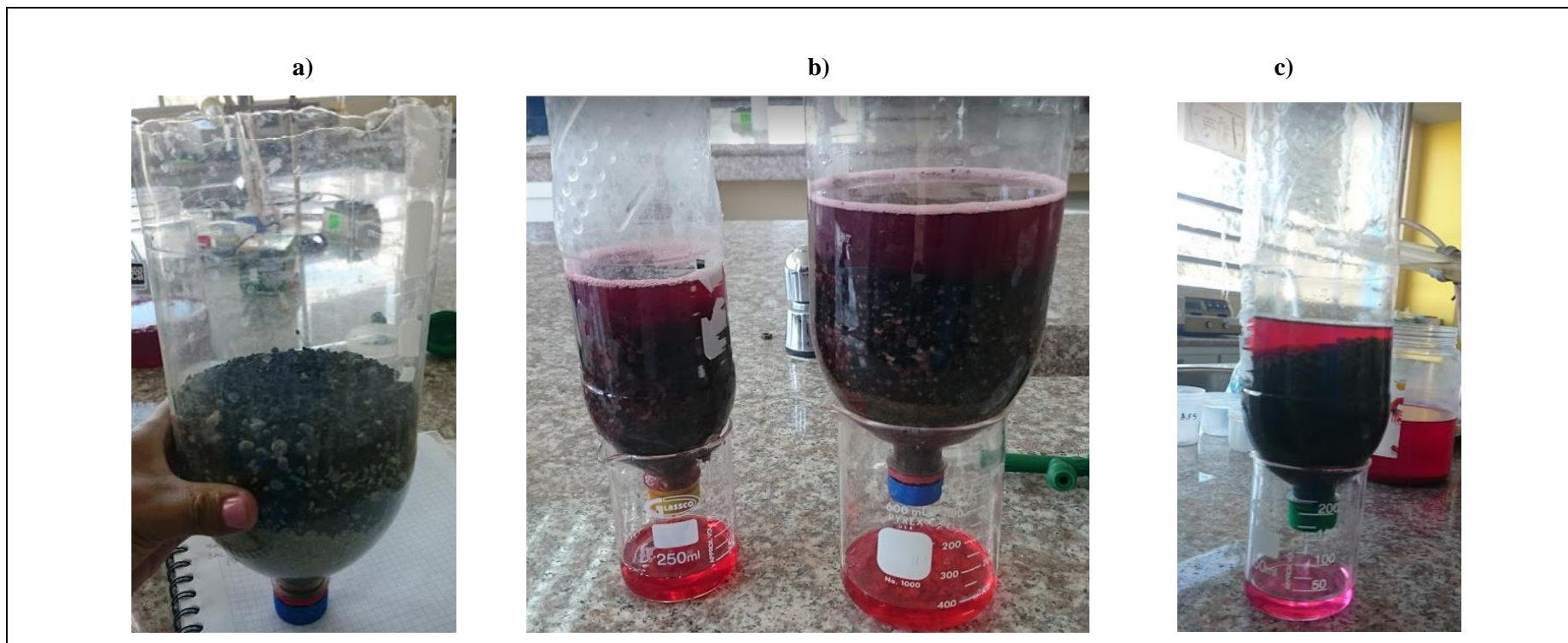
e)



f)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
a) Equipo multiparametros: temperatura, conductividad, SDT, pH. b) Espectrofotómetro HACH, DR 2800: color, SST, DQO, DBO ₅ , metales pesados y ligeros. c) Turbidímetro: turbiedad d) Determinación de ST e) Cono Imhoff: determinación de SD f) Digestores para DQO, y DBO ₅ ,	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lámina	Escala:	Fecha
			3		Marzo ,2017

ANEXO F: PRUEBAS DE TRATABILIDAD, FILTRACIÓN



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
a) Construir un filtro con diferentes materiales b) Comparar que filtro es el más adecuado c) Seleccionar y mejorar el filtro adecuado	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lámina	Escala:	Fecha
			5		Marzo ,2017

