



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA INTER-COMUNITARIA
DE LA PARROQUIA SALINAS, PROVINCIA BOLÍVAR”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

DIANA BEATRIZ LLUMIGUANO CHELA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA INTER-COMUNITARIA DE LA PARROQUIA SALINAS, PROVINCIA BOLÍVAR”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: DIANA BEATRIZ LLUMIGUANO CHELA

DIRECTORA: Ing. LINDA MARIUXI FLORES FIALLOS

Riobamba – Ecuador

2021

© 2021, **Diana Beatriz Llumiguano Chela**

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

Yo, Diana Beatriz Llumiguano Chela, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 29 de noviembre de 2021

Diana Beatriz Llumiguano Chela

025011454-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; Tipo: Proyecto técnico, **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA INTER-COMUNITARIA DE LA PARROQUIA SALINAS, PROVINCIA BOLÍVAR”**, realizado por la señorita: **DIANA BEATRIZ LLUMIGUANO CHELA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas

2021-11-29

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos

2021-11-29

DIRECTORA DE TRABAJO DE

TITULACIÓN

Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos

2021-11-29

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Con infinito amor y gratitud dedico esté presente trabajo Técnico, primeramente, a DIOS por darme sabiduría y guiarme en cada paso de la vida, a toda mi familia, en especial a mis padres: Angel Llumiguano y Ángela Chela quienes son los pilares fundamentales en mi vida y por brindarme su apoyo incondicional para poder cumplir con una meta profesional y a mis hermanos Mayra, Jessica y Joffre, que estuvieron todo el tiempo pendiente, ya que son ustedes la motivación para ser una persona de bien y superarme día a día.

Diana

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por darme salud y vida, para alcanzar cada una de mis metas y ser la fuerza de lucha constante en el diario vivir.

A mis padres y hermanos por apoyarme moral y económicamente, por saber inculcarme buenos valores para ser una mujer de bien y darme el valor suficiente para levantarme ante los obstáculos que en el día a día se presentan.

A mis amigos con quienes he compartido durante esta trayectoria estudiantil, son recuerdos que jamás se olvidaran.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, a sus maestros y asistentes, de manera especial a la Ing. Linda Flores y Ing. Adrián Rodríguez quienes con su experiencia y conocimiento me han guiado para la culminación de mi proyecto.

Un agradecimiento a la Empresa Hilandería Intercomunal Salinas por auspiciarme con el tema técnico, así como también al Ing. Raúl Allan, por haberme brindado la apertura del uso de sus instalaciones, para la realización de este proyecto en la E.P- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, también por su colaboración en el transcurso del mismo.

Diana

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	xx
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxii
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Justificación del Proyecto.....	3
1.3.	Objetivos.....	4
<i>1.3.1.</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2.</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>4</i>

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1.	Aguas residuales.....	5

2.1.1.	<i>Agua residual Industrial</i>	5
2.1.2.	<i>Aguas residuales de la Industria Textil</i>	6
2.2.	<i>Etapas consideradas en el Tratamiento de Agua Residual Industrial</i>	6
2.2.1.	<i>Caudales de las aguas residuales</i>	7
2.2.1.1.	<i>Tipos de caudales que aportan a las aguas residuales</i>	7
2.2.1.2.	<i>Medición de Caudal de las Aguas Residuales</i>	8
2.2.1.2.1.	<i>Métodos para mediciones de caudales en descargas de aguas residuales</i>	8
2.2.1.2.1.1.	<i>Medición por método volumétrico</i>	9
2.2.1.2.1.2.	<i>Método de velocidad /superficie</i>	9
2.2.2.	<i>Muestreo y Caracterización de Aguas Residuales</i>	10
2.2.2.1.	<i>Muestreo de Aguas Residuales.</i>	10
2.2.2.1.1.	<i>Principios importantes en la toma de muestras</i>	10
2.2.2.1.2.	<i>Técnicas de las Muestras</i>	11
2.2.2.1.3.	<i>Conservación de las Muestras</i>	12
2.2.2.2.	<i>Características de las Aguas residuales Industriales</i>	12
2.2.2.2.1.	<i>Características Físicas</i>	12
2.2.2.2.2.	<i>Características Químicas</i>	17
2.2.2.2.3.	<i>Característica Bacteriológica</i>	22
2.2.3.	<i>Normativa Ambiental</i>	23
2.2.3.1.	<i>Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, del libro vi anexo 1 del TULSMA</i>	23
2.2.3.1.1.	<i>Definición de la normativa TULSMA</i>	23

2.2.3.1.2.	<i>Objetivo principal del TULSMA</i>	24
2.2.3.1.3.	<i>Límites de descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce</i>	24
2.2.3.2.	<i>Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013</i>	28
2.2.3.3.	<i>Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013</i>	29
2.2.3.4.	<i>Normas Técnicas para el diseño y dimensionamiento de la planta de tratamiento</i>	30
2.3.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales	30
2.3.1.	<i>Tratamiento de aguas residuales industriales</i>	30
2.3.1.1.	<i>Objetivos del tratamiento de aguas residuales</i>	31
2.3.1.2.	<i>Importancia e eficiencia de contaminantes que se consideran en el tratamiento del agua residual industrial</i>	32
2.3.2.	<i>Tratamiento según el Índice de biodegradabilidad</i>	34
2.3.3.	<i>Tipos de procesos de tratamientos de aguas residuales industriales</i>	35
2.3.4.	<i>Etapas de tratamiento de las aguas residuales industriales</i>	36
2.3.4.1.	<i>Pretratamiento</i>	36
2.3.4.2.	<i>Tratamiento Primario</i>	38
2.3.4.3.	<i>Tratamiento Secundario</i>	38
2.3.4.4.	<i>Tratamiento Terciario o Avanzado</i>	39
2.3.4.5.	<i>Tratamiento de Lodos</i>	39
2.4.	Diseño del Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial	41
2.4.1.	<i>Caudal de diseño</i>	42
2.4.1.1.	<i>Índice de aumento de producción</i>	42
2.4.1.2.	<i>Aumento de producción futuro</i>	43

2.4.1.3.	<i>Producción futura</i>	43
2.4.1.4.	<i>Proyección de producción</i>	44
2.4.1.5.	<i>Caudal de agua residual producido diariamente</i>	44
2.4.1.6.	<i>Caudal de diseño</i>	45
2.4.2.	<i>Canal</i>	45
2.4.2.1.	<i>Consideraciones del diseño del canal</i>	46
2.4.3.	<i>Cribado (Rejillas)</i>	48
2.4.3.1.	<i>Rejillas de limpieza mecánica o automática</i>	49
2.4.3.2.	<i>Rejillas de limpieza manual</i>	49
2.4.3.3.	<i>Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual</i>	51
2.4.4.	<i>Tanque de almacenamiento</i>	57
2.4.4.1.	<i>Consideraciones de diseño</i>	58
2.4.4.1.1.	<i>API 650</i>	58
2.4.4.1.2.	<i>Sobredimensionamiento de seguridad para el diseño de tanques almacenaje</i>	59
2.4.4.1.3.	<i>Consideraciones para el cálculo del diseño del tanque de almacenamiento</i>	59
2.4.5.	<i>Tanque agitador (Coagulación y Floculación)</i>	64
2.4.5.1.	<i>Determinación de la dosis de químicos para la coagulación y floculación</i>	65
2.4.5.2.	<i>Consideraciones de diseño para el tanque de coagulación y para el agitador de 6 paletas del coagulador</i>	68
2.4.5.3.	<i>Consideraciones de dosificación de químicos en la coagulación y floculación</i>	75
2.4.6.	<i>Sedimentación</i>	76
2.4.6.1.	<i>Tanques de sedimentación</i>	77

2.4.6.2.	Parámetros de diseño del sedimentador.....	78
2.4.6.3.	Consideraciones de diseño del sedimentador	80
2.4.7.	<i>Lecho fluidizado</i>	89
2.4.7.1.	<i>Consideraciones de diseño del lecho de secado</i>	91
2.4.8.	<i>Filtración</i>	96
2.4.8.1.	<i>Clasificación del sistema de filtración</i>	97
2.4.8.2.	<i>Filtro anaeróbico lento de arena</i>	98
2.4.8.3.	<i>Objetivos de las partes de los filtros</i>	99
2.4.8.4.	<i>Consideraciones del dimensionamiento del filtro anaeróbico.</i>	101
2.4.9.	<i>Desinfección</i>	107
2.4.9.1.	Parámetros de diseño del tanque de desinfección.....	108
2.4.9.2.	Consideraciones de diseño de desinfección.....	109

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	114
3.1.	Tipo de estudio	114
3.1.2.	<i>Método deductivo</i>	114
3.1.3.	<i>Método experimental</i>	115
3.2.	Localización y características del área del proyecto “Microempresa Hilandería Salinas”	115
3.2.1.	<i>Localización del área de estudio</i>	115

3.2.2.	<i>Características de la hilandería</i>	116
3.2.2.1.	<i>Materia prima de la hilandería Salinas</i>	117
3.2.2.2.	<i>Productos químicos de lavados y teñidos de la Hilandería Salinas</i>	117
3.2.2.3.	<i>Datos de Producción de la Hilandería Salinas</i>	121
3.3.	Muestreo	124
3.3.1.	<i>Plan de muestreo</i>	124
3.3.2.	<i>Sistema de toma de muestras</i>	125
3.4.	Determinación del caudal	125
3.5.	Caracterización físico-química y microbiológico del agua residual industrial	125
3.6.	Índice de biodegradabilidad	130
3.7.	Pruebas de tratabilidad	130
3.8.	Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua residual industrial	136
3.8.1.	<i>Propuesta del diseño de la Planta de tratamiento</i>	137

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	139
4.1.	Resultados de aforaciones de los caudales provenientes de la Hilandería	139
4.2.	Resultados del monitoreo del agua residual industrial de la hilandera	141
4.3.	Resultados de la caracterización físico-químico y microbiológico del Agua Residual Industrial.	142
4.4.	Resultados de las pruebas de tratabilidad.	150

4.4.1.	<i>Prueba de tratabilidad de las rejillas</i>	150
4.4.2.	<i>Prueba de tratabilidad del tanque de almacenamiento.</i>	150
4.4.3.	<i>Pruebas de tratabilidad del Tanque Agitador</i>	150
4.4.4.	<i>Pruebas de tratabilidad del sedimentador</i>	158
4.4.5.	<i>Pruebas de tratabilidad de la filtración</i>	158
4.4.6.	<i>Pruebas de tratabilidad del tanque de desinfección.</i>	159
4.5.	Resultados de las calibraciones de los equipos requeridos	160
4.6.	Resultados de la caracterización físico-químico y microbiológicos finales del Agua Residual Industrial.	166
4.7.	Resultados de la remoción de la carga contaminante del agua residual industrial	169
4.7.1.	<i>Remoción de sólidos totales disueltos (SST)</i>	173
4.7.2.	<i>Remoción del color</i>	173
4.7.3.	<i>Remoción de la turbiedad</i>	174
4.7.4.	<i>Remoción de metales como Bario, hierro, manganeso</i>	175
4.7.5.	<i>Remoción de cloruros, fluoruros, fósforo, nitrógeno total.</i>	177
4.7.6.	<i>Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)</i>	179
4.7.7.	<i>Remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)</i>	180
4.7.8.	<i>Remoción de Tensoactivos</i>	180
4.7.9.	<i>Remoción de Escherichia Coli</i>	181
4.8.	Cálculos y resultados del Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual industrial para la Hilandería Intercomunitaria Salinas.	182
4.8.1.	<i>Cálculos para el dimensionamiento de la planta</i>	182

4.8.1.1.	<i>Cálculo del caudal de diseño.....</i>	182
4.8.1.2.	<i>Cálculos del diseño del canal.....</i>	188
4.8.1.3.	<i>Cálculos de diseño para rejillas de limpieza manual.....</i>	189
4.8.1.4.	<i>Cálculos de diseño para el tanque de almacenamiento y agitador.....</i>	193
4.8.1.5.	<i>Cálculos de diseño del agitador de 6 paletas para la coagulación.....</i>	196
4.8.1.6.	<i>Cálculos para la dosificación de químicos.....</i>	199
4.8.1.7.	<i>Cálculos de diseño del sedimentador.....</i>	203
4.8.1.8.	<i>Cálculos de diseño del Lecho fluidizado.....</i>	210
4.8.1.9.	<i>Cálculos de diseño del filtro.....</i>	214
4.8.1.10.	<i>Cálculo de diseño del tanque de desinfección.....</i>	219
4.8.2.	<i>Resultados para el dimensionamiento de la planta de tratamiento.....</i>	222
4.9.	Discusión de resultados.....	234
4.10.	Análisis Económico del Sistema de Tratamiento del Agua Industrial.....	236
4.11.	Presupuesto y cronograma del proyecto.....	246
4.11.1.	<i>Presupuesto.....</i>	246
4.11.2.	<i>Cronograma.....</i>	247
	CONCLUSIONES.....	250
	RECOMENDACIONES.....	252
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Caracterización física.....	15
Tabla 2-2:	Características químicas inorgánicas	19
Tabla 3-2:	Características químicas orgánicas	21
Tabla 4-2:	Límites de descarga a un Cuerpo de Agua Dulce	24
Tabla 5-2:	Objetivos y alcance de la norma NTE INEN 2176.....	28
Tabla 6-2:	Objetivo, alcance y disposiciones generales de NTE INEN 2169	29
Tabla 7-2:	Normas Técnicas de diseño del sistema de tratamiento de agua residuales.....	30
Tabla 8-2:	Importancia de contaminantes presentes en el agua residual industrial.....	32
Tabla 9-2:	Eficiencia de importancia en aguas residuales industriales	33
Tabla 10-2:	Relación de biodegradabilidad.....	35
Tabla 11-2:	Función de los procesos de Pretratamiento.....	37
Tabla 12-2:	Procesos de tratamiento empleados para la eliminación de compuestos tóxicos	41
Tabla 13-2:	Parámetros para el dimensionamiento del canal	46
Tabla 14-2:	Valores típicos de coeficientes de Rugosidad.....	47
Tabla 15-2:	Parámetros para el dimensionamiento de rejillas.....	50
Tabla 16-2:	Factores de β para secciones usuales de barras de rejillas	56
Tabla 17-2:	Tipos de Coagulantes-Floculantes	66
Tabla 18-2:	Características de algunos coagulantes	66
Tabla 19-2:	Tipos de mezcladores.....	67

Tabla 20-2:	Criterios de diseño del agitador de 6 paletas.....	68
Tabla 21-2:	Parámetros de diseño de mezclador de turbina.....	69
Tabla 22-2:	Parámetros para el diseño de las paletas	69
Tabla 23-2:	Estándares de diseño de Sedimentador Primario	78
Tabla 24-2:	Parámetros de diseño para sedimentadores en el tratamiento Secundario.....	78
Tabla 25-2:	Criterios de diseño de Sedimentadores rectangulares y circulares.	79
Tabla 26-2:	Tiempo de retención	85
Tabla 27-2:	Constantes empíricas a y b a 20°C.....	87
Tabla 28-2:	Ventajas y desventajas del lecho de secado	90
Tabla 29-2:	Criterios de diseño de lecho de secado	91
Tabla 30-2:	Tiempo de digestión del diseño del secado.....	92
Tabla 31-2:	Criterios de diseño de tipos de filtros.....	97
Tabla 32-2:	Criterios de diseño para el filtro anaeróbico	100
Tabla 33-2:	Criterios de diseño para el sistema de drenaje del filtro	101
Tabla 34-2:	Parámetros de dosificación de hipoclorito para Aguas Residuales.....	108
Tabla 35-2:	Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes.....	109
Tabla 1-3:	Coordenadas de Salinas de Guaranda	116
Tabla 2-3:	Productos químicos de lavado y teñido.....	119
Tabla 3-3:	Producción del Año 2019.....	121
Tabla 4-3:	Producción del Año 1020.....	122
Tabla 5-3:	Producciones anuales	123
Tabla 6-3:	Métodos de caracterización de agua residual industrial.....	126

Tabla 7-3:	Materiales para la caracterización de agua residual industrial.....	129
Tabla 8-3:	Materiales, equipos y reactivos para la coagulación-floculación.....	134
Tabla 9-3:	Materiales para la planta piloto del tratamiento de agua.....	135
Tabla 1-4:	Aforaciones de los caudales Mes diciembre 2020	139
Tabla 2-4:	Aforaciones de los caudales Mes enero 2021	140
Tabla 3-4:	Caudal promedio de las aforaciones	141
Tabla 4-4:	Fechas del muestreo mes de enero 2021.....	141
Tabla 5-4:	Resultados de caracterización de las muestras iniciales del agua residual	143
Tabla 6-4:	Parámetros fuera de rango en el agua residual industrial.....	148
Tabla 7-4:	Razones, de los parámetros fuera del rango de la norma.....	148
Tabla 8-4:	Índice de biodegradabilidad del agua Residual Industrial	149
Tabla 9-4:	Resultados de la determinación de la concentración PAC.....	151
Tabla 10-4:	Resultados de la determinación de la concentración PAC.....	152
Tabla 11-4:	Resultados de la determinación dosis optima del PAC.....	153
Tabla 12-4:	Resultados de la identificación del rpm.	155
Tabla 13-4:	Resultados de la prueba de tratabilidad del tanque agitador.	157
Tabla 14-4:	Resultados de la prueba de tratabilidad del sedimentador.	158
Tabla 15-4:	Resultados de la prueba de tratabilidad del filtro.....	159
Tabla 16-4:	Resultados de la prueba de tratabilidad del tanque de desinfección.	159
Tabla 17-4:	Resultados de calibración con muestras del agua potable	161
Tabla 18-4:	Resultados de calibración del pH metro	162
Tabla 19-4:	Resultados de calibración del conductímetro.....	163

Tabla 20-4:	Resultados de calibración del espectrofotómetro.....	164
Tabla 21-4:	Promedio de resultados de calibraciones	165
Tabla 22-4:	Resultados de caracterización de las muestras finales del agua residual	167
Tabla 23-4:	Porcentaje de remoción del agua residual industrial.....	170
Tabla 24-4:	Resultados de promedio de producción inicial	183
Tabla 25-4:	Dato de producción final del año 2020	184
Tabla 26-4:	Resultados del Índice de aumento de producción en 10 años	184
Tabla 27-4:	Datos de los parámetros necesarios para el diseño de rejillas.....	189
Tabla 28-4:	Resultados del caudal de diseño.....	223
Tabla 29-4:	Resultados del diseño del canal	223
Tabla 30-4:	Resultados del diseño de las rejillas de limpieza manual	224
Tabla 31-4:	Resultados del diseño del tanque de almacenamiento y agitador	225
Tabla 32-4:	Resultados del diseño del agitador de 6 paletas para coagulación.....	226
Tabla 33-4:	Resultados de la dosificación de Químicos PAC, CHEMFLOC y PAC	227
Tabla 34-4:	Resultados del diseño del sedimentador.	229
Tabla 35-4:	Resultados del diseño del lecho fluidizado	230
Tabla 36-4:	Resultados del diseño del filtro.....	231
Tabla 37-4:	Resultados del diseño del tanque de desinfección	233
Tabla 38-4:	Precios del mercado - Materiales de construcción.....	236
Tabla 38-4:	Precios del mercado - Materiales de construcción.....	236
Tabla 39-4:	Agua Potable.....	237
Tabla 40-4:	Precios de químicos para tanque agitador y la dosificación	237

Tabla 41-4:	Salarios promedios de los operarios.....	238
Tabla 42-4:	Presupuesto de instalaciones y mano de obra	239
Tabla 43-4:	Presupuesto del Canal	239
Tabla 44-4:	Presupuesto de las rejillas de limpieza manual	240
Tabla 45-4:	Presupuesto del Tanque de Almacenamiento y Agitador	240
Tabla 46-4:	Presupuesto del Tanque Sedimentador	241
Tabla 47-4:	Presupuesto del Tanque de Filtración	242
Tabla 48-4:	Presupuesto del Tanque de desinfección	242
Tabla 49-4:	Presupuesto del Lecho fluidizado	243
Tabla 50-4:	Presupuesto de Químicos para el tanque agitador y la dosificación	243
Tabla 51-4:	Presupuesto de Accesorios	244
Tabla 52-4:	Presupuesto Total de la planta	245
Tabla 53-4:	Presupuestos-Recursos economicos.....	246
Tabla 54-4:	Cronograma	247

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Esquema de una estación depuradora de aguas residuales.....	31
Figura 2-2:	Sistema de las etapas de tratamiento de aguas residuales industriales.....	40
Figura 3-2:	Sección del canal.....	46
Figura 4-2:	Rejillas de Limpieza Manual	50
Figura 5-2:	Forma de barras para rejas $\beta= 1,79$	57
Figura 6-2:	Tanque de almacenamiento para líquidos.....	57
Figura 7-2:	Tanque de almacenaje API 650	59
Figura 8-2:	Equipo de pruebas de Jarras.....	65
Figura 9-2:	Semejanzas geométricas de un sistema de agitación tipo turbina.....	68
Figura 10-2:	Esquema del sedimentador circular	78
Figura 11-2:	Esquema del Lecho de secado	90
Figura 12-2:	Filtro lento de arena	98
Figura 13-2:	Dosificación del Hipoclorito.....	108
Figura 1-3:	Localización de la microempresa-Hilandería Inter-comunal Salinas	116
Figura 2-3:	Planta piloto del tratamiento del agua industrial.....	131
Figura 3-3:	Prueba de test de jarras.	132
Figura 4-3:	Prueba de sedimentación.....	133
Figura 5-3:	Prueba de filtración.	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4:	Relación Turbidez (NTU) vs Concentración de Poli cloruro de Aluminio. ...	152
Gráfico 2-4:	Relación Turbidez (NTU) vs pH optimo del coagulante.....	153
Gráfico 3-4:	Relación Turbidez (NTU) vs Dosis optimo del PAC.....	154
Gráfico 4-4:	Relación Turbidez (NTU) vs Revoluciones por Minuto.	156
Gráfico 5-4:	Resultados de remoción de solidos totales disueltos.	173
Gráfico 6-4:	Resultados de remoción del color.....	174
Gráfico 7-4:	Resultados de remoción de la turbiedad.	174
Gráfico 8-4:	Resultados de remoción del Bario.....	175
Gráfico 9-4:	Resultados de remoción de Hierro total (Fe).....	176
Gráfico 10-4:	Resultados de remoción de Manganeso total (Mn)	176
Gráfico 11-4:	Resultados de remoción de cloruros.....	177
Gráfico 12-4:	Resultados de remoción de fluoruros..	178
Gráfico 13-4:	Resultados de remoción de fosforo total.	178
Gráfico 14-4:	Resultados de remoción de Nitrógeno Kjedadahl	179
Gráfico 15-4:	Resultados de remoción de Demanda Química de Oxígeno.	179
Gráfico 16-4:	Resultados de remoción de Demanda Biológica de Oxígeno.....	180
Gráfico 17-4:	Resultados de remoción de Tensoactivos.....	181
Gráfico 18-4:	Resultados de remoción de <i>Eschericha Coli</i>	181

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CERTIFICADO DEL AVAL DEL PROYECTO TÉCNICO
- ANEXO B:** MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA
- ANEXO D:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA
- ANEXO E:** PRUEBA DE TEST DE JARRAS
- ANEXO F:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD - PLANTA PILOTO
- ANEXO G:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA
- ANEXO H:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA
- ANEXO I:** DIAGRAMA DE FLUJO EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA
- ANEXO J:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 1
- ANEXO K:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 2
- ANEXO L:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 3
- ANEXO M:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 4
- ANEXO N:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 5
- ANEXO O:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL TRATADA- ENSAYO 6
- ANEXO P:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL TRATADA- ENSAYO 7

ANEXO Q: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento de agua industrial para la Hilandería Inter-Comunitaria de Salinas, provincia Bolívar con el fin de evitar la contaminación al Río Salinas y cumplir con los límites permisibles establecidos en la normativa vigente ambiental TULSMA. Para este proyecto, se reconoció el lugar de recolección y descarga del agua industrial, posteriormente se determinó el caudal del efluente mediante el método volumétrico, donde se obtuvo muestras y datos indispensables. Luego se efectuaron caracterizaciones físico - química y bacteriológicas, la cuales proporcionaron un porcentaje por encima de los valores de la norma como: Ba 52%, Cl 84 %, DQO 43 %, *Eschericha Coli* 93 %, F 40%, P 56%, Fe 82%, Mn 34%, N 95%, SST 96% y tensoactivos 24%. Con los respectivos resultados se aplicó las pruebas de tratabilidad para determinar los procesos de tratamiento, mediante el cual se obtuvieron porcentajes de remoción del Ba 93,95 %, Cl 87,60%, DQO 97,42 %, *Eschericha Coli* 100%, F 97,96%, P 98,78%, Fe 99,38, Mn 99,4%, N 90,26%, SST 33.42% y tensoactivos 99.56%. Con la determinación de estas variables se diseñó una planta piloto con los procesos viables para la depuración del agua industrial. Se concluye dimensionando las operaciones unitarias del sistema, la cual consta de: canal de entrada, rejillas, tanque de almacenamiento, tanque de agitación, sedimentador circular primario, filtro de grava y antracita, y el tanque de desinfección, los cuales garantizan el cumplimiento de los límites permisibles estipulados en la norma de Texto Unificado de Legislación Ambiental. Se recomienda a la Hilandería Intercomunal Salinas, implementar el sistema de tratamiento para el manejo y control de la contaminación de los efluentes industriales descargados al Río Salinas.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES> <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL> <MÉTODO VOLUMÉTRICO> <MÉTODO DE TEST DE JARRAS> <PRUEBAS DE TRTATABILIDAD>



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1188-DBRA-UPT-2021

2021-05-28

ABSTRACT

An industrial water treatment system was designed for the Inter-Community Spinning Plant in Salinas, Bolívar province in order to avoid contamination to the Salinas River and comply with the permissible limits established in the current TULSMA environmental regulations. For this project, the industrial water collection and discharge site was recognized. Subsequently, the effluent flow was determined by the volumetric method, and indispensable samples and data were obtained. Then, physical-chemical and bacteriological characterizations were carried out, which provided a percentage above the values of the norm such as: Ba 52%, Cl 84%, COD 43%, Escherichia Coli 93%, F 40%, P 56%, Fe 82%, Mn 34%, N 95%, TSS 96% and surfactants 24%. With the obtained results, the treatability tests were applied to determine the treatment processes, through which removal percentages of Ba 93.95%, Cl 87.60%, COD 97.42%, Escherichia Coli 100%, F 97 were obtained, 96%, P 98.78%, Fe 99.38, Mn 99.4%, N 90.26%, SST 33.42% and surfactants 99.56%. With the determination of these variables, a pilot plant was designed with viable processes for the purification of industrial water. It is concluded by sizing the unit operations of the system, which consists of inlet channel, grids, storage tank, agitation tank, primary circular sedimentor, gravel and anthracite filter, and the disinfection tank, which guarantee compliance with the permissible limits stipulated in the standard of the Unified Text of Environmental Legislation. It is recommended that Inter-Community Spinning Salinas implements the treatment system for the management and control of contamination of industrial effluents discharged into the Salinas River.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES> <INDUSTRIAL WATER TREATMENT SYSTEM> <ENVIRONMENTAL POLLUTION> <VOLUMETRIC METHOD> <JARS TEST METHOD> <TREATABILITY TESTS>

INTRODUCCIÓN

Actualmente el medio ambiente se ve afectado por diversas actividades humanas, entre ellas la descarga de aguas industriales a ríos, lagunas, mares alterando su calidad con composiciones variadas y provocando deterioros a los cuerpos hídricos mediante los mismos.