ANEXO G: PRUEBAS DE TRATABILIDAD, CLORACIÓN

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
<p>a) Preparación de cloro líquido a diferentes concentraciones</p> <p>b) Cloro sólido como mejor opción</p> <p>c) Agua con la dosis excesiva y agua con la dosis óptima</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Karina Elizabeth Ramos Guambo	Lámina	Escala:
			6	Marzo ,2017	

**ANEXO H: CARACTERIZACIÓN FÍSICO –QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DEL PROCESAMIENTO DE TELA POLIÉSTER (100 %)**

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Karina Ramos

Fecha de Análisis: 04-10-2016

Tipo de muestras: Agua Residual de Industria Textil (poliéster) Agua cruda

Localidad: Cantón Guano- Provincia de Chimborazo

Análisis Físico -Químico

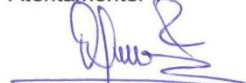
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.6
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	0.403
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	337 Inapreciable
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	67
Sólidos totales	mg/l	2540-B	1600	566
Sólidos suspendidos totales	mg/l	2540-D	130	88.3
Sólidos disueltos totales	mg/l	2510-C	450	257.7
Sólidos sedimentables	ml/l	2540-F	1.0	<1
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	6.55
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220-D	200	161
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/l	5210-B	100	78
Cromo	mg/l	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	0.065
Aluminio	mg/l	3500 Al-B	5.0	0.55
Hierro	mg/l	3500 Fe-B	5.0	0.87

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Tabla 3. Criterios de calidad para agua de riego y Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N°SE: 070-16

INFORME DE ANÁLISIS

NOMBRE: Srta. Karina Ramos **INFORME N°:** 070-16
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N°SE:** 070-16
DIRECCIÓN: Boyacá entre Darquea y Loja **FECHA DE RECEPCIÓN:** 04-10-16
TELÉFONO: 0987479050 **FECHA DE INFORME:** 10-10-16

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual, Industria textil, Guano **TIPO DE MUESTRA:** Agua
IDENTIFICACIÓN: MA-182-16

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-182-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0.43	N/A	04-10-16
* Níquel	mg/l	STANDARD METHODS 3500 NÍ-3111B	0.017	N/A	04-10-16

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Benito Mendoza T., PhD


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. -
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA
AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

Panamericana Sur Km. 1 ½, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183



Servicio de
Acreditación
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 2C 06-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

INFORME DE ENSAYO No: 1187
ST: 588 – 16 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario: N.A.
Atn. Karina Ramos
Dirección: Boyacá y Loja
Riobamba – Chimborazo

FECHA: 13 de Octubre del 2016
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2016/10/04 – 09:00
FECHA DE MUESTREO: 2016/10/03– 09:00/17:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2016/10/04– 2016/10/13
TIPO DE MUESTRA: Agua residual
CÓDIGO CESTTA: LAB-A 1048-16
CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA
PUNTO DE MUESTREO: Cantón Guano fábrica de textiles Hilario
ANÁLISIS SOLICITADO: Cobre
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Karina Ramos
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cobre	PEE/CESTTA/ 57 Standard Methods No. 3030 B, 3111 B	mg/L	0,020	±10%	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Muestra compuesta.

RESPONSABLE DEL INFORME:

M - 26
Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



**ANEXO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DEL PROCESAMIENTO DE TELA POLI ALGODÓN (65/35 %)**

ESPOCH

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Karina Ramos

Fecha de Análisis: 05-10-2016

Tipo de muestras: Agua Residual de Industria Textil (poli algodón) Agua cruda

Localidad: Cantón Guano- Provincia de Chimborazo

Análisis Físico -Químico

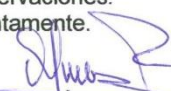
Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.7
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	12.5
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	10 000
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	1 761.0
Sólidos totales	mg/l	2540-B	1600	8 026.0
Sólidos suspendidos totales	mg/l	2540-D	130	320
Sólidos disueltos totales	mg/l	2510-C	450	7 675.0
Sólidos sedimentables	ml/l	2540-F	1.0	<1
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	12.68
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220-D	200	6 843.0
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/l	5210-B	100	2 648.0
Cobre	mg/l	3500 Cu-B	0.2	6.94
Cromo	mg/l	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	1.57
Aluminio	mg/l	3500 Al-B	5.0	5.67
Hierro	mg/l	3500 Fe-B	5.0	6.47

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Tabla 3. Criterios de calidad para agua de riego y Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N°SE: 070-17

INFORME DE ANÁLISIS

NOMBRE: Srta. Karina Ramos **INFORME N°:** 070-17
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N°SE:** 070-17
DIRECCIÓN: Boyacá entre Darquea y Loja **FECHA DE RECEPCIÓN:** 05-10-16
TELÉFONO: 0987479050 **FECHA DE INFORME:** 11-10-16

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua Residual, Industria textil, Guano **TIPO DE MUESTRA:** Agua
IDENTIFICACIÓN: MA-182-17

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-182-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	9.93	N/A	05-10-16
* Níquel	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ni-3111B	8.64	N/A	05-10-16

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Benito Mendoza T., PhD


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. -
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 11/2 Via a Guano Bloque Administrativo.

ANEXO J: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Karina Ramos

Fecha de Análisis: 05-01-2017

Tipo de muestras: Agua Tratada de Industria Textil (poli algodón)

Localidad: Cantón Guano- Provincia de Chimborazo

Análisis Físico -Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	-----	19.0
Conductividad	milimhos/cm	2510-B	0.7	0.46
Color	Unidades de color	2120-C	Inapreciable en dilución : 1/20	475 Inapreciable en dilución
Turbiedad	UNT	2130-B	-----	29
Sólidos totales	mg/l	2540-B	1 600	593
Sólidos suspendidos totales	mg/l	2540-D	130	81
Sólidos disueltos totales	mg/l	2510-C	450	289
Sólidos sedimentables	ml/l	2540-F	1.0	<1
Potencial de hidrogeno	UND	4500-B	6-9	7.82
Demanda química de oxígeno	mg/l	5220-D	200	182
Demanda bioquímica de oxígeno(5días)	mg/l	5210-B	100	81
Cobre	mg/l	3500 Cu-B	0.2	0.11
Cromo	mg/l	Cr ⁺⁶ 8023	0.1	0.09
Aluminio	mg/l	3500 Al-B	5.0	3.7
Hierro	mg/l	3500 Fe-B	5.0	0.9

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA Tabla 3. Criterios de calidad para agua de riego y Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N°SE: 070-23

INFORME DE ANÁLISIS

NOMBRE: Srta. Karina Ramos **INFORME N°:** 070-23
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **N°SE:** 070-23
DIRECCIÓN: Boyacá entre Darquea y Loja **FECHA DE RECEPCIÓN:** 06-01-17
TELÉFONO: 0987479050 **FECHA DE INFORME:** 11-01-17

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua tratada, Industria textil, Guano **TIPO DE MUESTRA:** Agua
IDENTIFICACIÓN: MA-182-23

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-182-23

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0.38	N/A	06-01-17
* Niquel	mg/l	STANDARD METHODS 3500 NI-3111B	0.13	N/A	06-01-17

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Benito Mendoza T., PhD


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE. -
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OME con acreditación No. OAE LEC 12-006

PS-01870-23

INFORME DE ANÁLISIS

NOMBRE: Sra. Karina Ramos
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Boyacá entre Cariguela y Loja

INFORME N°: 070-23
N°SE: 070-23

FECHA DE RECEPCIÓN: 08-01-17

TELÉFONO: 0387479080

FECHA DE INFORME: 11-01-17

NÚMERO DE MUESTRAS: 1 Agua usada, Industria textil, Quano

TIPO DE MUESTRA: Agua

IDENTIFICACIÓN: MA-182-23

El laboratorio es responsable solo del análisis, no de la obtención de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-182-23

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO Y PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(PPM)	FECHA DE ANÁLISIS
Cloro residual	mg/l	FOTOMETRICO 540-C mod	0,82	ND	08-01-17

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, APWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