Uno de los problemas más graves de contaminación en el Ecuador es provocado por las hilanderías que descargan sus aguas industriales sin ningún tratamiento previo, generando un gran perjuicio al medio ambiente. Altas concentraciones de químicos contaminantes se descargan desde la Hilandería Inter-Comunitaria de la Parroquia Salinas, Cantón Guaranda, hacia los cuerpos hídricos, Rio Salinas, con la probabilidad de que ocasionen efectos negativos en la salud de la población cercana.

Según (Ivester y Neefus, 2016), la industria textil a nivel mundial, generan una gran cantidad de agua residual industrial altamente tóxicas que presentan elevadas concentraciones de colorantes, materia orgánica y reactivos químicos, las cuales son vertidas directamente a los ecosistemas hídricos.

Además, estas aguas residuales industriales se caracterizan por tener variación en los parámetros físicos químicos las cuales dependen de la cantidad de colorantes usadas en el proceso industrial. Entre los parámetros de calidad del agua como contenido de cloruros, fosfatos, plomo, DBO, DQO, dureza entre otros (Romero, 2015), suelen estar fuera de los respectivos límites permisibles según la tabla 9, Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce, establecida en el Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097 A.

El presente proyecto técnico ayudará a minimizar el impacto ambiental provocado por las descargas de las aguas industriales hacia el río Salinas. También tiene como fin principal diseñar un sistema de tratamiento de agua industrial para la Hilandería Inter-Comunal de Salinas, Cantón Guaranda, y consecutivamente reducir la carga contaminante de sus efluentes y el cumplimiento de los límites permisibles dispuestos por la autoridad ambiental del Ecuador y puedan ser reutilizadas en las diferentes actividades del sector.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La Hilandería Intercomunal Salinas, debido al grado de contaminación que genera sus procesos se ve necesario realizar este proyecto de tratar las aguas residuales industriales.

Esta Hilandería fue inaugurada en el año 1987, momento el cual inicio sus labores con manufactura hasta llegar a industrializarse, a partir de entonces los productos elaborados adquirieron gran calidad y la demanda aumentó considerablemente (Textiles, 2018).

Se realizan cuatro procesos principales: lavado de lana, lana semi - procesada, hilo semi - elaborado e hilo tinturado, las cuales descargan efluentes que son vertidas a través de un cuerpo hídrico y llegan al río Salinas sin ningún tipo de tratamiento. Cabe mencionar que en el proceso de lavado y tinturado se utilizan grades variedades de agentes químicos con el propósito de teñir las fibras hasta conseguir un color y textura ideal, las cuales hacen que las aguas residuales industriales adquieran contaminantes de difícil remoción.

La problemática que posee la hilandería es que al no poseer un sistema de tratamiento para los efluentes que son descargados directamente al cuerpo receptor y posteriormente al rio salinas además de generar contaminación ambiental, afectan a la población rio abajo ya que utilizan para ciertas actividades agrícolas, pecuarias y ganaderas, especialmente además causan daños a la salud.

Por tal motivo se realiza análisis de los diferentes parámetros de contaminación, mediante muestreos del agua residual industrial generada de la hilandería y se compara con los límites permisibles establecidos en la Normativa Ambiental del País, para saber cuan contaminada está el agua y minimizar ciertas concentraciones para conservar el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Parroquia Salinas.

Según CUÁSQUER (2015, pp.1-2), mediante el estudio realizado sobre el tratamiento de aguas residuales de la industria textil con procesos electroquímicos, menciona que dichas aguas residuales industriales de alto grado de contaminación, dando tratamientos adecuadas ya sean procesos físicos, físico-químicos o químico convencionales, proporcionan el control de los parámetros y cumplen con la normativa, como por ejemplo de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos, Turbidez, color, Hierro y pH, y generan una descarga del efluente menos contaminada y evitan impactos ambientales negativos.

1.2. Justificación del Proyecto

La Hilandería Inter-Comunitaria de Salinas viene realizando sus actividades de lavado y tinturado de lanas durante varios años, dentro del proceso se utiliza agua del río Salinas y varios químicos entre ellos: detergentes, suavizantes, colorantes y ácidos, entre otros, los mismos que tras ser usados son vertidos al cuerpo de agua que desfoga en el Río Salinas sin recibir ningún tratamiento de inactivación.

La realización de este proyecto técnico es factible porque en el sistema de tratamiento propuesto se evidencia la remoción de los contaminantes en la etapa final del proceso cumpliendo con los límites permisibles para la descarga a los cuerpos de agua dulce estipulados en la Tabla 9 del Acuerdo Ministerial No. 097 A.

Las diferentes comunidades asentadas en el margen del Río Salinas utilizan esta agua para el desarrollo de diferentes actividades entre las que podemos mencionar: la producción agrícola,

piscicultura, ganadería, consumo humano, entre otros. Por lo que estas aguas contaminadas generan graves secuelas en la salud y consecuencias a nivel económico y social.

El dimensionamiento de un sistema de tratamiento para las aguas residuales industriales de la Hilandería Inter-Comunitaria en la Parroquia Salinas cantón Guaranda, es la mejor solución para que la empresa cumpla con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y no generen perjuicios a la comunidad y al ambiente, al mismo tiempo que la empresa necesita que el agua tratada se reutilice para distintas actividades dentro de la producción con la finalidad de optimizar recursos económicos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas industriales para la hilandería inter-comunitaria de la parroquia salinas, provincia Bolívar.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual industrial proveniente de los efluentes de la hilandería.
- Efectuar pruebas a nivel de laboratorio para identificar las variables que delimitan el sistema de tratamiento del agua residual industrial.
- Dimensionar el sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Aguas residuales

Son aquellas con composición variada, procedentes de las diferentes descargas como de usos industriales, municipales, comerciales, servicios agrícolas, pecuarios, domésticos incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original (Garay, 2016, p. 17).

2.1.1. *Agua residual Industrial*

Las aguas residuales industriales es el agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales, es decir es la alteración física, química y biológica del líquido generado en las diversas industrias y locales comerciales del mundo. Dichas aguas alteradas no reciben ningún tipo de tratamiento y son descargadas en su mayoría a los ríos, algunos lagos, mares y océanos, siendo altamente contaminantes y perjudiciales para el medio ambiente.

Cabe recalcar que dichas aguas que se generan en la industria tienen contaminantes que son muy difíciles de erradicar, en el caso de que se le quiera dar un reuso al agua, o simplemente reinsertarla a los ríos con la menor cantidad de contaminantes posibles (Fibras et al., 2020).

2.1.2. Aguas residuales de la Industria Textil

La industria textil es uno de los principales generadores de aguas residuales industriales, debido a que requieren agua en grandes cantidades para los respectivos procesos de fabricación, producción, transformación, limpieza o mantenimiento, las cuales provocan una serie de contaminación al medio ambiente.

El agua industrial de las textilerías contiene un elevado contenido de sales, las cuales pueden diluirse, pero son difíciles de eliminar, también cuentan con una elevada carga orgánica debido a la suciedad de las pieles, la sangre, arenas, estiércol. Las aguas de estas industrias varían mucho de unas empresas a otras debido a su actividad, pero tiene algo en común, la elevada cantidad de materias en suspensión debidas a fibras y proteínas precipitadas (CUÁSQUER, 2015, p. 23).

La composición de los efluentes generados en la industria textil es muy variable, típicamente caliente, alcalina y coloreada. Los principales contaminantes presentes son sólidos suspendidos, aceites minerales y compuestos orgánicos, también están presentes concentraciones significativas de metales pesados, como cromo, cobre, zinc, níquel o plomo y los principales parámetros, como el pH, la materia orgánica DQO y DBO₅, el nitrógeno, el fósforo y los nitritos. En el proceso de fabricación de la fibra natural, el agua residual puede contener pesticidas y contaminantes microbiológicos, como bacterias, hongos y otros patógenos (CUÁSQUER, 2015, p. 23).

2.2. Etapas consideradas en el Tratamiento de Agua Residual Industrial

Para la resolución de calidad de aguas residuales industriales se aplican cinco etapas:

- Determinación de caudales.
- Muestreo y Caracterización del agua residual cruda, aplicación de la norma técnica ambiental y determinación de la carga contaminante.

- Selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y comparación de las alternativas propuestas.
- Diseño y construcción.
- Operación y mantenimiento del sistema construido (Garay, 2016, p. 17).

2.2.1. Caudales de las aguas residuales

El caudal indica el volumen de agua residual que pasa por una sección en un determinado tiempo específico, su unidad básica es m^3/s .

Es de suma importante determinar el caudal para el desarrollo de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, ya que, si los valores resultantes fueran erróneos existirían fallas en el funcionamiento de las unidades de tratamiento (Ramalho, 1996: pp. 91-133).

Las unidades utilizadas para expresar el caudal de diseño de diferentes equipos de la planta de tratamientos son:

- Para bajo tiempo de retención hidráulica como rejillas y desarenadores son: m^3/s
- Para tanques de sedimentación: m^3/h (López Vazquez et al., 2017: p.44).

2.2.1.1. Tipos de caudales que aportan a las aguas residuales

Los caudales de las aguas residuales sean estas domésticas, industriales o pluviales, así como los procedentes de las infiltraciones y las aportaciones incontroladas, constituyen una información muy importante antes de proyectar una red de alcantarillado y las plantas de tratamiento.

- **Caudales de aguas residuales industriales:** Los caudales de aguas industriales generadas en las diferentes industrias dependen del tipo y tamaño del centro industrial, el

grado de reutilización del agua y el pre-tratamiento que se dé al agua utilizada en el caso de que exista alguno son factores de los cuales depende un caudal.

- **Caudales de aguas domésticas:** Estas aguas residuales domesticas constituyen los líquidos provenientes de las viviendas, edificios de zonas comerciales.
- **Caudales de aguas pluviales:** Son aguas resultantes de la escorrentía superficial (METCALF y EDDY, 1995: p.41).

2.2.1.2. Medición de Caudal de las Aguas Residuales

Para la medición se opta un método, la cual depende de la cantidad del líquido ya sea esta abundante o escasa, de la facilidad al punto de muestreo, de la calidad y cantidad de registros de caudales necesarios para el estudio hidrológico preliminar (METCALF y EDDY, 1996: pp.67-69).

2.2.1.2.1. Métodos para mediciones de caudales en descargas de aguas residuales

Las mediciones de caudales en descargas de aguas residuales industriales se realizan de la siguiente manera:

- Mediante instalación de vertederos o canales Parshall: Mediciones en canales abiertos o en alcantarillas parcialmente llenas.
- Método volumétrico: Medición de llenado de recipiente con respecto al tiempo.
- Estimación de caudales de bombeo y duración de los mismos.
- Método del flotador: Cronometrando el desplazamiento de un objeto flotante entre dos puntos fijos a lo largo de su recorrido es decir conociendo la velocidad y la superficie.
- Con examen del registro de uso de agua de la planta.

- Cronometrando los cambios de niveles en tanques, reactores o depósitos que se utilicen en las operaciones con descargas sobre todo discontinuas (METCALF y EDDY, 1996: pp.67-69)

2.2.1.2.1.1. *Medición por método volumétrico*

Es una medición directa del agua residual industrial, se procede al llenado de un envase con escala por un determinado tiempo con la ayuda de un cronómetro.

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

Ecuación 1

Dónde:

Q = Caudal (L/s).

V = Volumen (L).

T = Tiempo (s) (López Vazquez et al., 2017: p.44).

2.2.1.2.1.2. *Método de velocidad /superficie*

Para este método es indispensable saber la velocidad y la superficie de recorrido del efluente.

$$Q = A * v$$

Ecuación 2

Dónde:

Q = Caudal de diseño (L/s).

A = Área transversal (m²)

T = Velocidad (m/s) (López Vazquez et al., 2017: p.44).

2.2.2. Muestreo y Caracterización de Aguas Residuales

2.2.2.1. Muestreo de Aguas Residuales.

Esta técnica de muestreo consiste en separar una determinada parte específica del efluente para la caracterización de sus parámetros y realizar el respectivo análisis de la calidad del agua, en ciertos análisis se identifica los contaminantes que existen en el tipo de agua que se trata y saber que métodos utilizar para su tratamiento (Ramalho, 1996: pp.77-78).

En este plan de muestreo se determina el número de puntos de muestreo, el número y clases de muestras. Los datos de los muestreos deben ser:

- **Representativos:** Los datos deben representar el agua residual o el ambiente muestreado.
- **Reproducibles:** Los datos obtenidos pueden ser reproducidos por otros siguiendo el mismo procedimiento de muestreo y protocolos analíticos.
- **Sustentados:** La documentación debe estar disponible para validar el plan de muestreo con exactitud y precisión (Ramalho, 1996: pp.77-78).

2.2.2.1.1. Principios importantes en la toma de muestras

El objetivo de estos principios es obtener una muestra de una composición representativa que nos indique el estado promedio, entre ellas se indica:

- Lugar: elegir un lugar adecuado para tomar la muestra.

- Tiempo: considerar el tiempo adecuado para tomar la muestra.
- Frecuencia: tomar las muestras en la frecuencia adecuada.
- Técnica: usar una técnica del muestreo adecuada (Reutelshöfer et al., 2015: pp.6-14).

2.2.2.1.2. *Técnicas de las Muestras*

Dependiendo el tipo de industria o investigación se realiza el muestreo para la toma de muestras simples o instantáneas y muestras compuesta.

- **Muestra Simple.** Esta muestra se toma en un sitio determinado y una sola vez; y sirve para la determinación de temperatura, pH, cloro residual, alcalinidad, acidez, grasas y coliformes.
- **Muestra Compuesta:** Se compone de varias muestras simples recolectadas en el mismo punto de muestreo, pero en diferentes tiempos. (con frecuencias variables, minutos, horas, días) que se adicionan al mismo recipiente.
- **Muestra Integrada:** Se compone por varias muestras simples, tomadas en diferentes ubicaciones, pero al mismo tiempo. La muestra integrada es recomendada para evaluar ríos, tratamiento de efluentes separados y en corrientes de aguas amplias; pero son imprescindibles en procesos a escala industrial.
- **Muestra para un análisis microbiológico:** Para sacar una muestra, que es usada para análisis biológicos se debe usar una muestra simple, para ello se necesita un recipiente estéril, que será solicitado por el laboratorio. Es importante no usar un muestreador ni otro recipiente, sino sacar la muestra directamente con el frasco estéril (Reutelshöfer et al., 2015: pp.6-14).

2.2.2.1.3. *Conservación de las Muestras*

Para reducir la posible volatilización o biodegradación de la muestra, se mantiene a la menor temperatura posible entre 1-5°C sin que llegue a congelarse, y se deben ser analizadas lo antes posible una vez llegadas al laboratorio. En circunstancias las muestras son estables hasta 24 horas. Se utilizan conservantes químicos que no van a interferir en el análisis, si se los utiliza se los deberá poner en el envase antes de poner la muestra (Reutelshöfer et al., 2015: pp.6-14).

2.2.2.2. *Características de las Aguas residuales Industriales*

Dichas aguas residuales industriales, se caracterizan por sus composiciones físico-químicas y biológicas, los de mayor importancia son los compuestos orgánicos biodegradables, los sólidos suspendidos y los orgánicos patógenos, por las cuales la mayoría de las instalaciones de manejo de aguas residuales son diseñadas para su remoción.

2.2.2.2.1. *Características Físicas*

- **Color**

La coloración del agua puede ser debida a materias orgánicas e inorgánicas, material coloidal y sustancias en solución. Es color aparente cuando es causado por solidos suspendidos y color verdadero cuando son causadas por sustancias disueltas o coloidales.

El agua residual industrial reciente suele tener un color grisáceo, pero si al transportar por los cuerpos hídricos llevan tiempo, o han sufrido una fuerte descomposición microbiológica bajo condiciones anaerobias, la coloración del agua residual industrial cambia para posteriormente adquirir un color negro.

Esta coloración oscura de las aguas residuales se da por la formación de varios sulfuros, como puede ser Sulfuro Ferroso (FeS) (Crites y Tchobanoglous, 2000a: pp.22-23).

- **Olor**

El olor se adquiere por los gases liberados, en el proceso de descomposición de la materia orgánica; de un agua residual industrial fresca el olor es peculiar, pero una gran variedad de compuestos mal olientes es liberada cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias.

El olor indeseable del agua es por la presencia del sulfuro de hidrogeno (H_2S) que se produce, al reducir los sulfatos a sulfitos esto se da por acción de ciertos microorganismos anaerobios

Las aguas industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o con ciertas tendencias a producir olores en los diferentes procesos de tratamiento (Crites y Tchobanoglous, 2000a: pp.22-23).

- **Turbiedad**

Indica la calidad de las aguas naturales y aguas residuales tratadas en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La turbiedad en el agua se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas.

Dicha determinación de la turbiedad, indica la calidad del agua en el desempeño de las plantas de tratamiento, formando como parte del control de los procesos para conocer cómo y cuándo el agua debe ser tratada (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

- **Sólidos**

Los sólidos es toda la materia que permanece como residuos excepto el agua contenida en los materiales líquidos y semilíquidas, estas desde aguas potables hasta aguas contaminadas residuales, residuos industriales, entre otras.

- **Sólidos totales.** Estos sólidos es la suma de todos los sólidos disueltos y en suspensión, que se encuentran en el agua residual.

- **Sólidos totales disueltos:** Están compuestos por moléculas que se encuentran en disolución en el agua.

- **Sólidos sedimentables:** Son los sólidos en suspensión que se sedimentaran por acción de la gravedad en un periodo determinado, cuando la masa de agua se mantiene en reposo. Están formados por partículas más densas que el agua cuyos tamaños corresponden a 10 micras o más que se mantienen dispersas dentro de ella en virtud de la fuerza de arrastre causada por el movimiento o turbulencia de la corriente.

- **Sólidos suspendidos:** Son aquellos sólidos formados por partículas que se encuentran dispersas en el agua, de naturaleza orgánica como desechos humanos, desperdicios de alimentos, células biológicas. Estas no se sedimentan por gravedad ya que poseen carga eléctrica, semejante a la propiedad que la mantienen en suspensión (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

- **Temperatura.**

La temperatura del agua residual industrial es superior a la del agua de suministro, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial.

El aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, dan lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos, entre los 25 y los 35 °C es la temperatura óptima para el desarrollo de actividad bacteriana.

La medición de la temperatura es importante por su influencia en el desarrollo de la vida acuática, en las reacciones químicas, su velocidad de reacción y también para los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales ya que incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura (Crites y Tchobanoglous, 2000a: pp.22-23).

- **Densidad**

Es una de las características físicas importantes del agua residual industrial, ya que mediante ella forma el potencial de corrientes de densidad en lodos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento, esta se define como su masa por unidad de volumen, en kg/m³ (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

- **Conductividad eléctrica**

Es la habilidad de una solución de agua de conducir la electricidad y esta depende de la concentración total, de las sustancias disueltas ionizadas en dicha agua, y de la temperatura de su determinación. Los iones son pequeñas partículas cargadas eléctricamente, las cuales llevan una corriente eléctrica a través de soluciones de agua. Estos iones provienen principalmente de ácidos y sales de la solución de fuente (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

Tabla 1-2: Caracterización física

“Análisis comunes usados para estimar los constituyentes encontrados en las aguas residuales”		
Prueba	Abreviatura / Definición	Uso o significado del resultado
Solidos totales.	ST	Establece la clase de proceso u operación más apropiado para su tratamiento
Solidos volátiles totales	SVT	
Solidos fijos totales	SFT	
Solidos suspendidos Totales	SST	

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Continuación:

Solidos suspendidos volátiles	SSV	Establece la clase de proceso u operación más apropiado para su tratamiento
Solidos suspendidos fijos	SSF	
Solidos disueltos totales	SDT (ST - SST)	Estimar la reutilización potencial del agua residual.
Solidos disueltos volátiles	SDV	Determinar aquellos solidos que se sedimentan por gravedad en un tiempo específico.
Distribución de partículas por tamos	DPT	Evaluar el desempeño de los procesos de tratamiento
Turbiedad	UNT	Evaluar la calidad del agua residual tratado
Color	Café claro, gris y negro	Estimar la condición del agua residual (fresca o séptica)
Transmitancia	%T	Estimar si el efluente tratado es apropiado para desinfección con radiación UV
Olor	NUO	Determinar si el olor puede ser un problema
Temperatura	°C o °F	Importante en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Densidad	P	Importante en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Conductividad	CE	Estimar si el efluente tratado es apto para su uso agrícola

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.2.2.2.2. Características Químicas

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

Mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos bacterias que consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra, bajo condiciones aerobias. Determina la concentración de la materia orgánica en el ensayo de DBO₅ por 5 días a una temperatura 20°C en oscuridad y con agitación, en dichos 5 días se logra eliminar el 60-70% de la materia orgánica, para una degradación total será de 20 a 28 días (Gutiérrez et al., 2020).

La DBO determina:

- La cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- Dimensiona las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Mide la eficacia de algunos procesos de tratamiento
- Controla el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Gutiérrez et al., 2020).

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

Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar completamente la materia orgánica que contiene el agua residual líquida, mediante fuerte oxidante químico en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse, como por ejemplo el dicromato potásico (K₂Cr₂O₇) con ácido sulfúrico a 150°C durante 2 horas. El resultado se expresa en cantidad de oxígeno (mgO₂/l).

La oxidación completa, valora la materia orgánica y también la inorgánica, por eso DQO > DBO₅.

El incremento de la DBO₅ y DQO inciden en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua (Gutiérrez et al., 2020).

- **Sulfuros**

Las bacterias anaerobias reductoras de sulfatos utilizan el oxígeno de los sulfatos y producen ácido sulfhídrico que es característico por emanar olores desagradables a huevo podrido además de crear corrosión en las tuberías de alcantarillado (Crites y Tchobanoglous, 2000b).

- **pH**

El pH indica el valor de acidez del agua, es decir la concentración de iones o cationes de hidrogeno (H) presentes en determinada sustancia. Cuando una solución está neutra, el número de iones hidrógeno es igual al número de iones hidroxilo. Cuando el número de iones hidroxilo está superior, la solución es básica. Cuando el número de iones hidrógeno está superior, la solución es ácida (Crites y Tchobanoglous, 2000b).

- **Materia orgánica**

Las principales sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites, y en pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas (Gutiérrez et al., 2020).

- **Hidratos de carbono**

El hidrato de carbono es la celulosa, esta es más importante en el agua residual por la resistencia a la descomposición y del volumen (Crites y Tchobanoglous, 2000b).

- **Proteínas**

Estas proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales industriales. La existencia de estas proteínas en el agua residual da origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.

- **Grasas y Aceites**

Las grasas y aceites animales alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de ovejas o cerdos, margarina y aceites y grasas vegetales, La presencia de grasas y aceites en el agua residual puede provocar problemas en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento (Gutiérrez et al., 2020).

- **Agentes tensoactivos**

Son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y uno fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes y operaciones de limpieza. Tienden a acumularse en la interface aire-agua y son responsables por la aparición de espumas en los vertidos de agua residual. (Gutiérrez et al., 2020).