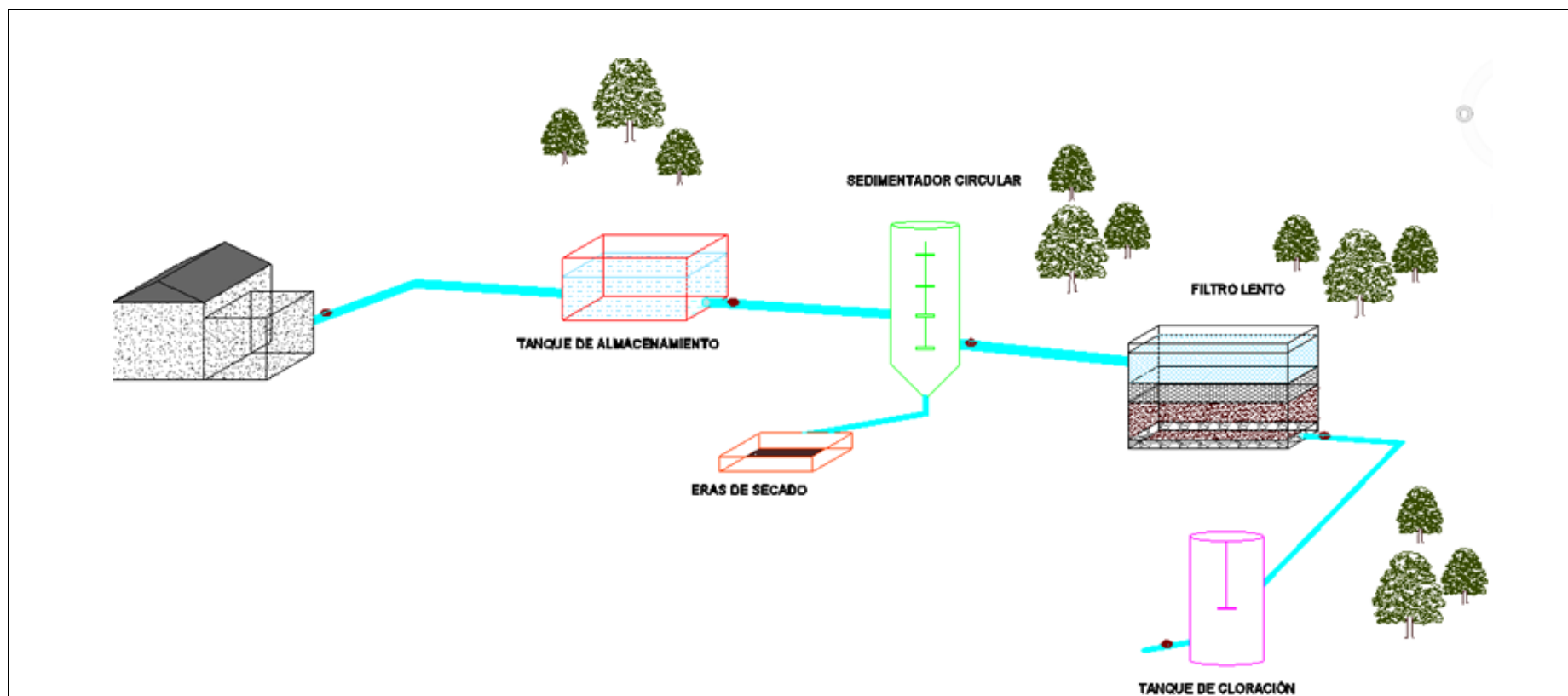
RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara R.
Benito Méndez T., PhD

Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

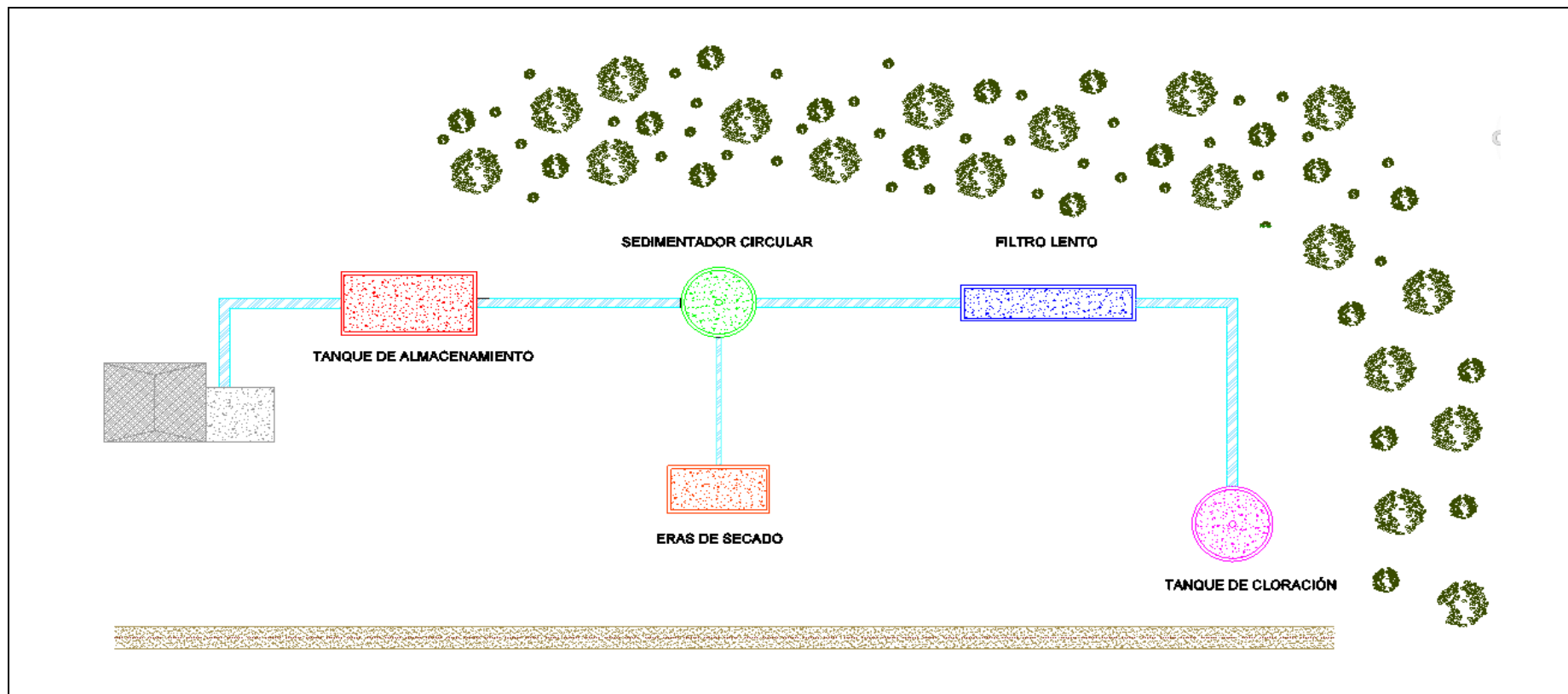
Los resultados de este informe son responsabilidad exclusiva de la(s) persona(s) que los realizó(s).
Los datos mostrados en (*) y en los ítems de los métodos de referencia de la norma ISO/IEC 17025 -
01 y de la Norma correspondiente puntal donde informa de la conformidad del laboratorio.