Tabla 2-2: Características químicas inorgánicas

Análisis comunes usados para estimar los constituyentes encontrados en las aguas residuales		
Prueba	Abreviatura /definición	Uso o significado del resultado
Amonio Libre	NH_4^+	Son utilizados como la medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual; ciertas formas oxidados pueden tomarse como una medida de grado de oxidación.
Nitrógeno orgánico	N-org	
Nitrógeno total Kjeldahl.	NTK ($\text{N}_{\text{org}} + \text{NH}_4^+$)	

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Continuación:

Nitritos	NO ₂ ⁻	Son utilizados como la medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual; ciertas formas oxidados pueden tomarse como una medida de grado de oxidación.
Nitratos	NO ₃ ⁻	
Fosforo Inorgánico.	P _{inorg}	
Fosforo Total.	FT	
Fosforo orgánico	P _{org}	
pH	$\text{pH} = \log 1 / [\text{H}^+]$	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa.
Alcalinidad	$\Sigma\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$	Media de la capacidad amortiguadora del agua residual.
Cloruros	Cl ⁻	Evaluar la posibilidad de ser empleado en el uso agrícola.
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	Estima la formación potencial de olores y de tratamiento apropiado de lodos residuales.
Metales	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Na, Zn	Estimar la posibilidad de reutilizar el agua residual y los posibles efectos tóxicos en el tratamiento. Las cantidades de metales con importantes en el tratamiento biológico.

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Continuacion:

Compuestos y elementos inorgánicos específicos		Evaluar la presencia o ausencia de un constituyente específico.
Gases	O ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, CH ₄	Presencia o ausencia de un gas específico.

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Tabla 3-2: Características químicas orgánicas

Análisis comunes usados para estimar los constituyentes encontrados en las aguas residuales		
Prueba	Abreviatura /definición	Uso o significado del resultado
Demanda Bioquímica carbonácea de oxígeno a cinco días	DBO ₅	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente un residuo.
Demanda Bioquímica carbonácea de oxígeno última.	DBO / (DBO ₅)	
Demanda de oxígeno nitrogenacea.	DON	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar biológicamente el nitrógeno amoniacal de un agua residual a nitratos.
Demanda química de oxígeno.	DQO	Es utilizada frecuentemente como sustituto de la prueba DBO.
Carbono orgánico total	COT	
Compuestos y clases de compuestos orgánicos específicos.		Determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y estimar la necesidad de medidas especiales en el diseño para su remoción.

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

2.2.2.2.3. *Característica Bacteriológica*

- **Microorganismos**

Los principales grupos de microorganismos en aguas residuales son: organismos eucarióticos como algas, hongos, protozoos, eubacterias y arqueobacterias (Fernández et al., 2019: pp.36-49).

- **Virus**

Son parásitos obligados que encierran en sí mismos la información genética para reproducirse. Para exterminarlos se requiere mayor dosis de cloro, a la del punto de quiebre, lo cual hace necesario clorar las aguas residuales desinfectadas, ya que constituyen uno de los riesgos más importantes para la salud (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

- **Organismos patógenos**

Están presentes en aguas residuales industriales proceden de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una enfermedad (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

- **Uso de organismos indicadores**

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y resultan difíciles de aislar e identificar, por ello se utiliza el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

- **Coliformes totales:** Son una familia de bacterias (grupo total), que se encuentran en el medio ambiente como en las plantas, suelo y animales, incluyendo los humanos, pero

cabe mencionar que no causan problemas. Generalmente, la mayoría de las bacterias coliformes se encuentran en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

- **Coliformes fecales.** Es un subgrupo de bacterias coliformes totales asociado a la flora intestinal de los animales que causa enfermedades. Es usado como indicador de la presencia potencial de organismos patógenos (Fernández et al., 2019a: pp.36-49).

2.2.3. Normativa Ambiental

La presente ley establece los principios y directrices de política ambiental y determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores públicos y privados en la gestión ambiental e indica los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Dicha gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables (LEY DE GESTION AMBIENTAL, 2004).

2.2.3.1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, del libro vi anexo 1 del TULSMA

El proyecto técnico, se fundamentará en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULSMA), Libro VI, Tabla 9, Anexo 1, en el que establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.

2.2.3.1.1. Definición de la normativa TULSMA

La normativa técnica ambiental está dada mediante la “Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental”, para una prevención y control de la Contaminación Ambiental, la cual es sometida a las disposiciones de éstos, esta norma se aplica y rige en todo el territorio nacional (TULSMA, 2015).

La presente norma técnica determina o establece:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

2.2.3.1.2. Objetivo principal del TULSMA

- El objetivo es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de los habitantes (personas), de los ecosistemas y sus interrelaciones, y del ambiente en general (TULSMA, 2015).

2.2.3.1.3. Límites de descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce

Toda descarga a un cuerpo de agua dulce deberá cumplir con los valores establecidos a continuación en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Límites de descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Parámetros	Expresión	Unidades	Límite máximo permisible del agua
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio.	MeHg	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

Fuente: (TULSMA, 2015).

Continuación:

Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales.	NMP	NMP / 100ml	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.	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
Fosforo Total.	P	mg/l	10,0

Fuente: (TULSMA, 2015).

Continuación:

Hierro Total	Fe	mg/l	10,0
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 Kjeldahl	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 hidrogeno.	pH		6-9

Fuente: (TULSMA, 2015).

Continuación:

Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos suspendidos totales.	SST	mg/l	130
Solidos Totales	ST	mg/l	1600
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.			

Fuente: (TULSMA, 2015).

2.2.3.2. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013.

AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.

El proyecto técnico, se fundamentará en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176:2013, en el que indica las Técnicas de muestreo para los análisis de control de calidad del agua.

Tabla 5-2: Objetivos y alcance de la norma NTE INEN 2176.

OBJETIVO	ALCANCE
<ul style="list-style-type: none"> Esta norma establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización. 	<ul style="list-style-type: none"> Esta norma se aplica a las técnicas de muestreo generales. No se aplica a los procedimientos para situaciones especiales de muestreo.

Fuente: (INEN, 2013)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021.

2.2.3.3. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2169:2013.

AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

El proyecto técnico, se fundamentará en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169:2013, en el que indica las Técnicas generales para la conservación de muestras para análisis físico-químico y biológico.

Tabla 6-2: Objetivo, alcance y disposiciones generales de NTE INEN 2169

OBJETIVO	ALCANCE
<ul style="list-style-type: none"> Esta norma establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos, pero no análisis microbiológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Esta norma se aplica cuando una muestra es simple o compuesta y no puede ser analizadas en el sitio de muestreo y es necesariamente llevarle al laboratorio para su respectiva caracterización.

Fuente: (INEN, 2013)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021.

2.2.3.4. Normas Técnicas para el diseño y dimensionamiento de la planta de tratamiento

Tabla 7-2: Normas Técnicas de diseño del sistema de tratamiento de agua residuales

Normas	Referencia	Objetivo
REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000 SECCION II TÍTULO E	Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y RAS-2000; Sección II Títulos E, Tratamiento de Aguas Residuales, República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá D.C. noviembre de 2000.	El presente título está dirigido al desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.
Organización Panamericana de la Salud -GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	Organización Panamericana de la Salud, Área de desarrollo sostenible y salud ambiental. Guías para diseños de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de Estabilización. Lima - Perú. 2005.	Esta guía trata de brindar una ayuda con respecto al dimensionamiento de algunas unidades de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, donde el uso de tecnología muy avanzada no es factible por diferentes motivos.

Fuente: (RAS, 2000) y (Salud, 2005).

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

2.3.1. Tratamiento de aguas residuales industriales

El tratamiento de Aguas Residuales es un conjunto integrado de operaciones y procesos unitarios. Las operaciones unitarias incluyen remoción de contaminantes que predominan los fenómenos físicos, mientras que los procesos unitarios consisten en reacciones químicas y biológicas que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales industriales hasta un nivel tal que permita alcanzar los límites permisibles de calidad requerida para su evacuación al medio ambiente y la reutilización de estas (Lapeña, 1990, pp. 138).

Las aplicaciones de estos darán lugar a los tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios.



Figura 1-2: Esquema de una estación depuradora de aguas residuales

- ARU: Aguas Residuales Urbanas
- EDTAR: Estación depuradora de aguas residuales

Fuente: (Tejero et al., 2000)

2.3.1.1. Objetivos del tratamiento de aguas residuales

- Reducir la carga orgánica de los efluentes en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o demanda química de oxígeno (DQO).
- Reducir o remover los nutrientes, con el fin de evitar la infiltración en el subsuelo que contamine las aguas subterráneas o evitar el crecimiento de algas que ocasionan problemas eutrofización en aguas las aguas receptoras.
- Inactivar o remover a los organismos patógenos, incluyendo las formas parasitarias
- Cumplir con las normas o reglamentos legales que permiten el uso de las aguas residuales industriales, vertimientos a la red de alcantarillando a las fuentes de agua o aguas marinas (Carreño, 2016, p.262).

2.3.1.2. Importancia e eficiencia de contaminantes que se consideran en el tratamiento del agua residual industrial

En la tabla 2-2 se presentan, en forma muy breve y generalizada, los contaminantes de importancia en las aguas residuales industriales.

Tabla 8-2: Importancia de contaminantes presentes en el agua residual industrial

Contaminante	Importancia
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, generalmente se mide en DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica lleva al consumo del Oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

Fuente: (Ramalho, 1996, pp. 8-10).

Continuación:

Sólidos Suspendidos	Llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Sólidos inorgánicos disueltos	Tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua.
Materia orgánica refractaria.	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual
Microorganismos Patógenos.	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el Nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento de una vida acuática no deseada.
Contaminantes Prioritarios.	Compuestos orgánicos o inorgánicos en base a su carcinogénicas, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad.

Fuente: (Ramalho, 1996, pp. 8-10).

Tabla 9-2: Eficiencia de importancia en aguas residuales industriales

Contaminante	Impacto Ambiental	Parámetro de medida
Materia orgánica biodegradable.	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables	DBO ₅ , DQO

Fuente: (ROMERO, 2002).

Continuación:

Sólidos Suspendidos	Turbiedad en el agua y deposita lodos.	SST, SSV
Materiales tóxicos	Peligroso para la vida vegetal y animal.	Cada material tiene su parámetro.
Iones hidrógeno	Riesgo potencial para organismos acuáticos	pH
Energía térmica	Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismos acuáticos.	°T
Sales inorgánicas	Limita los usos agrícolas e industriales del agua.	STD
Fósforo	Puede estimular el crecimiento de algas	Ortofosfatos
Amoníaco	Es tóxico para organismos acuáticos y puede estimular el crecimiento de algas es decir desoxigena el agua.	NH ₄ ⁺ - N

Fuente: (ROMERO, 2002).

2.3.2. Tratamiento según el Índice de biodegradabilidad

La DQO y DBO₅ son útiles como parámetros de concentración orgánica en aguas residuales industriales. Dicha relación DBO₅ / DQO es indispensable para determinar el tipo de tratamiento que requiere el agua residual industrial, sea este físico-químico, biológico o combinado.

La diferencia que existe entre la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), es porque hay muchos compuestos que se oxidan con mayor facilidad por vía química que a través de vía biológica; por

lo cual ciertos valores de DQO son generalmente más altos que los de la DBO₅, permitiendo establecer una relación directa entre estos parámetros (Kasetsu, 2020).

Tabla 10-2: Relación de biodegradabilidad

Tipo de biodegradabilidad.	Poco biodegradable	Biodegradable	Muy biodegradable
DBO₅/DQO	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
Tipo de tratamiento	Físico-químico	Físico-químico- Biológico	Biológico
Vertimientos	Vertidos de naturaleza Industrial	Combinado (Industrial-Urbana)	Vertidos de naturaleza Urbanas

Fuente: (Remtavares, 2012) y (Kasetsu, 2020).

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

2.3.3. *Tipos de procesos de tratamientos de aguas residuales industriales*

Cierto tratamiento del agua residual se aplica mediante 3 procesos físicos, químicos y biológicos, para que los efluentes tratados, cumplan con la normativa.

- a. Procesos físicos:** Consiste en una serie de operaciones físicas unitarias, entre estas se encuentran tamices, separadores, filtros, desarenador y decantación., las cuales buscan eliminar la contaminación de las aguas, básicamente residuos de mayor tamaño, como grasas, aceites, arenas y sólidos de mayor tamaño (Fernández et al, 2006a: pp. 19-20).

- b. Procesos químicos:** Consiste en una serie de procesos químicos unitarios, entre estas tales como, la precipitación, adsorción y la desinfección son procesos convencionales en el tratamiento de aguas residuales industriales, que buscan eliminar las sustancias que contaminan el agua y que están disueltas en ella, estos con la adición de productos químicos (Fernández et al, 2006b: pp. 21-22).
- c. Procesos biológicos:** Consiste en la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas mediante microorganismo en un ambiente anaeróbico controlado, se lleva a cabo con acción biológica. Así tenemos a los lodos activados (Fernández et al, 2006c: pp. 23-24).

2.3.4. Etapas de tratamiento de las aguas residuales industriales

Un sistema de tratamiento este compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable.

Estas operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales comprenden:

- Pre-tratamiento
- Tratamientos primarios
- Tratamientos secundarios
- Tratamientos terciarios o avanzado (Garay, 2016, p.17).

2.3.4.1. Pretratamiento

Este tratamiento se encarga de la remoción principalmente de:

- Solidos grueso
- Arena

Es un proceso de eliminación de los componentes de las aguas residuales, esto quiere decir que se separa del agua residual por operaciones físicas o mecánicas, la mayor cantidad de materiales que por su naturaleza (grasas y aceites) o su tamaño (ramas, palos), y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos (Fernández et al., 2006).

El equipo que se suele utilizar son rejas por las que se hace circular el agua, construidas por barras metálicas de 6 o más mm, dispuestas paralelamente y espaciadas entre 10 y 100 mm, se limpian con rastrillos que se accionan normalmente de forma mecánica.

En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones (Fernández et al., 2006).

Tabla 11-2: Función de los procesos de Pretratamiento

Procesos de operaciones unitarias	Función
Rejas o tamices	Elimina solidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de solidos
Desarenadores	Elimina de arenas y gravillas
Desengrasados	Elimina aceites y grasas
Preaireación	Controla el olor y mejora el comportamiento hidráulico.

Fuente: (Fernández et al., 2006).

2.3.4.2. *Tratamiento Primario*

En cierto tratamiento se da la remoción parcial de sólidos suspendidos, materia orgánica u organismos patógenos, mediante sedimentación u otro medio, y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario.

El tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO₅ y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (Abarca et al., 2017, pp. 16-19).

Entre los métodos de tratamiento primario se conocen:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

2.3.4.3. *Tratamiento Secundario*

El tratamiento secundario convencional es donde se realiza la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de sólidos en suspensión, de materia orgánica u organismos patógenos (compuestos orgánicos biodegradables), por lo cual incluye el tratamiento biológico de fangos activados, reactores de lecho fijo, lechos fluidizados, filtros percoladores los sistemas de lagunaje y sedimentación. Aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario (Abarca et al., 2017, pp. 16-19).

Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO₅ entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

- Filtración biológica
- Lodos activados: Lagunas de estabilización: aerobia, facultativa, de maduración, aireada.
- Otros Anaeróbicos:
 - Contacto.
 - Filtro anaerobio.
 - Reactor anaeróbico de flujo ascendente.
- Discos rotatorios

2.3.4.4. Tratamiento Terciario o Avanzado

Este tratamiento complementa los procesos anteriores para cumplir las normas ambientales eliminando los contaminantes específicos presentes en el agua residual industrial, es decir se ocupan de obtener una calidad excelente en el efluente y puedan ser descargados al cuerpo receptor como puede ser mar, lago, río, etc. o en casos especiales para la reutilización en gran variedad de fines (Abarca et al., 2017).

Es el nivel de tratamiento necesario para la remoción de sólidos suspendidos y sustancias disueltas que quedan a pesar de dar un tratamiento secundario. Ciertas sustancias pueden ser como nutriente, compuestos tóxicos, materia orgánica o de sólidos suspendidos, y su naturaleza puede variar desde sus iones inorgánicos simples como calcio, potasio, sulfato, nitratos y fosfatos, hasta mayores compuestos orgánicos sintéticos muy complejos (Abarca et al., 2017).

2.3.4.5. Tratamiento de Lodos

Es un tratamiento donde el lodo es extraído de los procesos de tratamiento de aguas residuales ya sean estas líquidos o líquidos-semisólidos con contenido de sólido que aproximadamente

representan el 0,25 y el 12% en peso, siendo el mayor volumen eliminado durante los tratamientos, está formado por sustancias que son desagradables de las aguas que no son tratadas (Fernández et al., 2006).

El tratamiento y disposición de lodos es uno de los problemas principales en el tratamiento de aguas residuales; ya que en los tanques de sedimentación se producen grandes volúmenes de lodos con grandes contenidos de agua; su deshidratación y disposición final pueden representar un alto porcentaje del costo del tratamiento de agua.

Dicha reducción de lodos es necesaria antes se espesar, la parte líquida de los lodos tiene que secarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural, durante un largo período de tiempo.

Para una deshidratación efectiva es importante el tamaño y firmeza de las acumulaciones del lodo, para su permanencia poroso durante la compresión, para lo cual se utilizan floculantes para alcanzar mayor cantidad de materia seca en las máquinas de deshidratación y puedan ser coordinados con el lodo, para ello se considera condiciones como: cantidad, estructura del lodo, disposición, regulaciones, disponibilidad personal, etc. (Fernández et al., 2006).

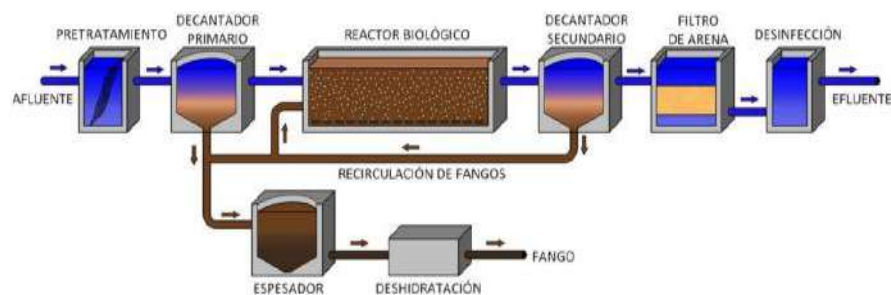


Figura 2-2: Sistema de las etapas de tratamiento de aguas residuales industriales

Fuente: (Vásquez, 2015).

Tabla 12-2: Procesos de tratamiento empleados para la eliminación de compuestos tóxicos

Proceso	Aplicación de eliminación
Adsorción sobre carbón activado	Compuestos orgánicos naturales y sintéticos entre los que se incluyen los compuestos orgánicos volátiles (COVs), pesticidas, metales pesados.
Arrastre con aire	COVs y amoníaco
Lodos activados – carbón activado en polvo	Metales pesados, amoníaco, determinados contaminantes prioritarios refractarios.
Coagulación química, sedimentación y filtración	Metales pesados
Tratamiento biológico convencional (lodos activados, filtros percoladores)	Fenoles, hidrocarburos hidrogenados seleccionados.
Oxidación química	Amoníaco, compuestos refractarios y compuestos tóxicos alifáticos y aromáticos halogenados.

Fuente: (Abarca et al., 2017).

2.4. Diseño del Sistema de Tratamiento de Agua Residual Industrial

Para minimizar los impactos producidos por las aguas residuales industriales existen varias alternativas, para lo cual se realiza mediante distintos tratamientos físico, químico y biológicos, y se logra una mejor depuración del efluente, todo dependiendo de la carga contaminante.

Uno de los métodos más efectivos al momento de tratar los efluentes es sin duda la aplicación de fangos activos lo cual disminuye considerablemente la carga contaminante del agua residual (Garay, 2016).

2.4.1. Caudal de diseño

La cuantificación del caudal en aguas residuales industriales ocurre en variaciones horarias (horas del día), diarias (días de la semana) y cíclicas (estaciones del año), el caudal está en relación a la producción diaria, la misma que depende de la demanda de los clientes, también incluyen las aguas generadas en los procesos de producción, limpieza y mantenimiento de maquinarias, mediante los cuales permiten obtener un caudal promedio.

Según las normas de diseño para el sistema de tratamiento de agua residual se toma como datos adicionales la producción y demanda diaria, producidas en las industrias.

2.4.1.1. Índice de aumento de producción

Los datos de la producción diaria, semanal, mensual y de años anteriores serán proveídos por el auxiliar contable de la microempresa hilandería Salinas mediante los cuales se tendrá un promedio aproximado del índice de aumento de la producción anual y el mismo que servirá para determinar la proyección a futuro de la producción.

$$\text{Índice de aumento de producción} = \frac{I_{Final} - I_{Inicial}}{I_{Final}}$$

Ecuación 3

Donde:

$I_{\text{aumento final}}$ = Índice de aumento final

$I_{\text{aumento inicial}}$ = Índice de aumento inicial

2.4.1.2. Aumento de producción futuro

$$A_{fut} = Iaa * (A_f - A_i) + A_{act}$$

Ecuación 4

Dónde:

A_{fut} = Aumento de producción futuro

Iaa = Índice de aumento anual

A_f = Año Final

A_i = Año Inicial

A_{act} = Aumento de producción actual

2.4.1.3. Producción futura

Para determinar la producción futura los cálculos se basan en el método geométrico que es el más aconsejable para micro empresas donde se analiza la tasa de producción anual.

$$P_f = \frac{Pr a * A_{fut}}{A_{act}}$$

Ecuación 5

Dónde:

Pr f = producción futura (lb)

Pr a = producción actual (lb)

A fut = aumento de producción futura (%)

A act = aumento de producción actual (%)

2.4.1.4. *Proyección de producción*

Para determinar la generación de agua residual se realiza mediante la ecuación:

$$G_{ar} = \frac{Q_p * 1000 \left(\frac{L}{m^3}\right)}{Pr_a}$$

Ecuación 6

Dónde:

G ar = Generación de agua residual (L/ lb*día)

Q p = Caudal promedio (m³/día)

Pr a = Producción actual (lb)

2.4.1.5. *Caudal de agua residual producido diariamente*

$$Q_{prod} = \frac{Pr_f * G_{ar}}{1000L/m^3}$$

Dónde:

Q_{prod} = caudal producido diariamente (L/s)

$Pr f$ = Producción futura (lb)

2.4.1.6. Caudal de diseño

Para obtener el caudal de diseño se toma en cuenta una constante k ($k= 1$ y 5)

$$Q_{dis} = K * Q_{prod}$$

Dónde:

Q_{dis} = Caudal de diseño (L/s)

K = constantes =1

2.4.2. Canal

Antes del dimensionamiento de la rejilla se requiere diseñar el canal por el cual será conducido el agua residual hacia el proceso de tratamiento, con el objetivo de conseguir que las velocidades estén acordes con las sugeridas, para el diseño de rejillas.

2.4.2.1. Consideraciones del diseño del canal

El canal es diseñado cuando las velocidades obtenidas están establecidas en la Norma para el respectivo estudio y diseño de agua potable y ciertas disposiciones de Aguas Residuales; para un caudal medio diario la velocidad debe ser mayor a 0,6 m/s y para el caudal máximo o de diseño será menor a 2,5 m/s.

Tabla 13-2: Parámetros para el dimensionamiento del canal

Ancho(m)	Altura (m)	Material del canal
0,40-1	0,50-1,50	Hormigón

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995a)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

a. Área del canal

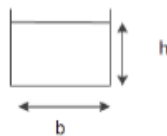


Figura 3-2: Sección del canal

Fuente: (METCALF, y otros, 1995)

$$A = b \times h$$

Ecuación 9

Dónde:

A = Área del canal (m²).

b = Base del canal (m).

h = Altura del canal hasta el nivel de agua (m).

b. Radio hidráulico

$$RH = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

Ecuación 10

Mediante la ecuación de Manning, se calcula la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento:

$$v = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 11

Dónde:

v = Velocidad (m/s).

n = Coeficiente de Manning (0,013 para canales de concreto simple).

R = Radio hidráulico (m).

S = Gradiente hidráulico (0.0005 m/m).

Tabla 14-2: Valores típicos de coeficientes de Rugosidad

Material	Coefficiente de Manning n	Coefficiente Hazen-Williams CH	Coefficiente Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0,011	140	0,0015
Fierro fundido: nuevo	0,012	130,0	0,26
Concreto: cimbra metálica.	0,011	140	0,18
Concreto: cimbra madera.	0,015	120	0,6
Concreto simple	0,013	135	0,36
Acero: nuevo o sin recubrimiento.	0,011	145	0,045
Plástico: PVC	0,009	150	0,0015

Fuente: (Morales et al., 2018, pp. 82-85).

2.4.3. Cribado (Rejillas)

Es un dispositivo con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente y cabe mencionar que es el primer paso en el tratamiento del agua residual. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual a través de rejillas, suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores”, estas son usadas para proteger los

distintos elementos como bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños ocasionados por objetos de gran tamaño.

Tipos de rejillas de desbaste:

- **Rejilla desbaste grueso:** Cuya separación entre barras está entre 50-100 mm y grosor de barrotes 12-25 mm.
- **Rejilla desbaste fino:** Las que tienen espacios entre barras entre 10-25 mm y grosor de barrotes 6-12 mm.

Las rejillas se clasifican de acuerdo con el método de limpieza y pueden ser:

Limpieza mecánica o manual, estas pueden estar en función a la separación entre barras finas o gruesas, también de acuerdo con la inclinación de la reja: horizontales, verticales, inclinadas y curvas (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003a, p. 60).