ANEXO K: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



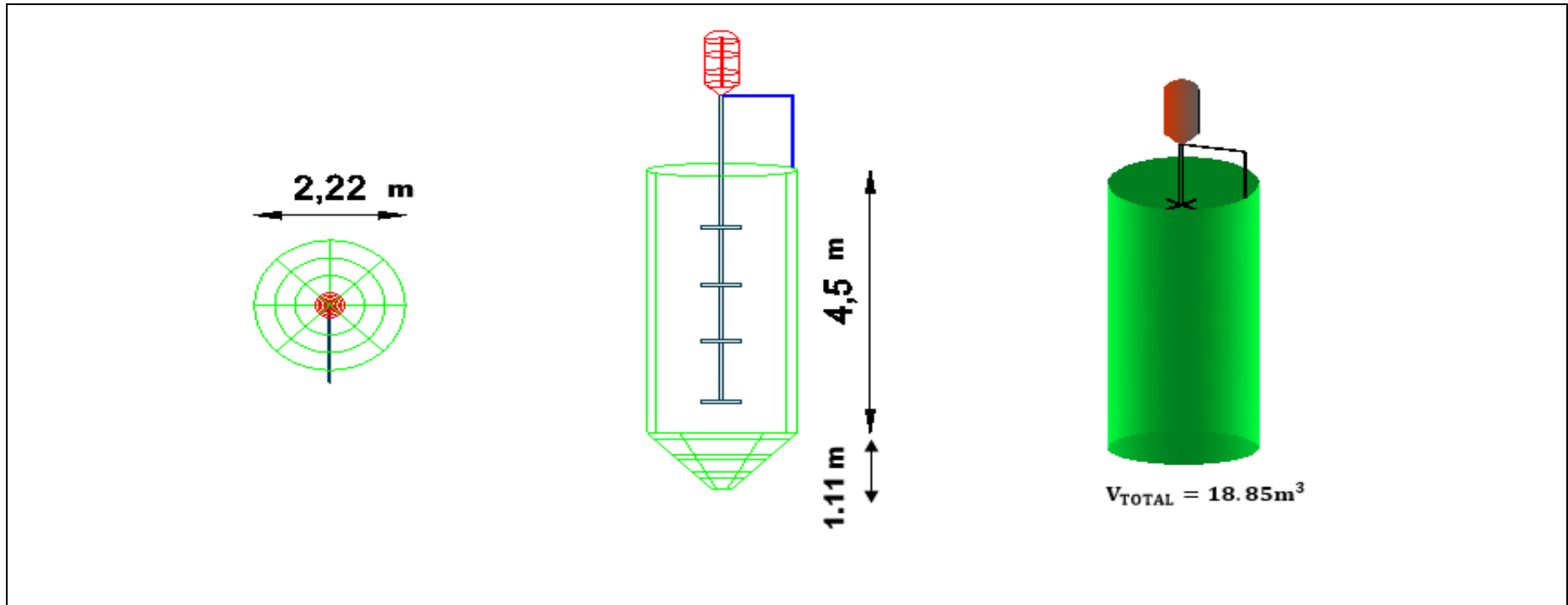
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
Vista frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Karina Elizabeth Ramos Guambo	Lámina	Escala:
			7		Marzo ,2017