2.4.3.1. Rejillas de limpieza mecánica o automática

Estas rejillas son utilizadas para PTAR de gran tamaño, se recomienda para caudales continuos mayores a 50 L/s en adelante.

2.4.3.2. Rejillas de limpieza manual

Esta tipo de rejillas se usa para caudales menores que $0.053 \text{ m}^3/\text{s}$, las plantas de tratamiento pequeñas poseen un canal donde su profundidad depende de las condiciones propias donde se va realizar el proyecto, mientras que su ancho y separación entre barras pueden considerarse las medidas un máximo 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad, se considera propicio un

canal recto y perpendicular a la reja, de manera que se consiga una distribución uniforme de los sólidos en el flujo y en la reja.

Es necesario retirar cada cierto tiempo el material sólido acumulado, ya que la pérdida de carga aumenta a medida que se presenta una mayor obturación; para la disposición de los sólidos extraídos se debe contar con una bandeja de drenaje en la parte superior de la rejilla (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003b).

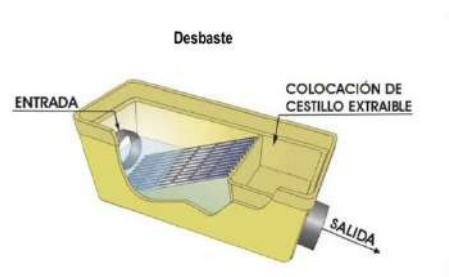


Figura 4-2: Rejillas de Limpieza Manual

Fuente: (Edar, 2016).

Tabla 15-2: Parámetros para el dimensionamiento de rejillas

Parámetro	Valor recomendado	Unidad	Abreviatura
Caudal de diseño	0,0266	m ³ /s	Q _{diseño}
Velocidad mínima*	0,3-0,6	m/s	V
Aceleración de la gravedad	9,8	m/s ²	G
Velocidad de aproximación*	0,3-0,6	m/s	V _a

Fuente: (RAS, 2000).

Continuación:

Altura de seguridad	0,50	m	Hs
Profundidad	25 - 37,5	mm	
Espesor de la barra**	5 - 15	mm	S
Separación entre barras*	15 - 50	mm	E
Ancho del canal	0,5	m	L
Angulo de inclinación**	44 - 60	°	Ø
Perdida máxima de carga admisible+	0,015	M	Hf

Fuente: (RAS, 2000).

2.4.3.3. Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual

a. Área entre barras

El área libre al paso del agua se calcula mediante el caudal de diseño y la velocidad mínima recomendada.

$$A_L = \frac{Q}{v}$$

Ecuación 12

Dónde:

A_L = Área entre barras (m^2).

v = Velocidad de aproximación (m/s).

Q = Caudal (m^3/s).

b. Área de la sección transversal del flujo.

$$A_F = \frac{A_L (S + e)}{S}$$

Ecuación 13

Dónde:

A_F = Área de sección transversal (m^2)

A_L = Área entre barras (m^2).

S = Separación entre barras (m)

e = Espesor máximo de las barras (m).

c. Proponer el tirante del agua en el canal (h).

$$h = \frac{A_L}{b}$$

Ecuación 14

Dónde:

A_L = Área entre barras (m^2).

b = ancho del canal (m).

d. Altura del canal.

$$H = h + H_s$$

Ecuación 15

Dónde:

H = Altura total (m).

h = tirante del agua en el canal (m).

H_s = altura de seguridad (m).

e. Longitud de las barras

$$L_b = \frac{H}{\text{sen } \emptyset}$$

Ecuación 16

Dónde:

L_b = Longitud de barras (m)

H = altura del canal (m)

∅ = ángulo de inclinación (°).

f. Número de barras (n)

$$n = \frac{b}{e + S}$$

Ecuación 17

Dónde:

b = ancho del canal (m).

e = separación entre barras (m).

S = espesor de las barras (m).

g. El nivel máximo de agua

$$d_{max} = \frac{Q}{v * b}$$

Ecuación 18

Dónde:

d_{max} = Nivel máximo de agua (m).

Q = Caudal de diseño (m³/s)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

b = Ancho del canal (m).

h. Longitud de la barrilla sumergida

Es importante conocer el nivel máximo de agua para determinar la longitud sumergida de la rejilla mediante la siguiente ecuación:

$$L_g = \frac{d_{max}}{\text{sen } \phi}$$

Ecuación 19

Dónde:

L_g = Longitud sumergida de la barra (m)

d_{\max} = Nivel máximo de agua (m)

\emptyset = Grado de inclinación de las barras

i. Velocidad en el canal de aproximación

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

Ecuación 20

Dónde:

V = velocidad de aproximación en el canal (m/s)

Q = caudal de diseño (m³/s)

A_L = área libre (m²)

j. Pérdida de carga (h_c)

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g} \right) * \sin \theta$$

Ecuación 21

Dónde:

h_c = Pérdida de carga a través de las rejillas (m).

V² = Velocidad de salida a través de la rejilla (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).








S = Separación entre barras (m).

e = Espesor máximo de las barras (m).

β = Factor dependiente de la forma de las barras.

θ = Ángulo de la inclinación de las barras (METCALF y EDDY, 1995b, p. 510).

Tabla 16-2: Factores de β para secciones usuales de barras de rejillas

Factor de forma de barras para rejillas β				
Factor	2,42	1,79	1,83	1,035
Forma				
Factor	1,67	0,76	0,92	-
Forma				-

Fuente: (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

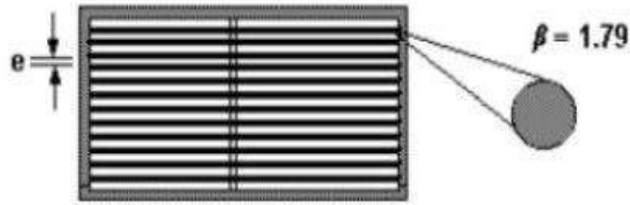


Figura 5-2: Forma de barras para rejas $\beta = 1,79$

Fuente: (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003)

2.4.4. *Tanque de almacenamiento*

Los tanques de almacenamiento se utilizan para líquidos con presiones bajas y son utilizados en distintas industrias, para contener una reserva suficiente temporal de algún producto a ser utilizados posteriormente y/o comercializados.

El almacenamiento constituye un elemento de sumo valor en distintas industrias ya que:

- Actúa como pulmón entre producción y transporte para absorber las variaciones de consumo
- Permite la sedimentación de agua y barros del producto almacenado antes de despacharlo a los siguientes procesos.
- Brindan flexibilidad operativa del proceso productivo (Tirenti, 2016).

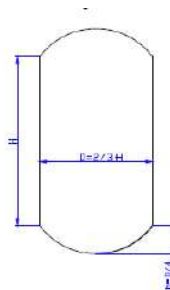


Figura 6-2: Tanque de almacenamiento para líquidos

Fuente: (API-ASME, 2015)

2.4.4.1. Consideraciones de diseño

- Los tanques de almacenamiento de materias primas y productos de la planta, se diseñan según el código API-ASME, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior.
- En nuestro caso para el diseño de tanques de almacenamiento y agitación, se utilizará el código API 650, ya que estas sustancias se almacenarán a presión atmosférica.
- Los tanques cilíndricos verticales de fondo plano nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un coste bajo, con la única limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

2.4.4.1.1. API 650

El código API (American Petroleum Institute), se usa para la elaboración de tanques nuevos las cuales deben ser cilíndricos o verticales, construidos sobre superficie y pueden tener un techo cerrado o abierto. También cubre el material, diseño, fabricación, montaje y pruebas (Tirenti, 2016).

Dentro del alcance de este código están incluidos aquellos tanques en los cuales se almacenan fluidos líquidos y diseñados para soportar una presión de operación atmosférica, menor a 18 kPa, o presiones internas que no excedan el peso del techo, con temperaturas no mayores a 93°C hasta 260°C con ciertas restricciones (Tirenti, 2016).

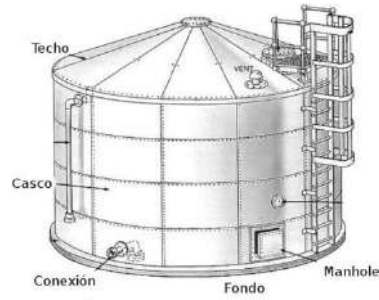


Figura 7-2: Tanque de almacenaje API 650

Fuente: (J2MECH, 2020)

2.4.4.1.2. Sobredimensionamiento de seguridad para el diseño de tanques almacenaje

Para el cumplir con las medidas de seguridad, en todos los casos se sobredimensiona el volumen, la temperatura y la presión, de tal manera que el valor final vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$\beta_D = \beta_T * 1,2$$

Ecuación 22

Dónde:

β = es el parámetro como puede ser la presión (P), temperatura (T) o Volumen (V)

El subíndice D = valor del parámetro de Diseño

T = valor del parámetro teórico

El sobredimensionamiento es del 20% con lo cual el valor teórico se multiplica por 1,2

2.4.4.1.3. Consideraciones para el cálculo del diseño del tanque de almacenamiento

a. Volumen del tanque cilíndrico vertical

- Para calcular el volumen necesario del agua que opera durante las 8 horas diarias, se realiza mediante una conversión de $Q_{\text{diseño}}$ (L/s) obtenido, a m^3/h
- La micro empresa Hilandería, explícitamente opera 4 horas diarias, el volumen total a almacenar se obtiene siguiendo la siguiente expresión:

$$V_t (m^3) = \text{horas que opera} * Q_{\text{diseño}} \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Ecuación 23

- Aplicando un factor de seguridad del 20 % se determina la capacidad total del tanque:

$$V_{\text{diseño tanque}} (m^3) = V_t * 1,2$$

Ecuación 24

Este volumen se reparte entre un cuerpo cilíndrico, una parte superior semiesférica y fondo inferior plano.

- Verificación del volumen del tanque: Es fundamental la verificación para la comparación con el volumen de diseño del tanque, lo cual indicará cuanto tratamiento se implementará a la semana, mes, año (Borja et al., 2016, pp. 4-7).

b. Diámetro del tanque

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_t * a}{\pi * b}}$$

Ecuación 25

Dónde:

D= Diámetro del tanque cilindro vertical

$V_t =$ Volumen del tanque

a = relación geométrica (adimensional) $\rightarrow 1$ por parámetros de diseño (recomendada por los técnicos de la EMAPAG-G)

b = Relación geométrica (adimensional) $\rightarrow 1$ por parámetros de diseño (Valor recomendado por los técnicos de las EMAPA-G)

c. Radio del tanque

$$r = \frac{D}{2}$$

Ecuación 26

Dónde:

r = Radio del tanque (m).

D = Diámetro del tanque (m).

d. Altura del cilindro.

$$h_{cilindro} = \frac{V_T - V_{semiesfera}}{\pi * r^2}$$

Ecuación 27

$$h_{cilindro} = \frac{V_T - \frac{2\pi r^2}{3}}{\pi * r^2}$$

Ecuación 28

Dónde:

h = Altura del cilindro del tanque (m).

v = Volumen del tanque (m^3)

r^2 = Radio del tanque (m).

π = Pi, constante (adimensional).

e. Altura total del tanque

Se calcula la altura total del tanque sumándole la altura de la tapa semiesférica, es decir, el radio de la misma.

$$H_{Total} = h_{cilindro} + h_{tapa}$$

Ecuación 29

Donde:

H_{Total} = Altura total del tanque (m)

$h_{cilindro}$ = Altura del cilindro del tanque (m)

h_{tapa} = altura de la tapa semiesférica (m)

f. Volumen del cilindro

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h$$

Ecuación 30

Dónde:

$V_{cilindro}$ = Volumen del cilindro tanque (m^3)

r^2 = Radio del tanque (m).

h = Altura del cilindro del tanque (m).

π = Pi, constante (adimensional).

g. Volumen de la tapa semiesférica

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

Ecuación 31

Dónde:

V_{Tapa} = Volumen de la tapa del tanque (m^3).

r^3 = Radio del tanque (m).

π = Pi, constante (adimensional).

h. Altura del fluido

La altura del fluido ocupa un 80% de la altura total del tanque, ya que este está sobredimensionado un 20%, se calcula mediante la ecuación:

$$h_{Fluido} = 0,8 * H_{tanque}$$

Ecuación 32

Dónde:

h_{fluido} = Altura del fluido (m)

$H_{\text{Total}} = \text{Altura total del tanque (m)}$

i. Tiempo de retención hidráulico

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

Ecuación 33

Dónde:

Tr = Tiempo de retención hidráulico (h).

V = volumen del tanque de almacenamiento y floculador (m^3).

Q = caudal a tratar (m^3/h).

2.4.5. Tanque agitador (Coagulación y Floculación)

En este tipo de tanque agitador es donde se retiene el agua por un cierto tiempo, hasta que alcance un volumen determinado e inicie el proceso de coagulación-floculación.

La floculación y coagulación son procesos utilizados para eliminar sólidos en suspensión y material coloidal, las cuales son difíciles de sedimentar por su reducido tamaño.

- **Coagulación:** consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica, es decir elimina colides (MARTINEZ et al., 1992, p.177).

- **Floculación:** consiste en la aglomeración de las partículas coloidales desestabilizadas, formando así agregados de mayor tamaño denominados “flóculos”, los cuales se sedimentan por gravedad. Para la formación de flóculos se utilizan productos químicos de naturaleza polimérica, que forman puentes de unión entre los flóculos ya formados, aumentando su volumen y peso para que se puedan decantar (MARTINEZ et al., 1992, p.177).

2.4.5.1. Determinación de la dosis de químicos para la coagulación y floculación

En una planta de tratamiento de aguas como de aguas residuales industriales se utilizan las “pruebas de test de jarras”, para determinar las dosis más convenientes de coagulante o de adyuvante y las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial ideal agua cruda para la filtración directa para un agua problema, durante el control de la coagulación y floculación, fundamentalmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente (MARTINEZ et al., 1992, p.177).

En la prueba de test de jarras influyen factores químicos e hidráulicos como:

- pH
- Temperatura
- Concentración de coagulación
- Secuencia de aplicación de sustancias químicas
- Grado de agitación
- Tiempo de sedimentación



Figura 8-2: Equipo de pruebas de Jarras

Fuente: (Fernández, y otros, 2019)

Tabla 17-2: Tipos de Coagulantes-Floculantes

Coagulantes	Floculantes
<p>Sales de aluminio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sulfato de aluminio, aluminato de sodio, cloruro de aluminio, Policloruro de aluminio (polímero inorgánico de aluminio) 	<p>Polímeros</p> <ul style="list-style-type: none"> - A base de sales de aluminio, de sales de hierro, sintéticos catiónicos, sintéticos aniónicos.
<p>Sales de Hiero (III)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cloruro de hierro (III); Sulfato de hierro (III) y Sulfato ferroso. 	<p>Poli electrolitos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adyuvantes de floculación
	<p>Cal</p>

Fuente: (Fernández, y otros, 2019)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 18-2: Características de algunos coagulantes

Coagulante	Dosis (mg/l)	pH optimo	Aplicaciones
Cal	150 - 500	9 - 11	Eliminación de coloides y de fosforo, en aguas con < alcalinidad y > concentración de fosforo
Al ₂ (SO ₄) ₃	75 - 250	4,5 - 7	

Fuente: (Fernández et al., 2006).

Continuación:

FeCl ₃	35 - 150	4 - 7	Eliminación de coloides y fosforo, en aguas con > alcalinidad y < concentración de fosforo
Polímero catiónico	2 - 5		Eliminación de coloides. Ayudante con coagulantes metálicos.
Polímero aniónico y catiónico	0,25 - 1,0		Ayudante de floculación y sedimentación

Fuente: (Fernández et al., 2006).

El equipo de “pruebas de jarras” posee varios agitadores de paletas acoplados, con una velocidad de agitación variable entre 0 y 100 rpm. En el proceso de pruebas de jarras, lo primero se debe realizar una agitación rápida con un intervalo entre 60 y 100 rpm durante 1 minuto para propiciar la mezcla de los productos químicos que se emplearan, luego se pasa a un mezclado lento durante 15 minutos a 30 rpm para la formación de los flóculos y posteriormente se deja sedimentar la mezcla (MARTINEZ et al., 1992).

Tabla 19-2: Tipos de mezcladores

Mezcladores estáticos	Mezcladores rápidos
Son en la cuales se instalan dispositivos en el interior de una tubería que crean una turbulencia lo suficientemente para permitir la difusión instantánea del coagulante. Cabe mencionar que estos mezcladores son muy eficaces a caudal nominal.	Se trata de un agitador rápido del tipo de hélice o de palas turbina), colocando en una cámara de mezcla especial.

Fuente: (Fernández et al., 2019, pp. 56-60)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

2.4.5.2. Consideraciones de diseño para el tanque de coagulación y para el agitador de 6 paletas del coagulador

El tanque de coagulación es dimensionado mediante las ecuaciones del tanque de almacenamiento.

Para determinar las dimensiones del agitador es necesario utilizar las semejanzas geométricas estandarizadas de un sistema de agitación de tipo de turbina con las diferentes variables optimas, las cuales genera las condiciones necesarias para que se forme el coagulo.

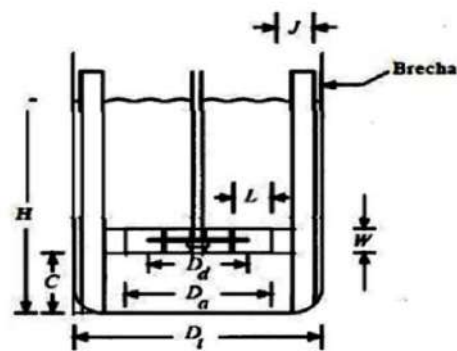


Figura 9-2: Semejanzas geométricas de un sistema de agitación tipo turbina

Fuente: (MARTINEZ, y otros, 1992)

Tabla 20-2: Criterios de diseño del agitador de 6 paletas

Criterios de diseño	
$D_a/4$	0,3-0,5
C/D_t	1/3

Fuente: (MARTINEZ et al., 1992)

Continuación:

W/Da	1/5
Dd/Da	2/3
J/Dt	1/12
H/Dt	1
L/Da	1/4

Fuente: (MARTINEZ et al., 1992)

Tabla 21-2: Parámetros de diseño de mezclador de turbina

Parámetros	Valor
Gradiente de velocidad (s^{-1})	5000 - 1000
Tiempo de retención (h)	1 - 7
Agitación de paletas (rpm)	50 - 100

Fuente:(MARTINEZ et al., 1992)

Tabla 22-2: Parámetros para el diseño de las paletas

CARACTERÍSTICAS	Valor
Tiempo de retención (h).	2 - 6
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de la velocidad hasta el 30% de la velocidad máxima (m/s).	0,45 - 1,00
Agitación de paletas (rpm)	50 - 80
Ancho de la paleta (m).	0,50 - 2

Fuente: (CRITES y TCHOBANOGLIOUS, 2000b, pp. 20-45).

Para el dimensionamiento se emplean las siguientes formulas:

a. Diámetro del agitador

$$\frac{Da}{4} = x$$

Ecuación 34

$$Da = x * 4$$

Ecuación 35

Dónde:

Da = Diámetro del agitador (m).

x = constante-criterios de diseño (Tabla 20-2).

b. Altura del rodete sobre el fondo del tanque

$$\frac{1}{3} = \frac{C}{Dt}$$

Ecuación 36

$$C = \frac{1}{3} * Dt$$

Ecuación 37

Dónde:

Dt = Diámetro del tanque (m).

C = Altura del rodete sobre el fondo del tanque (m).

c. Ancho de las paletas.

$$\frac{1}{5} = \frac{W}{Da}$$

Ecuación 38

$$W = \frac{1}{5} * Da$$

Ecuación 39

Dónde:

Da = Diámetro del agitador (m).

W = Ancho de las paletas (m).

d. Diámetro del sujetador de las paletas

$$\frac{2}{3} = \frac{Dd}{Da}$$

Ecuación 40

$$Dd = \frac{2}{3} * Da$$

Ecuación 41

Dónde:

Dd = Diámetro del sujetador de las paletas (m).

Da = Diámetro del agitador (m).

e. Ancho de las placas deflectoras

$$\frac{1}{12} = \frac{J}{Dt}$$

Ecuación 42

$$J = \frac{1}{12} * Dt$$

Ecuación 43

Dónde:

Dt = Diámetro del tanque (m).

J = Ancho de las paletas deflectoras (m).

f. Longitud de las palas del rodete.

$$\frac{1}{4} = \frac{L}{Da}$$

Ecuación 44

$$L = \frac{1}{4} * Da$$

Ecuación 45

Dónde:

Da = Diámetro del agitador (m)

L = longitud de las paletas del rodete (m).

g. Altura del líquido.

$$\frac{H}{Dt} = 1$$

Ecuación 46

$$H = 1 * Dt$$

Ecuación 47

Dónde:

Dt = Diámetro del tanque (m).

H = Altura del líquido (m).

h. Altura total del tanque

$$h_T = H + \left(\frac{1}{5} * H\right)$$

Ecuación 48

Dónde:

h_T = Altura total del tanque (m).

H = Altura del líquido (m).

i. Potencia del motor para el agitador.

$$P = G^2 V \mu$$

Ecuación 49

Dónde:

P = Potencia del motor (W)

G = Gradiente de velocidad (s^{-1}).

V = Volumen (m^3)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (kg/ms).

Considerando una eficiencia del 80%, se tiene:

$$P_T = \frac{P}{0,80}$$

Ecuación 50

Dónde:

P_T = Potencia del motor (W).

P = Potencia del motor (W).

j. Velocidad de rotación para el agitador

$$N = \left(\frac{P}{k\delta D a^5} \right)^{1/3}$$

Ecuación 51

Dónde:

N = Velocidad de rotación (rev/s)

P = Potencia del motor (kgm²/s³)

k = Constante de agitación (adimensional)

δ = Densidad del líquido (kg/m³) Anexo

Da = Diámetro del agitador (m)

2.4.5.3. Consideraciones de dosificación de químicos en la coagulación y floculación

a. Dosis de PAC diluido (PAC-P25A)

$$D_{PAC} = \frac{V_{tanque} * D_{PAC\ Jarras}}{V_{P.\ Jarras}}$$

Ecuación 52

Dónde:

V_{P. Jarras} = Volumen de referencia de la prueba de jarras (L).

V_{tanque} = Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación (L)

D_{PAC Jarras} = Dosis de PAC óptimo en la prueba de jarras (mL/L).

D_{PAC} = Dosis de PAC para la coagulación (mL)

- Cantidad de PAC en gramos

$$\text{Cantidad de PAC } \left(\frac{g}{\text{dia de tratamiento}} \right) = \frac{0.4 g * D_{PAC} \left(\frac{L}{\text{dia de tratamiento}} \right)}{L}$$

Ecuación 53

b. Dosificación de Auxiliar de la coagulación (Chemfloc N932)

$$D_{Auxiliar} = \frac{V_{tanque} * D_{Auxiliar Jarras}}{V_{P. Jarras}}$$

Ecuación 54

Dónde:

$V_{P. Jarras}$ = Volumen de referencia de la prueba de jarras (L)

V_{tanque} = Volumen del tanque de almacenamiento y coagulación (L)

$D_{Auxiliar Jarras}$ = Dosis de Auxiliar óptimo en la prueba de jarras (mL/L)

$D_{Auxiliar}$ = Dosis de Auxiliar para la coagulación (mL).

- Cantidad del Chemfloc en gramos

$$\text{Cantidad de PAC } \left(\frac{g}{\text{dia de tratamiento}} \right) = \frac{0.2 g * D_{PAC} \left(\frac{L}{\text{dia de tratamiento}} \right)}{L}$$

Ecuación 55

2.4.6. Sedimentación

Es una operación que puede producirse en una o varias etapas y en diferentes momentos de tratamiento de aguas residuales, por el cual se denominan sedimentadores primarios y secundarios.

Los primarios se emplean para la remoción de arenas en unidades de pretratamiento, de sólidos sedimentables, y los secundarios son aquellos que se encuentran al final de un tratamiento secundario como para la salida de flóculos biológicos en sedimentadores de lodo activado y de flóculos químicos formados en el proceso de coagulación con agentes químicos (ROMERO, 2002).

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares y remueven entre 50% y 70% de sólidos suspendido y entre 25% y 40% de DBO₅.

El objetivo es remover rápidamente los residuos sólidos sedimentables y material flotante para así disminuir la concentración de sólidos suspendidos. Cierta proceso reduce la velocidad de flujo del agua, cuando pasa por un estanque, para que los sólidos en suspensión sedimenten de acuerdo a las diferentes densidades (ROMERO, 2002).

2.4.6.1. Tanques de sedimentación

Sedimentadores rectangulares: Es donde la velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suele usar para la separación de partículas densas y grandes (arenas). En este tipo de sedimentador no varían sus propiedades físicas al largo del desplazamiento hacia el fondo del sedimentador. Son equipos pocos profundos el cual varía entre y su principal parámetro es el área horizontal del mismo (METCALF y EDDY, 1995).

Sedimentadores circulares: Son las más implementadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, para lograr una buena remoción de lodos, mediante rastras para tanques con diámetros menores a 15m y para grandes cantidades de lodo se usa succionadores (METCALF y EDDY, 1995).

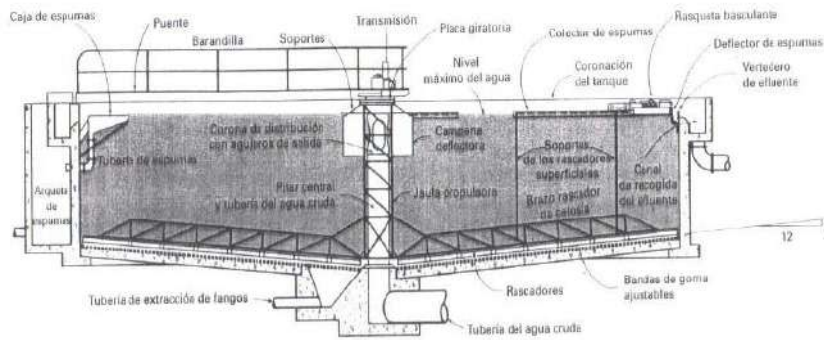


Figura 10-2: Esquema del sedimentador circular

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995,p. 510).

2.4.6.2. Parámetros de diseño del sedimentador

El tamaño de los tanques de sedimentación, el diámetro del sedimentador puede variar entre 5,6 a 6 metros, aunque frecuentemente los hay de 12 a 30 metros.

Tabla 23-2: Estándares de diseño de Sedimentador Primario

Referencia	Carga Superficial (m/d)	Tiempo de retención	Profundidad
Steel & Mc Ghree	24 – 60	1 – 2	1 - 5
Metcalf & Eddy	32 – 48	1,5 – 2,5	3 - 5
USEPA	24 – 49	-	3 - 5

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995) y (ROMERO, 2002).

Tabla 24-2: Parámetros de diseño para sedimentadores en el tratamiento Secundario

Tipo de tratamiento	Carga de superficie m ³ / m ² d		Carga de solidos kg/m ² h		Profundidad m
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados (excepto en la aireación prolongadas)	16-32	41-49	3,90-5,85	9,76	3,6-6
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados con oxigeno	16-32	41-49	4,88-6,83	9,76	3,5-6
Sedimentación a continuación del proceso de aireación prolongada	8-16	24,42-32	0,97-4,88	6,87	3,6-6
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16-24	41-49	2,94-4,88	7,81	3,0-4,5
sedimentación a continuación de biodiacos como efluente secundario o nitrificado.	16-32	41-49	3,90-5,85	9,76	3,0-4,5
	16-24	32-41	2,93-4,88	7,81	3-4,5

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995)

Tabla 25-2: Criterios de diseño de Sedimentadores rectangulares y circulares.

Tipo de sedimentador	Parámetro	Unidad	Intervalo	Valor usual
Rectangular	Profundidad	m	3-4,5	3,6
	Longitud	m	15-90	25-40
	Ancho*	m	3-25	5-10
	Velocidad del barredor	m/s	0,6-1,2	0,9
Circular	Profundidad	m	3-4,5	3,6
	Longitud	m	3-60	12-45
	Pendiente de la solera	mm/m	6,25-16	8
	Velocidad de los rascadores	(r/min)	0,02-0,05	0,03

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995)

2.4.6.3. Consideraciones de diseño del sedimentador

a. Área del tanque sedimentador

Este cálculo está en función del tipo de sedimentación que se requiere decantar, para ser reducidas y asegurar el rendimiento de las instalaciones.

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 56

Despejando se obtiene:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 57

Dónde:

A = área (m²).

Q = caudal (m³/h).

C_s = carga superficial (m³/h).

b. Diámetro del sedimentador

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

Ecuación 58

Despejando se obtiene:

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}}$$

Ecuación 59

Dónde:

A = área (m²)

\emptyset = diámetro (m)

π = 3.1416, constante (adimensional)

c. Radio del Sedimentador

$$A = \pi * r^2$$

Ecuación 60

Despejando se obtiene:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Ecuación 61

Dónde:

A = área (m²)

r = radio (m)

π = 3.1416, constante (adimensional)

d. Ancho del sedimentador

Según (RAS, 2000), se toma en cuenta la relación 1/2 de ancho/largo, para el cálculo de las medidas interiores del sedimentador.

$$A = 2a * a$$

Ecuación 62

$$A = 2a^2$$

Ecuación 63

Despejando se obtiene:

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Ecuación 64

Dónde:

A = área (m²)

a = ancho del sedimentador (m)

e. Largo del sedimentador

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

Ecuación 65

Dónde:

L = largo (m).

A = área (m²).

a = ancho del sedimentador (m).

f. Volumen del sedimentador

$$V = L * a * h$$

Ecuación 66

Dónde:

V = volumen del sedimentador (m³),

L = largo (m)

a = ancho del sedimentador (m).

h = altura (m)

g. El área de la sección transversal

$$A_t = \frac{V}{L}$$

Ecuación 67

Dónde:

A_t = Área sección transversal (m²).

V = volumen (m³).

L = largo (m).

h. Tiempo de retención Hidráulico.

Los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de retención hidráulico entre 1,5 a 2,5 horas para el caudal medio del agua residual, pero si el proceso de decantación primario se requiere de un tiempo de detención de 0.5 a 1 h, porque se produce un proceso biológico.

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 68

Dónde:

T_{rh} = Tiempo de retención (h).

V = Volumen (m³).

Q = Caudal (m³/h).

Tabla 26-2: Tiempo de retención

Decantación Primaria	“Velocidad a caudal máximo”		
	Valor mínimo (h)	Valor medio (h)	Valor máximo (h)
T_{rh} para caudal medio.	1,5	2,0	3,0
T_{rh} para caudal máximo.	1,0	1,5	2,0

Fuente: (METCALF y EDDY, 1995).

i. Velocidad de arrastre

Es de suma importancia en las operaciones de sedimentación, en donde las fuerzas actúan sobre las partículas de sedimentación las cuales son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas.

$$V_A = \left[8k (s - 1)g * \frac{d}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 69

Dónde:

V_A = Velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de las partículas (m/s).

K = constante de cohesión, esta depende del tipo de material arrastrado (0,04; arena uní granular, 0,06: material más aglomerado) para este caso se utilizará 0,05.

s = densidad relativa de las partículas para el cálculo usaremos el valor 1,05

g = aceleración de la gravedad 9,8 m/s².

d = diámetro de las partículas 0,01

f = valores del factor de fricción de Darcy-Weisbach van desde 0,02-0,03, para concreto de utiliza el 0,025.

j. Velocidad horizontal

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 70

Dónde:

V_h = Velocidad horizontal (m/s).

Q = Caudal (m³/s).

A = área (m²).

k. Remoción de la DBO y (SST)

La eficiencia de la remoción de la DBO y los SST (Solidos suspendidos), en tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración del afluente y el determinado tiempo de retención se tiene:

$$R = \frac{T_{rh}}{a + (b * T_{rh})}$$

Ecuación 71

Dónde:

R = porcentaje remoción esperado (%)

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

a + b = constantes empíricas

Tabla 27-2: Constantes empíricas a y b a 20°C

Variable	DBO ₅	SST
a, h	0,018	0,0075
B	0,020	0,014

Fuente: (CRITES y TCHOBANOGLOUS, 2000).

1. Altura máxima

Para el cálculo de la altura máxima, el fondo de la unidad debe tener una pendiente del 5-10% que facilita el escurrimiento del material depositado.

$$H = h + 0,10 h$$

Ecuación 72

Dónde:

H = Altura máxima

h = Altura del tanque sedimentador

m. Altura de reparto y reparto Central

Considerando un 25% del diámetro es el reparto central, se calcula mediante la ecuación.

$$R_{central} = \emptyset * 0.25$$

Ecuación 73

La altura de reparto se toma $\frac{1}{4}$ de la profundidad

$$H_{repartp} = \frac{1}{4} * profundidad$$

Ecuación 74

n. Carga sobre el vertedero de salida

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * \emptyset}$$

Ecuación 75

Dónde:

\emptyset = diámetro (m)

Q = Caudal (m³/s)

o. Altura del agua sobre el coronamiento del vertedero de salida

$$H_v = \left[\frac{Q}{1.84 * 0.75b} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 76

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

b = Ancho del tanque sedimentador (m)

p. Cantidad de lodo a extraer del sedimentador

Para ello se conoce que sólidos en suspensión tipo fijo es 3,0 cm³/m³.

$$V_e = SSF * Q$$

Ecuación 77

Dónde:

Q = caudal (m³/s)

SSF = Dato proporcional.

2.4.7. Lecho fluidizado

Los lechos de secado o eras de secado son depósitos de lodos recogidos del tanque séptico, para estabilizar antes de evacuarlos.

El residuo final, después de estabilizarlos, son aplicables para acondicionamiento de suelos o también ser trasladados a un vertedero controlados.

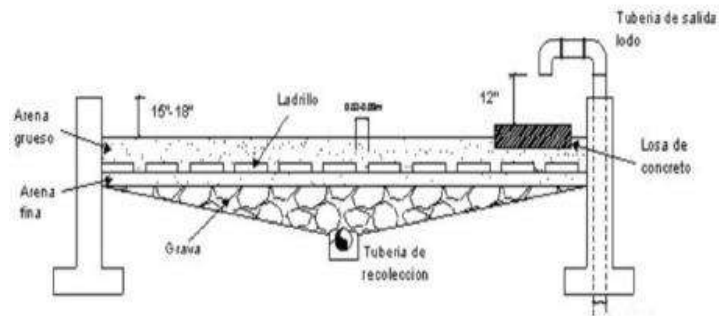


Figura 11-2: Esquema del Lecho de secado

Fuente: (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

Tabla 28-2: Ventajas y desventajas del lecho de secado

Ventajas	Desventajas
No necesita operación especializada	Requiere espacios grandes
Visible al público	Consumo bajo de energía
Poco sensible a cambios en las características del lodo.	Sensible a cambios de clima.
Contenido alto de sólidos en los lodos.	Requiere gran mano de obra para la remoción de residuos.

Fuente: (ROMERO, 2002).

2.4.7.1. Consideraciones de diseño del lecho de secado

- Pueden ser hechos de concreto o tierra.
- Su ancho puede variar de 3 a 6m, aunque para instalaciones grandes puede ser de 10 m.
- El medio de soporte tendrá una capa de ladrillos que son separados entre 2-3 cm con un espesor de 15 cm.
- La arena servirá de medio filtrante, tendrá un tamaño de 0,3 a 1,3mm.
- No requiere de adición de productos químicos ni una supervisión.
- Es recomendable haber dos o más lechos de secado, para una mejor eficiencia (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

Tabla 29-2: Criterios de diseño de lecho de secado

Parámetro	Rango	Unidad
Profundidad total útil	40 - 60	cm
Ancho del lecho	3 - 6	m
Medio de drenaje	0,30 espesor	m
Porcentaje de solidos presentes en el lodo.	8 - 12	%
*Diámetro de tuberías de drenaje	No < 100	mm
*Pendiente	No < 1	%
*Canales laterales de alimentación de las tuberías principales.	Espaciamiento 2,5 - 3	m
*Medio de soporte	Capa 15	cm
*Arena	Tamaño 0,3 - 1,3	mm
*Grava	Entre 51 - 200	mm

Fuente: (OPS/CEPIS/05.158, 2005); (RAS, 2000).

Tabla 30-2: Tiempo de digestión del diseño del secado

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
10	76
15	55
20	40
Mayo a 25	30

Fuente: (OPS/CEPIS/05.158, 2005)

Para el dimensionamiento del lecho de secado, se emplean las siguientes ecuaciones:

a. Carga de solidos

$$C = Q * SS$$

Ecuación 78

Dónde:

C = Carga de solidos (kg/día).

Q = Caudal (L/s).

SS = Solidos suspendidos (mg/L).

b. Masa de solidos suspendidos que conforman los lodos

$$M_{sd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

Ecuación 79

Dónde:

M_{sd} = Masa de solidos que conforman los lodos (kg/día).

C = Carga de solidos (kg/día).

c. Volumen diario de lodos digeridos

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodos} \left(\frac{\% \text{ solidos}}{100\%} \right)}$$

Ecuación 80

Dónde:

V_{ld} = volumen diario lodos dirigidos (L/día)

M_{sd} = Masa de solidos que conforman los lodos (kg/día).

ρ_{lodos} = Densidad del lodo (1.04 kg/L).

% solidos = porcentaje de solidos (%)

d. Volumen de lodos a extraerse

$$V_{le} = \frac{V_{ld} * T_r}{1000}$$

Ecuación 81

Dónde:

V_{le} = volumen de lodos a extraerse (L)

T_r = Tiempo requerido para la digestión de lodos (días).

e. Volumen de lodos

$$V_L = C_p * Q$$

Ecuación 82

Dónde:

V_L = Volumen de lodos (m³/día)

Q = Caudal (L/s)

C_p = Cantidad de precipitado (mL/L)

f. Área de lecho de secado

$$A_{ls} = \frac{V_{le} T}{H_A}$$

Ecuación 83

Dónde:

A_{ls} = Área del lecho de secado (m²)

V_{leT} = volumen de lodos a extraerse tanto del sedimentador como del lecho de secado(m^3)

H_A = Profundidad (m)

g. Área individual de lecho de secado

$$A_{ls\ ind.} = \frac{A_{ls}}{n^{\circ} lechos}$$

Ecuación 84

Dónde:

$A_{ls\ ind.}$ = Área del lecho de secado individual (m^2).

A_{ls} = Área del lecho de secado (m^2).

n° lechos = número de lechos (unidades).

h. Longitud de los lechos de secado

$$L_{ls} = \frac{A_{ls\ ind.}}{b}$$

Ecuación 85

Dónde:

L_{ls} = Longitud de los lechos de secado (m).

$A_{ls\ ind.}$ = Área del lecho de secado individual (m^2).

b = Ancho de los lechos de secado (m).

i. Volumen del tanque

$$V_T = L_{ls} * b_l * H_l$$

Ecuación 86

Dónde:

V_T = Volumen del tanque (m³)

L_{ls} = longitud de los lechos de secado (m)

b_l = ancho del lecho (m)

H_l = altura de lecho(m), se considera la altura de las gravas, la arena y l altura de seguridad.

2.4.8. Filtración

La filtración es una operación de tratamiento físico y biológico, en donde se traspasa el agua a través de un medio poroso, con el fin de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión y microorganismo objetables, y eliminar la materia en suspensión que no se ha eliminado en anteriores operaciones (sedimentación) y mejora la eficacia y depuración del agua (VALDIVIEZO, 2014, pp. 67-70).

La arena y el carbón activado es el medio más eficiente para la filtración para remover sólidos, materia orgánica, colorantes y olores, como químicos.

- **Mecanismo físico:** transporte de partículas dentro de los poros (cernidos, difusión, sedimentación entre otros transportes)
- **Mecanismos química:** Adherencia a ellas a granos de medio filtrante (fuerzas de Van der Waals, puente químico) (Fernández et al., 2006).

2.4.8.1. Clasificación del sistema de filtración

Filtración por gravedad: El agua circula verticalmente y en descenso a través del filtro por simple gravedad y opera por dos formas por filtración lenta o rápida. El mecanismo de la separación de sólidos es una combinación de asentamiento, retención, adhesión y atracción, por lo que se eliminan partículas mucho menores que el espacio intersticial (VALDIVIEZO, 2014, pp. 67-70).

Filtración por presión: El agua contenida en recipientes se ve forzada a atravesar el medio filtrante sometida a presión, esta ópera de forma lenta por mecanismos físicos-biológicos y la rápida se da por la filtración en profundidad. La filtración se puede realizarse de dos maneras como anteriormente se indica lenta y rápida (VALDIVIEZO, 2014, pp. 67-70)

Se cuenta con cuatro tipos de lechos:

- Lechos de arena sola
- Lechos mixtos de arena y antracita
- Lechos de antracita sola
- Lechos de carbón activado granular.

Tabla 31-2: Criterios de diseño de tipos de filtros

Tipo de filtros	Velocidad de filtración	Medio filtrante usado	Sentido de flujo	Carga sobre el lecho
Lentos	2-10 m ³ /m ² d	Arena	Ascendente	Por gravedad
			Descendente	

Fuente: (VALDIVIEZO, 2014)

Continuación:

Rápidos	120-360 m ³ /m ² d	Lecho simple		
		Arena	Ascendente	Por gravedad
		Antracita	Descendente	Por presión
Rápidos	240-480 m ³ /m ² d	Lecho Mixto		
		Lecho doble		
		Arena	Ascendente	Por gravedad
		Antracita	Descendente	Por presión

Fuente: (VALDIVIEZO, 2014)

2.4.8.2. Filtro anaeróbico lento de arena

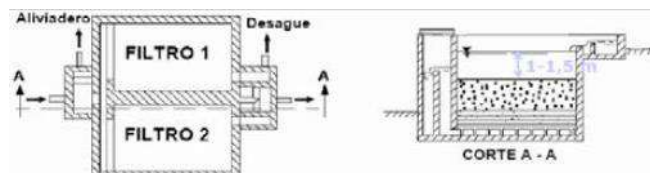


Figura 12-2: Filtro lento de arena

Fuente: (VALDIVIEZO, 2014)

El filtro anaeróbico, tiene una estructura donde está conformada por un tanque, esta relleno con un medio sólido para el soporte del crecimiento biológico anaerobio, donde las bacterias se quedan retenidas, el agua residual se pone en contacto con el medio sólido bacteriano. Esto indica

la eficacia de desnitrificar efluentes, y son usados como pretratamiento en plantas de purificación de agua (CRITES, 2000).

La Filtración lenta de arena son técnicas de depuración de aguas superficiales para remover organismos patógenos del agua cruda un 99,9% estos a través de una capa de arena fina que tiene un diámetro de 0,3-1,0 mm y una altura de 50-70 cm, mediante estos filtros también se puede remover metales pesados por mecanismos de tamizado y adsorción. No requiere de adición de productos químicos ni una supervisión.

2.4.8.3. Objetivos de las partes de los filtros

El diseño del presente filtro estará formado de dos filtros, el primero contendrá arena y grava, mientras que el segundo estará conformado por carbón activado o antracita.

- **Agua sobrenadante en el filtro:** Es un almacenamiento de agua cruda durante horas, en aquel tiempo se produce la sedimentación aglomeración de las partículas y oxidación del agua, también es la cantidad de agua que actúa como peso para vencer la resistencia y controlar la velocidad de filtrado, y finalmente para que no quede sin agua de entrada (Rojas, 2004, pp. 130-139).
- **Lecho del medio filtrante:** La arena se va a encargar de filtrar el agua que se quiere tratar, cierta arena tiene que estar limpia para evitar que contenga cantidades de arcilla, lodos o materia orgánica apreciable. Para una mejor calidad de agua en la salida podemos añadir unos 0,10 m de carbón activado o antracita en la base del lecho de arena; y si necesitamos aumentar el pH es necesario colocar una capa de conchas trituradas (Rojas, 2004, pp. 130-139).

- **Caja de filtro:** La forma de la caja es rectangular, para su construcción del piso se usa hormigón y ladrillos, y para las paredes se usa piedras u hormigón; cuyas paredes deben ser impermeables para evitar las pérdidas de agua tratada como también la entrada de agua no tratada y perjudicar la calidad del agua tratada (Rojas, 2004, pp. 130-139).
- **Sistema drenaje:** Cuyo objetivo es un soporte físico al lecho de arena y una salida con poca resistencia al agua tratada (Rojas, 2004, pp. 130-139).
- **Cámara de salida:** Esta consta de dos secciones donde la parte superior contiene un vertedero con rebosadero por encima de la parte superior de lecho de arena (10-15cm). Cuyo vertedero previene una presión inferior a la atmosférica en el lecho filtrante (Rojas, 2004, pp. 130-139).

Tabla 32-2: Criterios de diseño para el filtro anaeróbico

Parámetro	Rango	Unidad
Profundidad útil	No menor a 1.80	m
*Profundidad media soporte.	No menor a 1.2	m
*Volumen útil mínimo.	No menor a 1,25	m ³
*Ancho	0,85 - 5,40	m
*Salida del efluente	No menor a 30 sobre el lecho	cm

Fuente: (RAS, 2000).

Continuación:

Tiempo de retención	24 - 48	h
Carga orgánica	1 - 30	Kg DQO/m ³ d
Velocidad del flujo	< 10	m/día
Edad de lodos	0,5 - 5	día
Distancia entre orificios de entrada.	1 - 2	m

Fuente: (RAS, 2000).

Tabla 33-2: Criterios de diseño del sistema de drenaje del filtro

Parámetro	Valor	Unidad
Separación de laterales	1 - 2	m
Díámetros de orificios	6,5 - 15,8	m
Espacio de los orificios	7,5 - 25	cm
Altura entre el tubo y fondo del filtro.	3,5	cm

Fuente: (Rojas, 2004).

2.4.8.4. Consideraciones del dimensionamiento del filtro anaeróbico.

a. Volumen del filtro

$$V_f = Q * T_r$$

Ecuación 87

Dónde:

V_f = Volumen del filtro (m^3),

Q = Caudal de diseño ($m^3/día$).

T_r = Tiempo de retención hidráulica (día).

b. Área horizontal del filtro

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

Ecuación 88

Dónde:

A_f = Área horizontal del filtro (m^2)

V_f = Volumen del filtro (m^3).

H_u = Profundidad útil del filtro (m).

c. Longitud del filtro

$$L = \frac{A_f}{b}$$

Ecuación 89

Dónde:

L = Longitud del filtro (m)

A_f = Área horizontal del filtro (m²).

b = Ancho del filtro (m).

d. Altura total de la cámara

$$H_{Tf} = H_u + 0.30$$

Ecuación 90

Dónde:

H_{Tf} = Altura total de la cámara (m).

H_u = Profundidad útil del filtro (m).

e. Tiempo de retención Hidráulico del filtro

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 91

Dónde:

T_{rh} = tiempo de retención (día, s)

V = Volumen (m³)

Q = caudal (m³/d)

f. Longitud total de la pared

$$L_{Tp} = (2 * b * N_f) + L * (N_f + 1)$$

Ecuación 92

Dónde:

L_{Tp} = Longitud total de la pared (m)

b = ancho de cada unidad (m²)

N_f = Numero de filtros requeridos

L = Longitud de cada filtro (m)

Para el dimensionamiento del sistema de drenaje del filtro

g. Área de cada orificio

$$A_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Ecuación 93

Dónde:

A_o = Área de cada orificio (m²)

D = Diámetro de orificios laterales (mm)

h. Caudal que ingresa cada orificio

$$Q_o = A_o * v_o$$

Ecuación 94

Dónde:

Q_o = Caudal que ingresa a cada orificio (m^3/s)

A_o = Área de cada orificio (m^2)

v_o = velocidad en el orificio (m/s)

i. Numero de laterales

$$\# lt = n * \frac{L_{Tp}}{S_l}$$

Ecuación 95

Dónde:

$\# lt$ = número de laterales.

n = número de laterales por lado.

L_{Tp} = Longitud total de la pared (m).

S_l = Separación entre laterales.

j. Separación entre orificios

$$\frac{\# orificios}{\# laterales} = 2 * \frac{L/2}{e}$$

Ecuación 96

Dónde:

L = Longitud del filtro (m)

e = espacio entre orificios (m)

k. Número total de orificios

$$\# \text{ total de orificios} = \# \text{ lt} - \frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}}$$

Ecuación 97

Dónde:

lt = número de laterales

l. Área total de orificios

$$A_{To} = A_o * \# \text{ total de orificios}$$

Ecuación 98

Dónde:

A_{To} = área total de orificios (m²)

A_O = Área de cada orificio (m²)

m. Comprobación de cumplimiento de los parámetros (0.0015-0.005)

$$\frac{A_{To}}{A_f}$$

Ecuación 99

Dónde:

A_{To} = área total de orificios (m^2)

A_f = Área horizontal del filtro (m^2)

2.4.9. Desinfección

La función de la desinfección es destruir cualquier organismo patógeno como bacterias, protozoos, virus y nemátodos, que sobreviven al proceso de tratamiento, con el fin de proteger la salud de los habitantes (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003).

Los objetivos de la cloración son:

- Desinfección
- Reducción de DBO_5
- Eliminación o reducción de colores y olores.
- Oxidación de los iones metálicos.

El cloro puede aplicarse al agua en forma gaseosa CL_2 o como un producto ionizado de sólidos: hipoclorito de calcio $Ca (ClO)_2$ e hipoclorito de sodio (NaOCl).

El hipoclorito de calcio tiene un tiempo de almacenamiento de 3 a 6 meses, este compuesto en aguas residuales no debe ser mayor a 20 mg/L de cloro libre porque afecta a la vida acuática.

El cloro se emplea en plantas de tratamiento medianas y grandes, el hipoclorito en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues es más sencillo de manejar, la capacidad del agua para disolver

cloro es en función de su temperatura, a mayor temperatura menor solubilidad. La eficiencia de remoción de patógenos es del 100% (RAS, 2000):70-90.

2.4.9.1. Parámetros de diseño del tanque de desinfección.

Para la desinfección de pequeños volúmenes de agua a tratar se utiliza hipocloritos por su menor costo. Los hipocloritos se aplican al agua por medio de bombas pequeñas en forma líquida. La cloración excesiva del agua residual puede tener impactos ambientales adversos (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003).