ANEXO L: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL



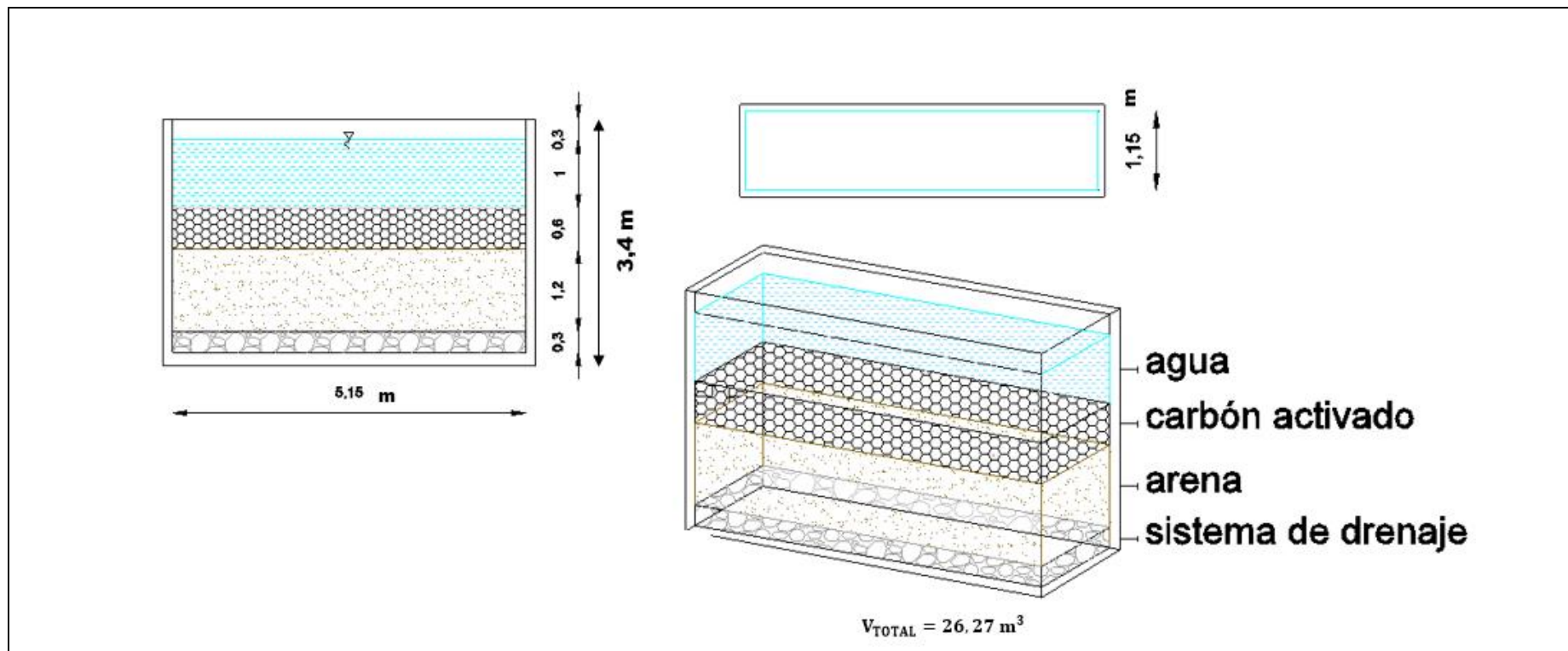
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
Vista planta	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lámina	Escala:	Fecha
			8		Marzo ,2017

ANEXO M: TANQUE CIRCULAR DE SEDIMENTACIÓN



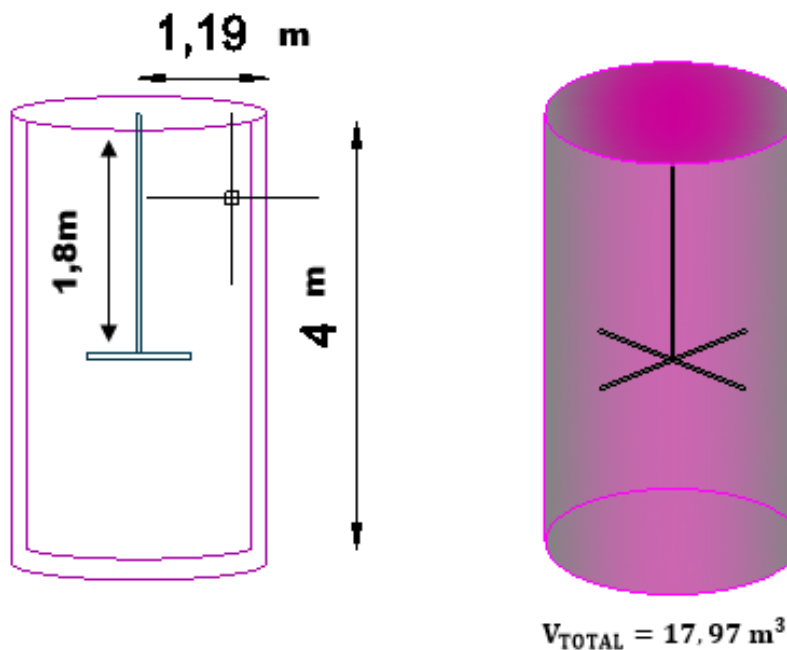
<p style="text-align: center;">NOTAS</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO</p>		
<p>TANQUE CIRCULAR DE SEDIMENTACIÓN</p>	<p> <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación </p>	<p style="text-align: center;"> FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo </p>	<p>Lámina</p>	<p>Escala:</p>	<p>Fecha</p>
			<p style="text-align: center;">9</p>		<p style="text-align: center;">Marzo ,2017</p>