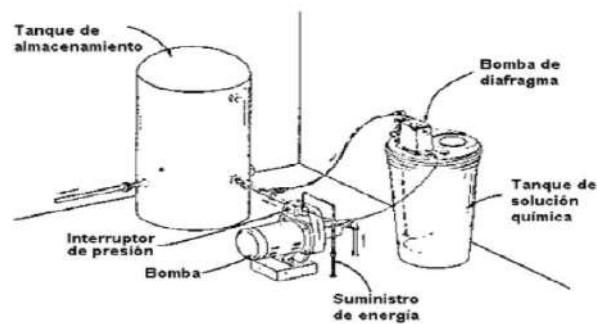


Figura 13-2: Dosificación del Hipoclorito

Fuente: (VALDEZ y VÁZQUEZ, 2003)

Tabla 34-2: Parámetros de dosificación de hipoclorito para Aguas Residuales

Referencia	Dosis de cloro (mg/L)	Tiempo contacto (minutos)
Metcalf & Eddy	3 - 5	30
Tchonobanoglous & Schoreder	3 - 8	30

Henry Glynn y Gary Heinke	6 - 9	30 - 45
Ramalho (pre - cloración)	6 - 25	30

Fuente: (HEINK, 1990, pp. 140-441-485)

Tabla 35-2: Criterios para el almacenamiento de productos desinfectantes

Producto	Tiempo de almacenar (meses)	Dosis (mg/L)		Concentración de la solución
		Mínima	Máxima	
Cloro en cilindros a presión (Cl)	3 - 6	1	3	3500
Hipoclorito de calcio (Ca (ClO) ₂)	3 - 6	1,4	4,3	10000-50000
Hipoclorito de sodio (NaClO)	> 1 mes	1,7	23,1	10000-50000

Fuente: (Araya, 2000, p.235)

2.4.9.2. Consideraciones de diseño de desinfección

a. Volumen del tanque de desinfección

$$V = Q * Tr$$

Ecuación 100

Dónde:

V = Volumen del tanque (m³).

Q = Caudal (m³/s).

Tr = Tiempo de retención (s)

b. Altura del tanque

$$A_t = \frac{V}{L * a}$$

Ecuación 101

Dónde:

At = Altura del tanque (m).

V = Volumen del tanque (m³).

a = Ancho del tanque (m).

L = Largo del tanque (m).

c. Altura total del tanque

$$A_T = A_t * A_s$$

Ecuación 102

Dónde:

A_T = Altura total del tanque (m).

A_t = Altura del tanque (m).

A_s = Altura de seguridad del tanque (m)

Dosificación del desinfectante

d. Dosis-masa del desinfectante para la preparación la solución madre.

$$D_{Cl} = 0.012 * Q * C$$

Ecuación 103

Dónde:

D_{Cl} = Dosis del desinfectante (g/día)

Q = Caudal (gal/min)

C = concentración de hipoclorito (mg/L)

e. Volumen de agua para diluir el desinfectante, para preparar la solución madre.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Ecuación 104

Dónde:

V = Volumen de agua para preparar la solución madre (L)

m = Masa del desinfectante (g)

ρ = densidad del desinfectante (g/L)

f. Volumen de la solución madre

$$V_1 = \frac{V * 65\%}{8,5\%}$$

Ecuación 105

Dónde:

V_1 = Volumen de la solución madre (L).

V = Volumen de agua para preparar la solución madre (L).

g. Volumen de agua requerida para diluir la solución madre.

$$V_2 = \frac{C_1 * V_1}{C_2}$$

Ecuación 106

Dónde:

V_2 = Volumen de agua requerida para preparar la solución madre (L).

V_1 = Volumen de la solución madre (L).

C_1 = Concentración de desinfectante (mg/L), recomendado.

C_2 = Concentración de desinfectante (mg/L), especificación técnica.

h. Volumen total de la solución

$$V_T = V + V_2$$

Dónde:

V = Volumen de agua para preparar la solución madre (L)

V₂ = Volumen de la solución madre (L)

i. Goteo de la solución en el tanque de desinfección

$$G_s = \frac{V_T}{T}$$

Dónde:

G_s = goteo de solución

V_T = volumen total de la solución (L)

T = tiempo 1 día (horas de producción).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

En este proyecto técnico se utilizó método inductivo, deductivo y experimental, lo cual facilitara el estudio y desarrollo de un sistema de tratamiento.

3.1.1. *Método inductivo*

Mediante dicho método se analizarán los problemas ocasionados por los efluentes de la descarga de las aguas residuales industriales de la microempresa Hilandería salinas y se buscarán las soluciones y las alternativas que se ajusten a lo que los investigadores y autores de literatura han propuesto

Por este método también se reconoce el lugar de recolección y descarga del agua residual industrial, donde se toman las muestras y el caudal, con el objetivo de conocer el grado de contaminación del agua residual a tratar, que es el punto de partida para la elección correcta del tratamiento de la misma.

3.1.2. *Método deductivo*

Se partirá de conocimientos generales y actualizados, para encontrar soluciones al problema que produce la contaminación de estas aguas residuales industriales de la microempresa Hilandería salinas, hacia el entorno y sectores río abajo. Los análisis físico-químicos y microbiológicos de estos afluentes serán tabulados, analizados y posteriormente se realiza los debidos cálculos de Ingeniería para el dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, y cuyo objetivo es asegurar que los parámetros establecidos en el TULSMA estén dentro del rango permitido, para que el efluente sea reutilizado en diferentes fines como la agricultura, ganadería, entre otras.

3.1.3. Método experimental

Los métodos experimentales se emplearon para realizar la toma de muestras, análisis físico-químicos y microbiológicos del agua residual industrial, las pruebas de tratabilidad y para conocer las medidas exactas de las sustancias coagulantes y floculantes mediante la prueba de test de jarras, luego se diseñó un sistema de tratamiento con sus respectivos procesos de operaciones unitarias óptimos, a partir de datos recolectados en la experimentación.

3.2. Localización y características del área del proyecto “Microempresa Hilandería Salinas”

3.2.1. Localización del área de estudio

El presente proyecto técnico será realizado en la parroquia Salinas perteneciente al cantón Guaranda de la provincia Bolívar, misma que está ubicada a 20 Km de Guaranda y su carretera es asfaltada. Limita al Norte con las Parroquias de Simiatug y Facundo Vela, al Sur con la Ciudad de Guaranda, al Este con las Provincias de Tungurahua y Chimborazo y al Oeste con la Parroquia San Luis de Pambil y el Cantón Echeandía (Guaranda, 2020).

Tabla 1-3: Coordenadas de Salinas de Guaranda

Superficie	490 km2
Altitud	3500 m.s.n.m.
Clima	Temperatura oscila entre 6-10°C

Fuente: (Guaranda, 2020)



Figura 1-3: Localización de la microempresa-Hilandería

Fuente: (Google-Maps, 2020).

La Microempresa Hilandería Salinas se encuentra ubicada al noreste de la parroquia Salinas, en las coordenadas 9844707.00 m s - 720785.00 m E de la zona 17 M, esta empresa tiene todos los servicios básicos y es de fácil accesibilidad (Guaranda, 2020).

3.2.2. Características de la hilandería

Para la ejecución de este proyecto se requiere información sobre la materia prima, productos de lavado y teñido, datos de índice de producción, determinación del caudal de agua residual industrial generada, muestreo y caracterización físico – químico y bacteriológico del agua, variables que permitirán establecer el tipo de diseño que se propondrá.

3.2.2.1. Materia prima de la hilandería Salinas

La materia prima procede de asociaciones y entregas particulares de los moradores de las comunidades dedicados a la crianza y a cuidado de ovejas y alpacas en su entorno.

En el proceso de transformación de las fibras de lana, utilizan gran variedad de productos químicos como en el proceso de lavado y teñido usan elevadas concentraciones de colorantes para complementar con los colores naturales, con fin de obtener materiales de mejor calidad como hilos de fibras naturales, así como una mezcla de lana y acrílico en presentaciones de ovillo y madeja, y obtención de sacos, bufandas, gorros, guantes, ponchos y cobijas de diferentes diseños. (Textiles, 2018).

3.2.2.2. Productos químicos de lavados y teñidos de la Hilandería Salinas

Ciertos productos de los procesos para la obtención de los diferentes materiales conllevan a que descarguen aguas industriales tóxicas.

Entre algunos productos usados en la industria textil son:

- **Ácidos**

Son empleados para regular el pH de los lavados para determinados procesos de preparación, teñidos, estampado y acabado. Existen ácidos débiles y fuertes. Los ácidos sulfúricos, clorhídrico y nitritos son muy fuertes, corrosivos y agresivos; y los ácidos acético, fórmico y oxálico son más débiles.

- **Álcalis**

Se emplean en recetas de descruce, blanqueo y teñido. Existen álcalis fuertes y agresivos como soda acústica y álcalis débiles como carbonato sódico y amoniaco.

- **Sales**

Son usados en los procesos de tintura como electrolitos. Algunas sales empleadas son: Sulfato de cobre y sodio, cloruro de sodio, sulfato de amonio.

- **Agentes oxidantes y reductores**

Son los compuestos orgánicos capaces de colorear los sustratos textiles o no textiles, de forma que el color sea resistente a la luz y a tratamientos húmedos.

- **Colorantes:** Son solubles en el agua; en la tintura estos son absorbidos y difunden hacia el interior de la fibra. Los colorantes son clasificados por su estructura química y su aplicación (Rodríguez, 2018).

Tabla 2-3: Productos químicos de lavado y teñido

Productos	Uso
Emulson BV	Blanqueador
NOVALEV AC.	Agente de Igualación
MANGACID LAN	Regulador de pH
Buffertex Acido	Neutralizador
Alkatex	Detergente
Secuestrante	Inhibidor
Peróxido	Blanqueador
Hidrosulfito	Blanqueador
Violeta Ac. S4B200% Requitex	Colorante
Rosado Ac. B 400%	Colorante
Negro Ac. ATT 130%	Colorante
Negro Directo	Colorante
Amarillo Ac. M.R 150%	Colorante
Amarillo Ac. MT	Colorante

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de la micro empresa Hilandería Salinas

Continuación:

Amarillo Ac. 2G 200%	Colorante
Naranja Ac. 2R	Colorante
Azul marino Ac. 5R 120%	Colorante
Azul marino Ac. A2BL 200%	Colorante
Rojo NB	Colorante
Rojo Directo	Colorante
Rojo Ac.88 J.M	Colorante
Rojo Ac. B 125%	Colorante
Rubí 5BLF 200%	Colorante
Turquesa A	Colorante
Negro M. R	Colorante
Azul Directo BRL	Colorante
Pardo Acido ESG	Colorante
Pardo Directo	Colorante
Verde Ac. N 3BL 170% + GS	Colorante

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de la micro empresa Hilandería Salinas

3.2.2.3. Datos de Producción de la Hilandería Salinas

Los datos de la producción diaria, semanal, mensual y de años anteriores fueron suministrados por el auxiliar contable de la microempresa hilandería Salinas, mediante los cuales se tendrá un promedio aproximado del índice de aumento de la producción y el mismo que servirá para determinar la proyección a futuro de la producción.

Datos de la producción anual fueron proveídos por la microempresa Hilandería, siendo los siguientes:

Tabla 3-3: Producción del Año 2019

Producción 2019 (lb)	
Enero	16003
Febrero	15102
Marzo	14202
Abril	12105
Mayo	14205
Junio	15199
Julio	14006
Agosto	14221

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de

la micro empresa Hilandería Salinas

Continuación:

Septiembre	15154
Octubre	14001
Noviembre	15141
Diciembre	15098
Total	174437

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de
la micro empresa Hilandería Salinas

Tabla 4-3: Producción del Año 2020

Producción 2020 (lb)	
Enero	8001,5
Febrero	7551
Marzo	7101
Abril	6052,5
Mayo	7102,5

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de
la micro empresa Hilandería Salinas

Continuación:

Junio	7599,5
Julio	7003
Agosto	7110,5
Septiembre	7577
Octubre	7000,5
Noviembre	7570,5
Diciembre	7549
Total	87218,5

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de

la micro empresa Hilandería Salinas

Tabla 5-3: Producciones anuales

Año	Producción
2016	131150
2017	145579

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de

la micro empresa Hilandería Salinas

Continuación:

2018	160008
2019	174437
2020	87218,5

Fuente: Ruiz, A.; Auxiliar contable y Financiera de
la micro empresa Hilandería Salinas

3.3. Muestreo

Para el muestreo se elaboró una planificación para la toma de la muestra, tomando como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras.

3.3.1. Plan de muestreo

El muestreo se realizó a 40 metros de la hilandería en un canal que recoge toda la descarga del efluente.

Se tomaron 5 muestras simples en el mes de enero 2021 respectivamente, también se realizó 2 muestras compuestas por mes. En el lugar se analizó varios parámetros físicos como el pH, sólidos totales disueltos, temperatura y turbiedad.

Todas las muestras fueron trasladadas al laboratorio de control de calidad de la E.P-EMAPA-G para realizar el análisis físico-químico y microbiológico.

3.3.2. Sistema de toma de muestras

Etiquetado: Dicho etiquetado se lo realizó a cada una de las muestras en el que se registró: número de muestra, nombre del responsable, la fecha, hora y lugar del proceso donde se tomó la muestra. Así también como el pH y temperatura del agua.

Tipos de envase de toma de muestras: Los envases que se usaron son recipientes de vidrio color ámbar de 1 L o de plástico (polietileno, propileno) con capacidad para 6 L, los envases fueron enjuagados varias veces con la muestra que se toma. Las muestras se transportaron en un cooler portátil hasta el laboratorio, para su conservación y realizar sus respectivos análisis de los parámetros destinados para aguas residuales industriales.

3.4. Determinación del caudal

Para determinar el caudal se obtiene información del tiempo de mayor generación de agua en la producción, ya que el caudal generado en la hilandería no es constante y depende de la producción diaria, para lo cual se utilizó el método de aforo volumétrico, el mismo que consiste en la medición del volumen de llenado de un recipiente en un período de tiempo, el cual se mide mediante un cronometro (Piragüero, 2014, pp. 4-8).

El aforo se realizó en un canal de desagüe a 100 metros de la microempresa hilandería salinas, durante los meses de diciembre 2020 y enero del 2021, en un horario de tiempo de mayor generación de agua comprendido entre las 09:30 y 10:30 horas. Con los datos diarios obtenidos se determinó el caudal promedio de agua residual industrial generada en los procesos de producción.

3.5. Caracterización físico-química y microbiológico del agua residual industrial

La caracterización de agua residual industrial fue realizada en el Laboratorio de control de calidad de la E.P. EMAPA-G, para ello se basó en las técnicas y procedimientos del manual de Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residual y en el manual de métodos HACH, utilizando equipos HACH pertenecientes al laboratorio AQUALAB y laboratorio de control de calidad de la E.P-EMAPA-G. Los parámetros como el pH y la Temperatura se midieron in situ.

Los parámetros, métodos y equipos empleados se especifican en la tabla 6-3.

Tabla 6-3: Métodos de caracterización de agua residual industrial

Parámetro	Método y reactivos	Equipo
Color	Cobalto platino	Colorímetro
Turbiedad	APHA/AWWA/Standard Method 2130 Señal de dispersión de luz (90°) nefelométrica primaria y una señal de dispersión de luz transmitida	Turbidímetro 2100P HACH
pH	APHA/AWWA/Standard Method 8156 Medidor de electrodo de pH	pH meter Sension 1 HACH
Sólidos Totales Disueltos	APHA/AWWA/Standard Method 8160 Medición Directa	Conductivity Sension 5 HACH
Conductividad	APHA/AWWA/Standard Method 8160 Medición Directa	

Fuente: (Standard-Methods, 2005), Departamento Control de calidad E.P-EMAPA-G.

Continuación:

Aluminio	APHA/AWWA/Standard Method 8020 - Aluminón	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
Fluoruro	APHA/AWWA/Standard Method 8029	
Manganeso	APHA/AWWA/Standard Method 8149-PAN	
Bario	APHA/AWWA/Standard Method 8014- Turbidimetric	
Cobalto	APHA/AWWA/Standard Method 8078-1- (2 piridilazo)-2-naftol (PAN)	
Cromo total	APHA/AWWA/Standard Method 8024	
Hierro	APHA/AWWA/Standard Method 8008- FerroVer	
Molibdeno	APHA/AWWA/Standard Method 8036- acido mercaptoacético	
Bromo	APHA/AWWA/Standard Method 8167- DPD	
Cloruros	APHA/AWWA/Standard Method 8113-Tiocianato Mercúrico	
Cobre	APHA/AWWA/Standard Method 8506- Bicinchoninato	
Cromo Total	APHA/AWWA/Standard Method 8024- Oxidación alcalina por hipobromito.	

Fuente: (Standard-Methods, 2005), Departamento Control de calidad E.P-EMAPA-G.

Continuación:

Fosfatos	APHA/AWWA/Standard Method 8048- Ácido ascórbico PhosVer 3	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
DQO	APHA/AWWA/Standard Method 985027- Dicromato de potasio	
Nitrógeno amoniacal	APHA/AWWA/Standard Method 8155- Salicilato	
Fluoruros	APHA/AWWA/Standard Method 8029- SPANDS	
Sulfatos	APHA/AWWA/Standard Method 8051- SulaVer 4	
Níquel	APHA/AWWA/Standard Method 8150-1- (2 piridilazo)-2-naftol (PAN)	
Plata	APHA/AWWA/Standard Method 0491- Silver 4	Fotómetro PF -12
Zinc	APHA/AWWA/Standard Method 19	
Plomo	APHA/AWWA/Standard Method 0091- Blei 5	
Cianuro	APHA/AWWA/Standard Method 0311- Cyanid 08	
DBO₅	APHA/AWWA/Standard Method 985822- Wilker	
Oxígeno disuelto	APHA/AWWA/Standard Method 082- Sauerstoff 12	
Coliformes totales	APHA/AWWA/Standard Method 9222 Filtración de Membrana 0,45.	Filtración al vacío
Coliformes fecales		

Fuente: (Standard-Methods, 2005), Departamento Control de calidad E.P-EMAPA-G.

Los materiales y sustancias empleados, se especifican en la tabla 7-3.

Tabla 7-3: Materiales para la caracterización de agua residual industrial

Uso	Materiales	Sustancias
Caracterización de agua residual industrial	Libreta de campo	Agua desionizada
	Esferográfico con tinta indeleble	Muestra del agua a tratar (efluente)
	Mandil	-
	Mascarilla	-
	Guantes	-
	Probetas	-
	Balón de aforo 250 ml	-
	Pera de succión	-
	Pipetas 10 ml y 5 ml	-
	Vaso de precipitación	-
	Piseta	-
	Pat absorbente	-
	Cubetas del espectrofotómetro	-

Una vez culminada la caracterización físico-química y bacteriológica, se identifica los valores que no cumplen con los límites permisibles estipulados en la Tabla 9 del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial No. 097 A. (Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua del Libro VI del TULSMA), que establece los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

3.6. Índice de biodegradabilidad

Mediante dicho índice de biodegradabilidad que es la relación de DBO_5/DQO , útiles como parámetros de concentración orgánica, se determinara el tipo de tratamiento que requiere el agua residual industrial, sea este físico-químico, biológico o combinado.

Según (Remtavares, 2012) y (Kasetsu, 2020), una vez determinada la relación de biodegradabilidad, determinamos el tipo de tratamiento a dar, mediante la tabla 10-2.

Después del análisis de los parámetros físico-químicos y el índice de biodegradabilidad se estableció un posible tipo de diseño del tratamiento del agua residual industrial.

3.7. Pruebas de tratabilidad

Mediante los análisis de los parámetros fuera de la Norma TULSMA y la determinación del índice de biodegradabilidad, se optó por realizar las pruebas de tratabilidad, que representara una reducción o eliminación de la carga contaminante del agua residual.

Las pruebas y ensayos a nivel de laboratorio se emplean para determinar el comportamiento de los procesos de tratamiento e identificar los criterios que delimitan el diseño para la planta a escala

normal, entre los diferentes criterios a analizar se puede mencionar como la dosificación de productos químicos, necesidad de mezcla, velocidad de filtración, entre otros.

Las pruebas de tratabilidad se realizaron en el laboratorio de la E.P EMAPA-G donde se realizó una planta piloto a nivel de laboratorio con los diferentes procesos, considerados viables para la depuración del agua residual industrial.

Se emplearán varios contenedores de 12 L de capacidad y distintos materiales que simularán una determinada operación unitaria (rejillas, tanque de almacenamiento, tanque agitador, sedimentador, filtros, tanque de desinfección y el lecho fluidizado), en el caso del proceso de floculación-coagulación se utilizará un equipo de prueba de test de jarras (flóc tester et-730).



Figura 2-3: Planta piloto del tratamiento del agua industrial

Fuente: (Llumiguano, D. 2021)

Para las rejillas de limpieza manual, se emplea una malla con orificios de 10 mm, mediante el cual se verifica la detención de partículas o sólidos gruesos como lanas, las cuales evitan que dañen los equipos posteriores de la planta de tratamiento.

Para el tanque agitador se realizó la prueba de test de jarras, según (Navarro, 2020), el test de jarras consiste en representar el proceso de coagulación-floculación en vasos de precipitación y evaluar los parámetros físico-químicos, durante o al final de cada prueba para valorar su rendimiento, se requiere tener los datos iniciales de turbiedad, color, pH, temperatura.



Figura 3-3: Prueba de test de jarras.

Fuente: (Llumiguano, D. 2021)

Según (RAS, 2000), estas pruebas se deben ser repetidas las veces que sea necesario por lo menos 10 veces, para determinar la dosis óptima de coagulantes y floculantes, el coagulante a utilizar fue el Policloruro de Aluminio (PAC) a concentración 2-3-4-5%, se realizó a distintas concentraciones para identificar a que concentración ensayar para aguas residuales industriales, junto con un auxiliar (Chemfloc N932) al 2% por recomendación técnica para que presente una buena viscosidad.

Se empleo el equipo flóc Tester et-730 y se sigue el procedimiento siguiente:

- Se colocan en vasos de precipitación muestras previamente homogenizadas, y se debe conocer los valores de turbiedad y pH antes de la ejecución del test.
- Para obtener los valores de pH optimo, se adiciona Cal T-30, ácido clorhídrico o hidróxido de sodio a la muestra.
- Posteriormente se coloca las muestras del agua residual en el equipo y se adiciona una dosis de coagulante (PAC) con agitación constante de 50rpm hasta provocar la coagulación y luego se agrega un auxiliar (Chemfloc N932) para provocar la floculación.
- Finalmente se mide la turbiedad, ya que es un indicador de suma importancia para la comparación con la inicial (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

Esta prueba da como resultado, valores óptimos para el tratamiento del agua residual industrial y corrige las ecuaciones de diseño de las diferentes operaciones de depuración.

Para el sedimentador se ejecutan dos pruebas, primero usando un vaso de precipitación de 1 L y segundo empleando una bandeja de 12 litros de capacidad, en ambas pruebas se determina el tiempo de sedimentación de las partículas en un volumen de agua determinado, para la verificación de la altura de la capa de sólidos que se forma en la base.

Se sigue los pasos:

- Se efectuó la prueba de jarras de una forma convencional, se trabajó con dos vasos, a mezcla rápida por 1 minuto a 100 rpm, floculación por 20 minutos y 50 rpm.
- Se determinó la velocidad de sedimentación mediante los datos que se obtuvieron midiendo la altura del agua y el tiempo de sedimentación.



Figura 4-3: Prueba de sedimentación.

Fuente: (Llumiguano, D. 2021)

Para los filtros, se realizó dos pruebas, primero empleando una botella de 6 L, la cual es cortada la parte inferior, en la boca de la misma se coloca una malla con orificios de 0,2 mm, sobre esto se coloca: grava media y antracita, el segundo se emplea una bandeja de 12 litros de capacidad con los mismo grava media y antracita. Para el proceso el agua ingresa por la parte cortada de la botella o por la parte superior de la bandeja, en ambas pruebas se determina el tiempo que demora en atravesar el filtro y la altura de cada medio filtrante.



Figura 5-3: Prueba de filtración.

Fuente: (Llumiguano, D. 2021)

A continuación, se indican los materiales, equipos y reactivos empleados para la realización de la prueba coagulación-floculación y sedimentación.

Tabla 8-3: Materiales, equipos y reactivos para la coagulación-floculación

Materiales	Equipos	Reactivos y sustancias
Mandil	flóc Tester et-730	Coagulante: Poli cloruro de aluminio (PAC-P25A)
Guantes de nitrilo	Cronometro	Auxiliar de la coagulación: (Chemfloc N932)
Mascarilla	-	Ácido clorhídrico

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Jeringuillas	-	Agua desionizada
Vasos de precipitación de 1000 ml	-	-
Vasos de precipitación de 50 ml	-	-
Balones de aforo	-	-
Piseta	-	-
Pat absorbente	-	-

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

En la siguiente tabla 9-3, se indica los materiales utilizados en la planta piloto para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Tabla 9-3: Materiales para la planta piloto del tratamiento de agua-

Uso	Materiales
Simular los tanques del sistema	Contenedores de 12 L
Proceso de floculación coagulación	Equipo de prueba de jarras (Floc Tester ET-730).
Filtración	Mallas con orificios de 0.2 mm
Separar el recipiente	Láminas de plástico

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Para ingresos y salidas de agua	Tubos de PVC de ½
Para paso de agua de una operación a otra.	Tubo de ½
	Llaves de ½
	Codos de ½
	Tubos de silicón
	Teflón
	Universales de ½
Para construcción de inclinación del proceso	Angulo de ¾ de hierro

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tras cada prueba, se realiza una caracterización general al inicio y al final, para conocer el porcentaje de remoción para cada operación unitaria.

3.8. Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua residual industrial

Para el diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales industriales generadas en la Hilandería Intercomunitaria Salinas, se consideran operaciones de depuración y aspectos que se adecuen a la realidad del sector como:

- Características del terreno: Disponibilidad de espacio físico en el área de estudio para la ubicación de la planta.
- Condiciones ambientales.
- Producción anual de la Hilandería.

- Caudal para el diseño (caudal de agua residual generada)
- Calidad del agua residual producida, determinada mediante las caracterizaciones de laboratorio
- Los resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación.

Posteriormente con todos estos parámetros y tomando en cuenta las pruebas de tratabilidad y criterios de diseño, formulas y ecuaciones, se procede a realizar los cálculos de cada operación unitaria para el respectivo dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

3.8.1. *Propuesta del diseño de la Planta de tratamiento*

Una vez generada las aguas residuales industriales provenientes de los procesos de la hilandería Inter-Comunitaria Salinas, llegan a un canal que las conduce hacia las rejillas, las mismas que retendrán los sólidos de gran tamaño (lanas, entre otros) y de pronto grasa y aceites en suspensión que estará en forma de nata aunque en dicho agua no se percata que lo disponga, para evitar interferencias en los posteriores procesos de tratamientos, a partir de este canal, y mediante la apertura de una válvula ingresa a un tanque de almacenamiento con el propósito de almacenar el agua y lo más importante eliminar las partículas de arena y sólidos similares, ya que pueden ser abrasivas y pueden causar daños a las tuberías y posteriores procesos de depuración, el agua ingresara mediante la manipulación de una válvula al tanque agitador donde se dosificaran los químicos para el proceso de coagulación – floculación y se producirá la mezcla rápida generada en el resalto, en el tanque de agitación el agua alcanzara un volumen específico, momento en el que iniciara el proceso de coagulación, para lo cual se empleara agitadores de aspas, ya que es un agitador industrial la cual es fundamental para obtener una mezcla eficaz en el proceso de agitación y propiciar una óptima formación de flóculos (Uribe, 2013). Una vez formados los flóculos, se abrirá el tanque de agitación y el agua en tratamiento ingresara al sedimentador primario en donde se precipitara los lodos y agregados generados en el proceso de coagulación-floculación, una vez retenida la materia orgánica e inorgánica en los lodos, el agua se dirige hacia los filtros de grava y arena, donde son retenidos los sólidos en suspensión que no fueron

removidos en el sedimentador, de la misma manera, los filtros de carbón activado clarificaran el agua y mejoraran las condiciones de color, ya que según (HUMMA, 2019), estos filtros purifican el agua reteniendo impurezas como residuos industriales, solventes y otros productos químicos y también remueve contaminantes que generan olores y sabores.

Por último, el agua que sale de los filtros se dirige hacia el tanque de desinfección para la dosificación con hipoclorito de calcio y eliminar todos los microorganismos presentes en el agua.

Todos estos procesos garantizan una óptima depuración del agua residual industrial, y permiten descargar el agua al río sin inconvenientes posteriores o ser reutilizados en las diferentes actividades agrícolas y ganaderas.

Los lodos generados en el tanque de coagulación-floculación y sedimentador son tratados en lechos de secado; útiles para la deshidratación e inactivación de estos.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de aforaciones de los caudales provenientes de la Hilandería

La aforaciones del agua residual Industrial de la hilandería generada en los meses de diciembre 2020 y enero 2021 dan los resultados en las tablas 1-4 y 2-4.

Tabla 1-4: Aforaciones de los caudales Mes diciembre 2020

Caudales del mes de diciembre 2020					
Horario (am)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:30-10:30	4,20	5,02	4,24	4,06	4,30
9:30-10:30	3,80	4,13	4,31	5,05	4,47
9:30-10:30	3,72	4,10	5,20	4,22	4,06
9:30-10:30	3,60	3,62	4,40	3,84	4,13
Total	84,47	-	-	-	-
Promedio1 (L/s)	4,22	-	-	-	-

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Las variaciones del caudal, se da a que la demanda diaria de la producción del hilo tinturado es variable y depende también de los pedidos que realizan otras ciudades, por ello existen una mayor o menor producción del cual generan las aguas residuales industriales.

El tiempo de mayor generación de agua en la producción es entre las 9:30 am -10:30 am, momento en la cual realizan los procesos de lavado y tinturado, ya que dichas etapas generan una mayor cantidad de agua.

Tabla 2-4: Aforaciones de los caudales Mes enero 2021

Caudales mes de enero 2021					
Horario (am)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
9:30-10:30	4,03	3,48	4,70	5,10	4,10
9:30-10:30	3,63	4,40	5,33	3,61	3,81
9:30-10:30	4,36	4,26	5,20	4,08	4,16
9:30-10:30	3,69	3,07	4,81	3,78	5,33
Total	84,93	-	-	-	-
Promedio 2 (L/s)	4,24	-	-	-	-

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Con los respectivos datos promedios de los caudales del mes de diciembre 2020 y enero 2021, se calcula el valor del caudal promedio del agua residual industrial generado.

Tabla 3-4: Caudal promedio de las aforaciones

Mes	PROMEDIO Q (L/s)	
Diciembre	Promedio 1	4,22
Enero	Promedio 2	4,24
TOTAL		4,23

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Mediante los resultados obtenidos de las aforaciones en las etapas de mayor generación del agua en un tiempo de alrededor de 9:30 y 10:30, se obtiene un caudal de 4,23 L/s.

4.2. Resultados del monitoreo del agua residual industrial de la hilandera

Los muestreos de agua residual se realizaron de manera aleatoria, cinco muestras simples y dos compuestas por mes (enero).

Tabla 4-4: Fechas del muestreo mes de enero 2021

Muestreo del mes de enero (2021)					
Fecha	5	6	7	8	19
Día	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Martes
Hora (am)	09H00	10H00	09H00	10H30	10H00

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Las fechas fueron tomadas al azar del mes de enero, para obtener muestras representativas se obtuvieron dentro del tiempo de las etapas de los procesos de lavado y tinturado.

4.3. Resultados de la caracterización físico-químico y microbiológico del Agua Residual Industrial.

Una vez realizado el muestreo, se trasladó al laboratorio de Control de calidad de la E.P EMPA-G para su respectivo análisis físico-químico y microbiológico mediante el cual se evidencian los parámetros que están fuera del límite permisible del Anexo 1 de AM 097-A, Tabla 9.

Los análisis de las 5 muestras tomadas en diferentes fechas del mes de enero, se indica en la tabla 5-4.

Tabla 5-4: Resultados de caracterización de las muestras iniciales del agua residual

RESULTADOS DE CARACTERIZACIONES FISICO - QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE MUESTRAS DE AGUA CRUDA RESIDUAL INDUSTRIAL HILANDERIA INTER-COMUNITARIA SALINAS									
PARAMETROS	UNIDAD	FECHA					Promedio	Límites Máximos permisibles	Observaciones
		05/01/2021	06/01/2021	07/01/2021	08/01/2021	19/01/2021			
		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5			
Aceites y Grasas	mg/L	20	17	20	18	25	20	30	Cumple
Arsénico total (As)	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	Cumple
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0,008	0,008	0,007	0,007	0,008	0,008	5	Cumple
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	3,54	3,42	4,02	3,98	4,06	3,804	2	No cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G, 2021.

Continuación:

Boro (B)	mg/L	1,98	1,43	1,36	1,42	1,54	1,546	2	Cumple
Cadmio (Cd)	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,0052	0,02	Cumple
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,1	Cumple
Cloro Activo (Cl)	mg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,5	Cumple
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1250	1109	1199	1196	1199	1191	1000	No cumple
Cobalto (Co)	mg/L	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,056	0,5	Cumple
Cobre (Cu)	mg/L	0,007	0,007	0,007	0,008	0,007	0,0072	1	Cumple
Color	PtCo	75	70	75	80	70	74	1./20	No cumple
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,35	0,32	0,34	0,36	0,42	0,358	0,5	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G, 2021.

Continuación:

DQO	mg/L	465,28	460,57	467,62	464,52	463,58	464,31	200	No cumple
DBO ₅	mg/L	84,67	81,56	82,34	81,67	80,96	82,24	100	Cumple
Estaño (Sn)	mg/L	0,068	0,058	0,059	0,049	0,075	0,0618	5	Cumple
Eschericha Coli	Col/100 mL	2700	2200	2400	1800	1700	2160	2000	No cumple
Fluoruros (F)	mg/L	12,9	10,58	12,83	12,94	13,1	12,47	5	No cumple
Fosforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	20,31	17,24	18,07	17,62	16,64	17,976	10	No cumple
Hierro total (Fe)	mg/L	14,02	12,31	10,64	11,36	12,61	12,188	10	No cumple
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	5,11	5,07	6,57	5,98	6,58	5,862	2	No cumple
Níquel (Ni)	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,008	0,0064	2	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G, 2021.

Continuación:

Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	52,97	51,3	52,64	52,98	53,63	52,704	50	No cumple
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ - N)	mg/L	27,35	26,84	26,8	24,67	24,67	26,066	30	Cumple
pH	....	12,84	11,52	12,74	12,94	12,94	12,596	6.-9	No cumple
Plata (Ag ⁺)	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,1	Cumple
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	0,007	0,006	0,007	0,006	0,006	0,0064	0,2	Cumple
Solidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	135,34	133,65	136,52	134,94	136,54	135,398	130	No cumple
Solidos Totales (ST)	mg/L	500,83	456,82	478,63	462,96	464,32	472,712	1600	Cumple
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	0,007	0,007	0,007	0,008	0,009	0,0076	0,5	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G, 2021.

Continuación:

Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	60,91	58,69	60,63	61,67	62,6	60,9	1000	Cumple
Temperatura	°C	13,94	13,78	13,85	13,65	13,74	13,792	±3	No cumple
Tensoactivos	mg/L	2,6	1,94	1,84	1,94	2,01	2,066	0,5	No cumple
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	0,007	0,006	0,007	0,006	0,007	0,0066	5	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G, 2021.

Mediante los resultados de los análisis del laboratorio se identificaron los parámetros que están fuera de los límites permisibles como se indica en la siguiente tabla 6-4.

Tabla 6-4: Parámetros fuera de rango en el agua residual industrial

Parámetros fuera del límite permisible del TULSMA				
Bario (Ba ²⁺)	Cloruros (Cl ⁻)	Color	DQO	Eschericha Coli
Fluoruros (F)	Fosforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	Hierro total (Fe)	Manganeso Total (Mn ²⁺)	Nitrógeno Total Kjeldahl
Solidos Totales Disueltos (SST)	Temperatura	Tensoactivos	pH	

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

A continuación, en la Tabla 7-4, se indica las razones por las que los distintos parámetros se encuentran fuera del límite permisible de acuerdo a la norma TULSMA.

Tabla 7-4: Razones, de los parámetros fuera del rango de la norma

Parámetros	Razón
Metales: Bario, Hierro total, Manganeso.	Son aquellos metales encontrados en los colorantes comerciales que usan las industrias textiles. También alteran el pH dependiendo de su concentración y la composición de colorantes.
DQO, Nitrógeno, fosforo, cloruros, fluoruros, Eschericha Coli (Coliformes fecales).	Estas cargas orgánicas son generadas en gran cantidad en las etapas de lavado y descruce, existen debido a que la materia prima es de origen animal (lana de oveja y alpaca).

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

pH	La presencia del pH ligeramente alcalino (base) se puede deber al uso de colorantes básicos, que le dan esa característica el agua después de procesos de tinturado.
Tensoactivos	La presencia de tensoactivos es debido al uso de detergentes para el descruce, la cual genera grandes cantidades de tensoactivos en el efluente.
Solidos totales	Ciertos colorantes utilizados en la textilería aportan solidos totales al agua, generando a la vez turbiedad y una apariencia entre verde y azul dependiendo el colorante usado en el proceso de producción.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

A partir de ciertos parámetros que se encuentran fuera del rango, se hace una propuesta de tratamiento, mediante el índice de biodegradabilidad y la cantidad de carga contaminante presente en el agua residual industrial.

Tabla 8-4: Índice de biodegradabilidad del agua Residual Industrial

Índice de biodegradabilidad			
Mes	DBO₅	DQO	DBO₅/DQO
Enero	82,24	464,31	0,18

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

De acuerdo a la tabla 8-4, se puede evidenciar que la relación DBO_5/DQO resulta muy indispensable, mediante el cual se identificó el índice de biodegradabilidad de 0.18, e indica que está dentro del rango de < 0.2 que es poco biodegradable y el tipo de tratamiento a dar es físico-químico, establecido que un pretratamiento, tratamiento físico-químico y desinfección, resultarían eficientes.

4.4. Resultados de las pruebas de tratabilidad.

Las pruebas o ensayos a nivel laboratorio son esenciales para conocer el porcentaje de remoción de contaminantes y determinar el comportamiento de los procesos y elegir uno u otro tipo de tratamiento, e identificar los criterios que delimitan el diseño de la planta.

4.4.1. Prueba de tratabilidad de las rejillas

Para las rejillas, se realizó el ensayo traspasando el agua por unas rejillas de limpieza manual de 10 mm y se observó que se logró una retención de sólidos gruesos como residuos de lanas.

4.4.2. Prueba de tratabilidad del tanque de almacenamiento.

El ensayo del tanque de almacenamiento se realizó en un recipiente de 12 litros usaron, usando 10 litros de muestras compuesta previamente homogenizada, mediante el cual se logró contener una reserva suficiente temporal, del agua residual industrial para el siguiente proceso.

4.4.3. Pruebas de tratabilidad del Tanque Agitador

Para el ensayo del tanque agitador, se realizó la prueba test de jarras donde se determinó lo siguiente: la concentración óptima para dosificar el coagulante y auxiliar, el pH para una mejor formación de flóc y las revoluciones que requiere el agitador para realizar todo el proceso de coagulación y floculación.

Para las respectivas pruebas se realizó con el policloruro de aluminio (PAC) y el Chemfloc N 932.

- Lo primero que se determinó es la concentración del PAC, como se indica en la tabla 9-4, lo cual resulta que la solución madre es 4 mg/L, e indica que es la más eficiente para el tratamiento de una muestra compuesta para aguas residuales industriales.

Tabla 9-4: Resultados de la determinación de la concentración PAC

PAC (mg/L)	Cantidad (mL)	Turbidez (NTU)
2	8	13,20
3	8	10,41
4	8	4,99
5	8	9,35

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

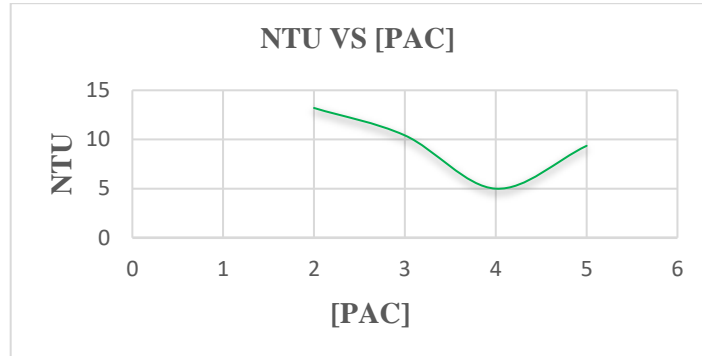


Gráfico 1-4: Relación Turbidez (NTU) vs Concentración de Policloruro de Aluminio.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según el gráfico 4-1., indica que existe una variación de la turbiedad respecto a la concentración del coagulante para obtención de la dosis optima como es 4mg/L para aguas industriales.

- Mediante la identificación de la concentración, se determinó el valor del pH optimo con el que trabaja el coagulante, obteniendo así mejores resultados de remoción con un pH 7.

Tabla 10-4: Resultados de la determinación de la concentración PAC.

PAC (mg/L)	Cantidad (mL)	pH	Turbidez (NTU)
4	6	5,93	13,45
4	7	6,10	11,10
4	8	7,01	4,60
4	9	8,00	8,26

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

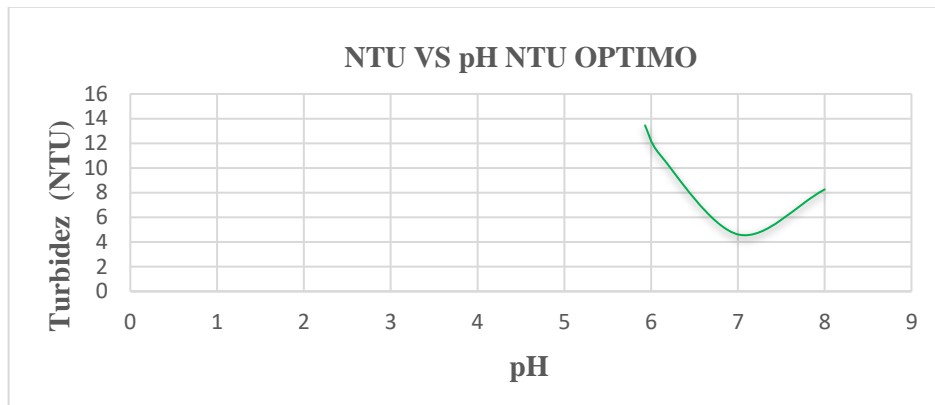


Gráfico 2-4: Relación Turbidez (NTU) vs pH óptimo del coagulante.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según el gráfico 4-2., se puede observar que a la concentración inicial de 4mg/L se da una variación del potencial del hidrogeno (pH), donde evalúa que la turbiedad disminuye al tratarse de un pH 7.

- Una vez obtenido el pH óptimo se identificó la dosis óptima más eficiente tanto del PAC como del Chemfloc N932 para formar la coagulación, lo cual resulto 22 ml de PAC con una concentración de 4 mg/L, y 24 mL del auxiliante de 2mg/L, que indica la dosis de PAC con la remoción de turbiedad.

Tabla 11-4: Resultados de la determinación dosis óptima del PAC.

PAC (mg/L)	Cantidad(mL)	Chemfloc (mL)	NTU
4	2	4	21,00

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

4	4	6	15,20
4	6	9	9,88
4	8	9	4,88
4	11	12	4,10
4	14	16	3,86
4	18	19	3,05
4	22	24	2,52
4	26	27	4,35
4	28	30	5,79

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

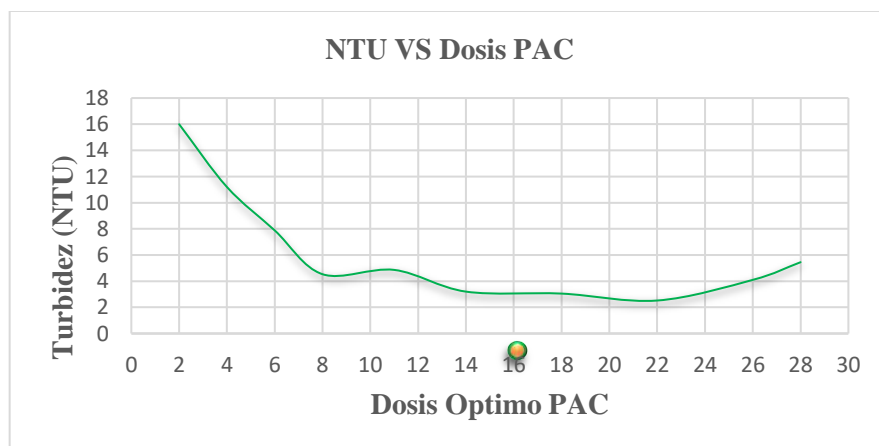


Gráfico 3-4: Relación Turbidez (NTU) vs Dosis optimo del PAC

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según el gráfico 3-4., indica la que disminuye la turbiedad considerablemente cuando se dosifica 22 mL PAC y 24 mL de Chemfloc N932, manteniendo la concentración de 4 mg/L y un pH 7.

- Po último se identificó las revoluciones por minuto, la cual garantiza una correcta mezcla del PAC y una reducción eficiente de la turbiedad, lo cual resulto una mejor opción de 50 rpm.

Tabla 12-4: Resultados de la identificación del rpm.

PAC (mg/L)	Cantidad (mL)	rpm	NTU	Tiempo-Formación flóc (min)	Tiempo de sedimentación (min)	Volumen de precipitado (mL/L)
4	22	20	15,10	45	10	65
4	22	50	2,52	30	2	120
4	22	80	9,21	25	3	105
4	22	100	12,00	20	2	85

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

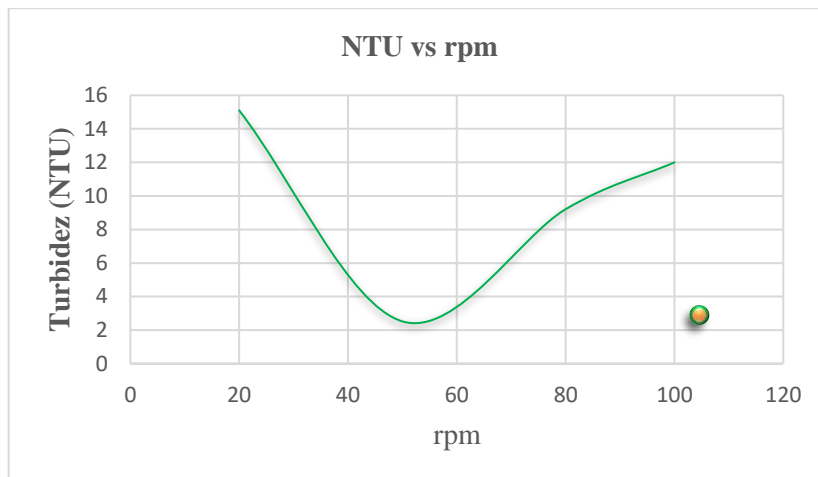


Gráfico 4-4: Relación Turbidez (NTU) vs Revoluciones por Minuto.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según el gráfico 4-4., se indica que a 50 rpm da una mejor formación de flóculos, por el motivo que al aumentar la velocidad se rompe los agregados y al disminuir los rpm a lo resultante no se da una óptima formación de flóc.

Los ensayos analizados, proporciono resultados de diferentes determinaciones requeridos como el Policloruro de Aluminio en una concentración de 4 mg/L, a un pH 7, a 50 rpm y una dosificación de PAC de 22 mL y un auxiliar Chemfloc N932 de 24 mL, además se identificó un tiempo de formación de flóc de 30 minutos y de sedimentación de 2 minutos, obteniendo así un volumen de precipitado de 120 mL/L.

Mediante estas variables se lograron remover elevadas cantidades de los contaminantes como los metales bario, hierro, manganeso; cargas orgánicas como cloruros, fluoruros, fosforo, nitrógeno, DBO₅, DQO y SST.

Según la tabla 13-4, los metales y cargas orgánicas tienen una remoción del 100% y de los sólidos totales disueltos (SST) un 5%.

Tabla 13-4: Resultados de la prueba de tratabilidad del tanque agitador.

Remoción en el Tanque de agitación				
Parámetros	Unidad	[Inicial]	[Final]	% Remoción
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	3,80	0,23	93,95
Hierro total (Fe)	mg/L	12,19	0,08	99,38
Manganeso Total (Mn ²⁺)		5,86	0,06	99,04
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1190,54	147,58	87,60
Fluoruros (F)	mg/L	12,47	0,26	97,96
Fosforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	17,98	0,22	98,78
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	74,00	< 1	100
DBO5	mg/L	82,24	5,52	93,29
DQO	mg/L	464,31	11,98	97,42
SST	mg/L	135,40	130,01	3,12

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021.

4.4.4. Pruebas de tratabilidad del sedimentador

Para realizar la prueba del sedimentador, se colocó 8 litros de la muestra en un recipiente de 12 L de capacidad, logrando así una decantación del material sedimentable en 2 minutos. Y como resultado se tiene que por acción de la gravedad las partículas de mayor peso molecular decantan al fondo del recipiente, obteniendo una reducción de sólidos totales disueltos (SST) 6% y los restantes se remueven en el proceso de la filtración por la antracita, según en la tabla 14-4.

Tabla 14-4: Resultados de la prueba de tratabilidad del sedimentador.

Remoción en el sedimentador				
Parámetros	Unidad	[Inicial]	[Final]	% Remoción
SST	mg/L	130,01	123,00	5,30

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.4.5. Pruebas de tratabilidad de la filtración.

Para esta prueba se empleó 6 litros de agua residual industrial proveniente del sedimentador, el cual se colocó sobre un recipiente de 12 L de capacidad, para determinar el tiempo que tarda en recorrer todo el medio filtrante, se identificó la altura de cada material filtrante y las características del mismo. El diámetro de cada medio fue: grava media de 5 – 10 mm y Antracita de 5 cm, obteniendo así la reducción de color y SST.

Tabla 15-4: Resultados de la prueba de tratabilidad del filtro.

Remoción en la filtración				
Parámetros	UNIDAD	[Inicial]	[Final]	% Remoción
SST	mg/L	123,00	90,15	25,01
Color	PtCo	74,00	0,09	100,00

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021.

4.4.6. Pruebas de tratabilidad del tanque de desinfección.

En dicha prueba de logro remover los microorganismos, ya que en anteriores procesos no se realizó ningún tratamiento de desinfección como el Eschericha Coli.

Tabla 16-4: Resultados de la prueba de tratabilidad del tanque de desinfección.

Remoción en el Tanque de desinfección				
Parámetros	Unidad	[Inicial]	[Final]	% Remoción
<i>Eschericha Coli</i>	Col/100 mL	21,60	< 1	100,00

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021.

Una vez efectuadas dichas pruebas de tratabilidad se demostraron que la propuesta y tratamiento cumplen con lo esperado y reducen la carga contaminante.