ANEXO N: FILTRO CONVENCIONAL LENTO



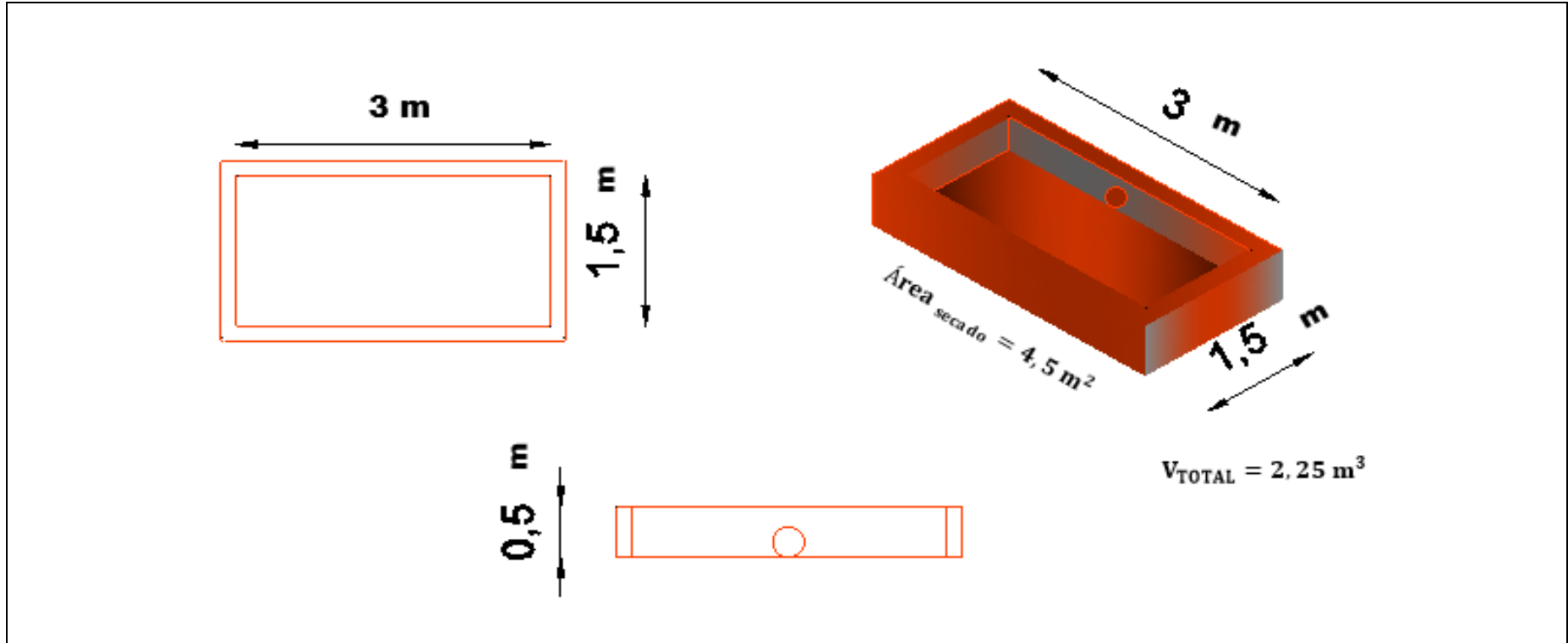
NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
FILTRO CONVENCIONAL LENTO	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lámina 10	Escala:	Fecha Marzo ,2017

ANEXO O: TANQUE CIRCULAR DE CLORACIÓN



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Karina Elizabeth Ramos Guambo	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
TANQUE CIRCULAR DE CLORACIÓN			Lámina	Escala:	Fecha
			11		Marzo ,2017

ANEXO P: ERAS DE SECADO



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA FÁBRICA DE TEXTILES HILARIO EN EL CANTÓN GUANO		
ERAS DE SECADO		Karina Elizabeth Ramos Guambo	Lámina	Escala:	Fecha
			12		Marzo ,2017