4.5. Resultados de las calibraciones de los equipos requeridos

Los datos de las calibraciones de los equipos como turbidímetro, pH metro, conductímetro, Espectrofotómetro, Fotómetro, Filtración al vacío, fueron proveídos por el técnico del E.P EMAPAG, con la finalidad de garantizar la viabilidad de los resultados de los análisis físico-químicas y bacteriológicos del agua residual industrial.

- **Calibración del turbidímetro**

El periodo de tiempo de calibración, se lo realiza cada 3 meses como mínimo, pero el E.P EMAPAG, lo realiza cada mes. La muestra patrón para la calibración es la formazina estabilizada StablCal™ 0,1 NTU, en este equipo emplean la tecla de medición promedia "SIG AVG", en este modo realizan diez mediciones y se calcula la media de las mismas o si el modo de medición promediada está desactivado, el instrumento efectúa 3 mediciones (UNASAM, 2010, pp. 4-5).

Soluciones Estándar:

- Solución de 0,1 NTU marca HACH
- Solución de 20 NTU marca HACH
- Solución de 100 NTU marca HACH
- Solución de 800 NTU marca HACH (UNASAM, 2010, pp. 4-5).

Una vez calibrada el equipo realizan pruebas con muestras del agua potable que tratan en el E.P EMAPAG, para la verificación correcta de la calibración, por lo que la turbidez debe ser menor a 5 NTU según (Allan, R. 2021).

Tabla 17-4: Resultados de calibración con muestras del agua potable

Fecha	Valor promedio registrado		Promedio
	Enero	Febrero	
04/01/2021	2,56 NTU	2,48 NTU	2,52 NTU
04/02/2021	2,12 NTU	1,99 NTU	2,05 NTU
Promedio Total			2,28 NTU

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según la tabla 17-4, el promedio de la turbidez 2,28 NTU lo cual indica que está dentro de los 5 NTU para una turbidez estable y se puede verificar que la calibración del turbidímetro es correcta y está calibrado para obtener resultados viables de los análisis.

- **Calibración del medidor portátil de pH**

El periodo de tiempo de calibración, se lo realiza cada semana, utilizando tampones de pH 4, 6,86 o 0 7 y 10, los cuales permiten obtener una calibración con precisión.

Mediante la verificación de la calibración se obtiene resultados promedios de cada semana de los meses enero y febrero, como se indica en la tabla 18-4.

Tabla 18-4: Resultados de calibración del pH metro.

Fecha: Mes	Valor promedio registrado de cada semana.	
	pH	°T (C)
Enero	6,86	16,10
Febrero	6,74	16,31
Promedio Total	6,80	16,21

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según la tabla 18-4, el promedio del pH es 6.80 a una temperatura de 16,2°C, lo que indica que está dentro del rango pH: 4,01 - 7,00 y una temperatura < 25°C, y se puede verificar que la calibración es correcta y es estable para obtener resultados viables de los análisis.

- **Calibración del colorímetro**

Este instrumento está incorporado con un prisma de aumento el cual trae el color de los estándares, permitiendo mostrar en una sola imagen de lado a lado el color de la muestra a analizar, permitiendo hacer una exacta comparación de color, el disco para medición de color Pt-Co utiliza el estándar desde 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, es decir en rangos de 0 – 50 unidades de color.

Para una buena calibración se debe dar mantenimiento y limpieza al equipo colorímetro.

Mantenimiento: Antes de realizar la tarea de mantenimiento, limpieza o búsqueda de fallas, se desconectan el equipo del suministro eléctrico.

Limpieza: Se realiza con un paño húmedo, retirando la lámpara y el disco, Las celdas deben ser lavadas con detergente y se debe percatar que no queden incrustaciones ya que al no ser removidas se presentan condiciones no uniformes que impiden una correcta lectura (EMAPAG, 2012).

Según el técnico E.P EMAPAG (Allan, R. 2021), la calibración del equipo fue correcto y es estable para obtener resultados viables.

- **Calibración del conductímetro**

El periodo de tiempo de calibración, se lo realiza cada semana, utilizando patrones de NaCl con conductividad electrolítica conocida. Para la calibración el medidor está configurado en fábrica para su uso con un patrón de NaCl, con conductividad de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C o un patrón de NaCl con conductividad de 18 mS/cm a 25 °C.

Tabla 19-4: Resultados de calibración del conductímetro

Fecha: Mes	Valor promedio registrado de cada semana.		
	TDS (mg/L)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	°T (C)
Enero	258	516	16,10
Febrero	210	488	15,70
Promedio Total	234	502	15,90

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según la tabla 19-4, el promedio del TDS es 234 mg/L, conductividad 502 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una temperatura de 15,90 °C, lo que indica que está dentro del rango TDS: 100.0 a 999.9 mg/L (ppm), Cond: 100.0 a 999.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una temperatura de : 5°C- 25°C, y se puede verificar que la calibración es correcta y es estable para obtener resultados viables de los análisis.

- **Calibración del espectrofotómetro.**

El periodo de tiempo de calibración del espectrofotómetro, se lo realiza cada mes, en ella realizan verificaciones del sistema, la Comprobación de la longitud de onda para verificar la precisión de la longitud de onda a 807 nm, comprueban la precisión fotométrica y la repetibilidad del instrumento mediante la Actualización del software del instrumento.

El espectrofotómetro DR 2800 suministra lecturas digitales en unidades directas de concentración, absorbancia o porcentaje de transmitancia (EMAPAG, 2012).

Tabla 20-4: Resultados de calibración del espectrofotómetro

Resultados de calibración
Según el técnico E.P EMAPAG (Allan, R. 2021), la verificación del sistema del instrumento mediante el software es estable

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según la tabla 20-4, se indica que el equipo es estable mediante la verificación del sistema, para dar resultados viables.

Según la tabla 21-4, se puede mencionar resultados generales obtenidos en los diferentes equipos como los datos promedios de las calibraciones de los meses enero y febrero, fechas en que se realizó los diferentes análisis, para la obtención de los resultados viables.

Tabla 21-4: Promedio de resultados de calibraciones

Equipo	Función	Rango de calibración	Resultados
Turbidímetro	Mide la turbidez	NTU: 0,01 a 9,99	Lectura estable
pH metro	Mide el pH y la temperatura	pH: 4,01 - 7,00	Lectura estable
		°T: < 25 °C	Lectura estable
Conductímetro	Mide la conductividad, sólidos totales disueltos (TDS) y la temperatura	Cond: 100.0 a 999.9 µs/cm	Lectura estable
		°T: 5°C, 20°C, 25°C.	Lectura estable
		TDS: 100.0 a 999.9 mg/L (ppm)	Lectura estable
Espectrofotómetro	Mide los parámetros del agua industrial	-	Programa actualizado del instrumento y recargado por electricidad.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G; (EMAPAG, 2012).

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Potenciómetro	Mide metales, DQO y DBO ₅	mg/L	Lectura estable.
Colorímetro	Mide el color	0-50 unidades de color (PtCo).	Mantenimiento de Equipo.
Filtración al vacío	Sirve para el proceso bacteriológico.	-	Mantenimiento de Equipo.
Incubadora de coliformes	Incubar las muestras bacteriológicas.	°T: 37 °C	Lectura estable y recargado por electricidad 240V.

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G; (EMAPAG, 2012).

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Según la tabla 21-4, indica que los equipos están con una exactitud y precisión 100%, con un margen de error +-2, según el técnico E.P EMAPAG (Allan, R. 2021), mediante el cual se verifica que garantizan resultados fiables.

4.6. Resultados de la caracterización físico-químico y microbiológicos finales del Agua Residual Industrial.

Una vez realizado las pruebas de tratabilidad, se realizó dos muestras compuestas para el respectivo análisis físico-químico y microbiológico, mediante el cual se evidencian que los parámetros están dentro del límite permisible del Anexo 1 de AM 097-A, Tabla 9, según la tabla 22-4.

Tabla 22-4: Resultados de caracterización de las muestras finales del agua residual

RESULTADOS DE CARACTERIZACIONES FISICO - QUIMICO Y BACTERIOLOGICO DE MUESTRAS DE AGUA TRATADA RESIDUAL INDUSTRIAL HILANDERIA INTER-COMUNITARIA SALINAS						
PARAMETROS	UNIDAD	FECHA		Promedio	Límites Máximos permisibles	Observación
		08/01/2021	19/01/2021			
		M 6	M 7			
Aceites y Grasas	mg/L	6,56	6,5	6,53	30	Cumple
Arsénico total (As)	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,1	Cumple
Aluminio (Al 3+)	mg/L	0,004	0,005	0,0045	5	Cumple
Bario (Ba 2+)	mg/L	0,24	0,22	0,23	2	Cumple
Boro (B)	mg/L	0,18	0,17	0,175	2	Cumple
Cadmio (Cd)	mg/L	0,005	0,004	0,0045	0,02	Cumple
Cianuro (CN -)	mg/L	<0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	Cumple
Cloro Activo (Cl)	mg/L	<0,1	< 0,1	< 0,1	0,5	Cumple
Cloruros (Cl -)	mg/L	150	145,16	147,58	1000	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Continuación:

Cobalto (Co)	mg/L	0,06	0,07	0,065	0,5	Cumple
Cobre (Cu)	mg/L	0,004	0,007	0,0055	1	Cumple
Color	PtCo	< 1	< 1	< 1	1./2	Cumple
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,009	0,008	0,0085	0,5	Cumple
DQO	mg/L	12,68	11,28	11,98	200	Cumple
DBO ₅	mg/L	5,41	5,63	5,52	100	Cumple
Estaño (Sn)	mg/L	0,041	0,039	0,04	5	Cumple
Eschericha Coli	Col/100 mL	<1	< 1	< 1	2000	Cumple
Flor uros (F)	mg/L	0,25	0,26	0,255	5	Cumple
Fosforo Total (P-PO4 3-)	mg/L	0,23	0,21	0,22	10	Cumple
Hierro total (Fe)	mg/L	0,07	0,08	0,075	10	Cumple
Manganeso Total (Mn 2+)	mg/L	0,052	0,061	0,0565	2	Cumple
níquel (Ni)	mg/L	0,001	0,002	0,0015	2	Cumple
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	5,63	4,64	5,135	50	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Continuación:

Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	10,63	9,62	10,125	30	Cumple
pH	....	7,06	7,1	7,08	6.-9	Cumple
Plata (Ag ⁺)	mg/L	0,007	0,007	0,007	0,1	Cumple
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	0,005	0,006	0,0055	0,2	Cumple
Solidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	90,67	89,62	90,145	130	Cumple
Solidos Totales (ST)	mg/L	356,07	340,21	348,14	1600	Cumple
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	0,007	0,007	0,007	0,5	Cumple
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	6,91	5,63	6,27	1000	Cumple
Temperatura	°C	17,96	15,38	16,67	±3	Cumple
Tensoactivos	mg/L	0,008	0,01	0,009	0,5	Cumple
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	0,005	0,006	0,0055	5	Cumple

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

4.7. Resultados de la remoción de la carga contaminante del agua residual industrial

En cada operación unitaria para planta de tratamiento, se exhibió la cantidad de remoción de la carga contaminante y en cada proceso se obtuvo una reducción de 90 a 100%, lo que permitió cumplir con los límites permisibles del Anexo 1 del acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 9, referente a la descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Los resultados de los porcentajes de las remociones del agua residual industrial de la HILANDERIA INTER-COMUNAL SALINAS, se indica en la Tabla 19-4.

Tabla 23-4: Porcentaje de remoción del agua residual industrial.

AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA VS AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA					
PARAMETROS	UNIDAD	Agua Residual Cruda	Agua Residual Tratada	Límites Máximos permisibles	% Remoción
		Promedio	Promedio		
Aceites y Grasas	mg/L	20	6,53	30	
Arsénico total (As)	mg/L	0,01	0,01	0,1	
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	0,008	0,005	5	
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	3,80	0,23	2	93,95
Boro (B)	mg/L	1,546	0,175	2	
Cadmio (Cd)	mg/L	0,0052	0,0045	0,02	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	0,08	< 0,1	0,1	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Cloro Activo (Cl)	mg/L	< 0,1	< 0,1	0,5	
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1190,54	147,58	1000	87,60
Cobalto (Co)	mg/L	0,06	0,07	0,5	
Cobre (Cu)	mg/L	0,007	0,006	1	
Color	PtCo	74	< 1	1./20	100
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	0,36	0,009	0,5	97,63
DQO	mg/L	464,314	11,98	200	97,42
DBO ₅	mg/L	82,24	5,52	100	93,29
Estaño (Sn)	mg/L	0,062	0,04	5	
Eschericha Coli	Col/100 mL	2160	< 1	2000	100
Fluoruros (F)	mg/L	12,47	0,26	5	97,96
Fosforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	17,98	0,22	10	98,78
Hierro total (Fe)	mg/L	12,19	0,08	10	99,38
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	5,86	0,06	2	99,04

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Níquel (Ni)	mg/L	0,006	0,002	2	
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	52,70	5,14	50	90,26
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ - N)	mg/L	26,07	10,13	30	
pH	....	12,596	7,08	6.-9	100
Plata (Ag ⁺)	mg/L	0,008	0,007	0,1	
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	0,006	0,006	0,2	
Solidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	135,40	90,15	130	33,42
Solidos Totales (ST)	mg/L	472,71	348,14	1600	
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	0,008	0,007	0,5	
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	60,90	6,27	1000	
Temperatura	°C	13,79	16,67	±3	
Tensoactivos	mg/L	2,07	0,009	0,5	99,56
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	0,007	0,006	5	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P EMAPA-G.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.1. Remoción de sólidos totales disueltos (SST)

Los SST son reducidos en el tratamiento del tanque agitador gracias a la coagulación-floculación, en el sedimentador y filtración, en donde se puede remover entre 50 y 65% de la carga contaminante (Abarca, y otros, 2017).

Según el gráfico 5-4, indica que en todo el sistema de tratamiento se obtuvo una reducción de 96 % SST.

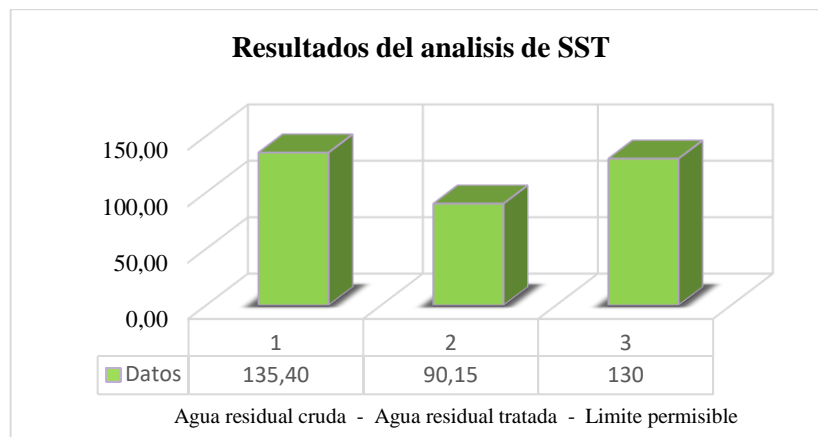


Gráfico 5-4: Resultados de remoción de sólidos totales disueltos.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.2. Remoción del color

El color es un parámetro contaminante característico de la industria textil, mediante la coagulación-floculación baja las concentraciones, y posteriormente los colorantes más persistentes son retenidas en el proceso de filtración.

De acuerdo a (Fernández et al., 2006), remueve organismos patógenos del agua cruda un 99.9%.

Según el grafico 6-4, resulta que el sistema logra un porcentaje de remoción de 100%.

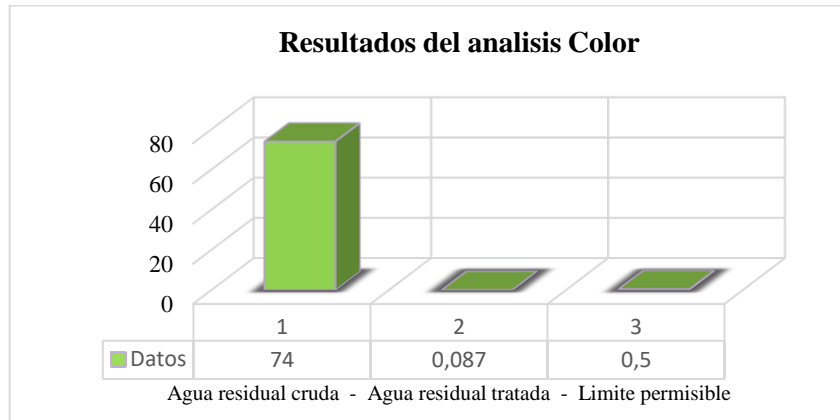


Gráfico 6-4: Resultados de remoción del color.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.3. Remoción de la turbiedad

El parámetro turbiedad es removida en el proceso de coagulación-floculación porque el sistema permite un aumento en el tamaño de flóculos, cohesión y una buena velocidad de sedimentación.

Según el grafico 7-4, la remoción total de la turbiedad en el sistema es de 96,86 %.

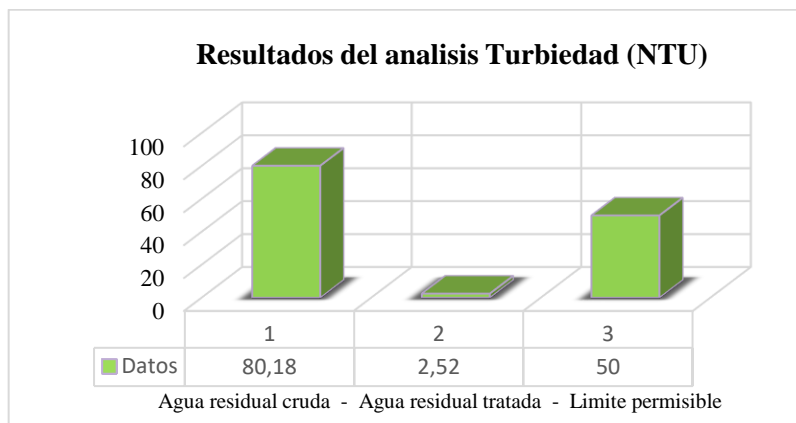


Gráfico 7-4: Resultados de remoción de la turbiedad.

4.7.4. Remoción de metales como Bario, hierro, manganeso

Estos metales son reducidos en la coagulación-floculación en el tanque agitador, en lodos generados en los procesos, son aquellos que deben ser tratados con cal para eliminación completa de los metales. Algunas trazas que se quedan del anterior proceso son retenidas en los filtros de grava y antracita.

Según los resultados de las remociones de los metales resultan entre 87 y 99%.

- **Remoción de Bario**

Según el grafico 4-8, el metal bario tiene una remoción del 93,95 %.

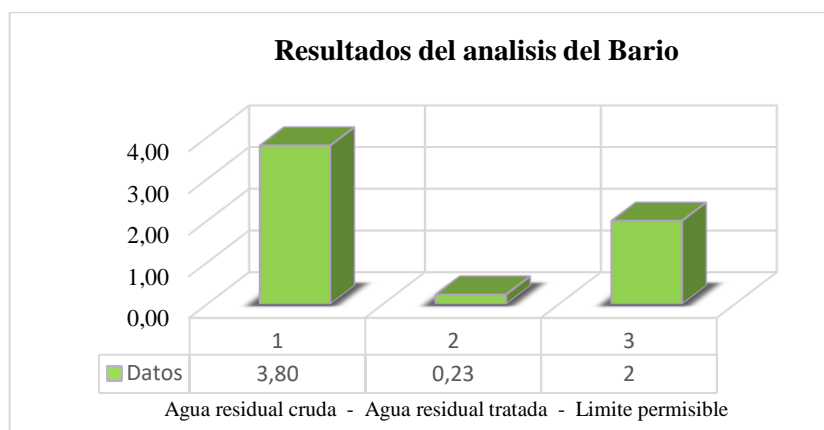


Gráfico 8-4: Resultados de remoción del Bario.

- **Remoción de Hierro**

Según el grafico 9-4, resulta una remoción de 99,38 %, donde indica que la mayor concentración de metales se presenta en los lodos de residuo.

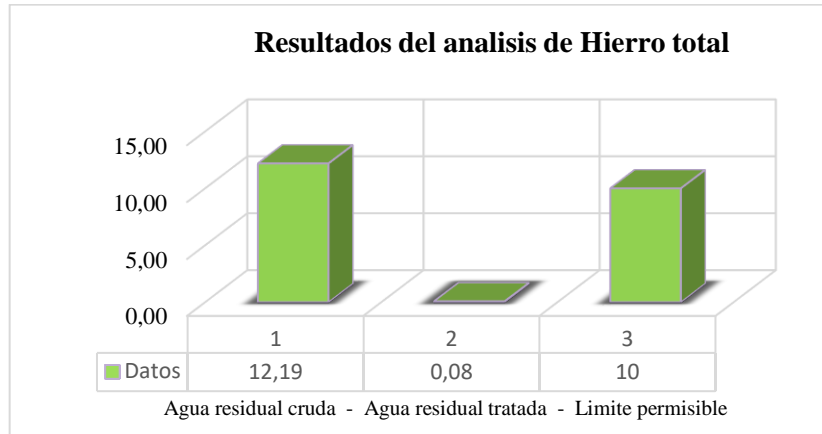


Gráfico 9-4: Resultados de remoción de Hierro total (Fe)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

- **Remoción de Manganeso**

Según el grafico 10-4, resulta una remoción de 99,09 con valores no considerables.

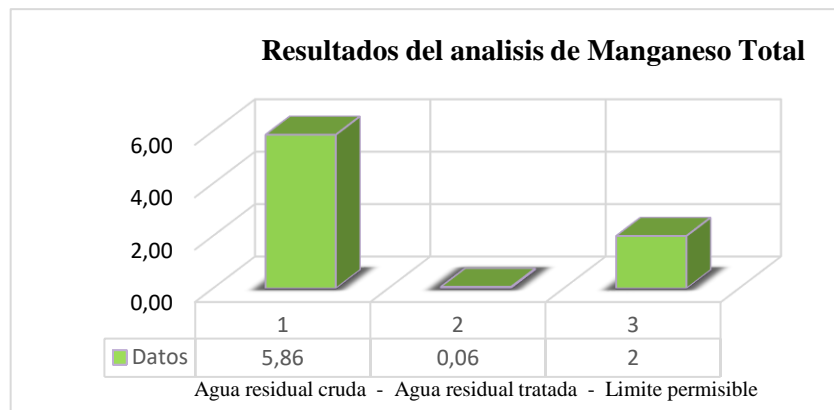


Gráfico 10-4: Resultados de remoción de Manganeso total (Mn)

4.7.5. Remoción de cloruros, fluoruros, fosforo, nitrógeno total.

Las remociones de estas cargas orgánicas son reducidas mediante la coagulación-floculación en el tanque agitador.

- **Remoción de Cloruros**

Según el grafico 11-4, indica que reducidos a trazas se tiene una remoción del 87.60 %.

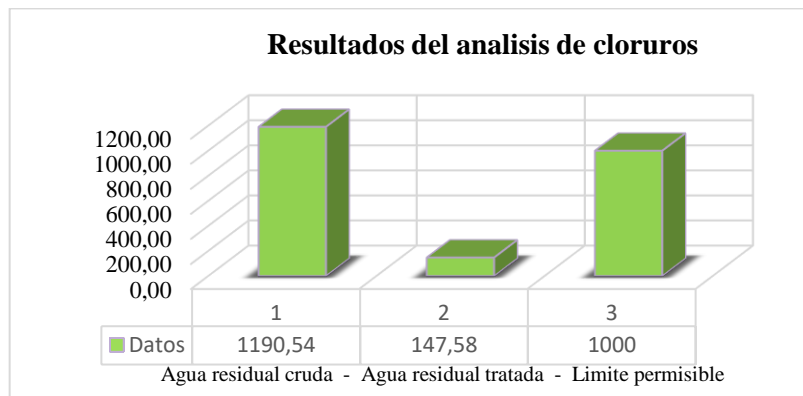


Gráfico 11-4: Resultados de remoción de cloruros.

- **Remoción de Fluoruros**

Según el grafico 12-4, la remoción de los fluoruros es de un 97,96 %.

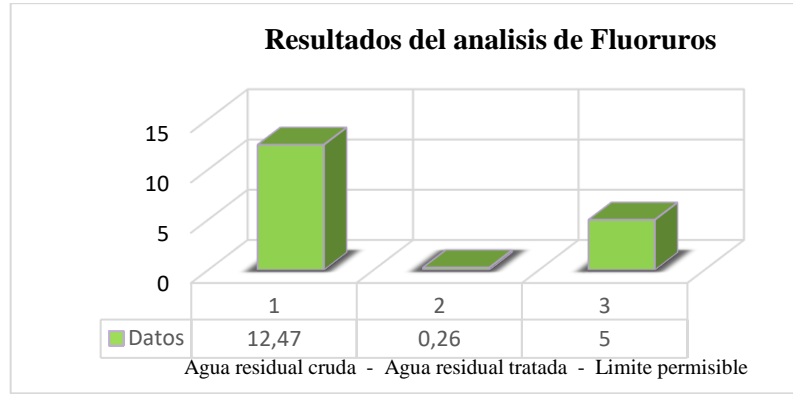


Gráfico 12-4: Resultados de remoción de fluoruros.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

- **Remoción de Fosforo**

Según el grafico 13-4, resulta una remoción de 98,78 %.

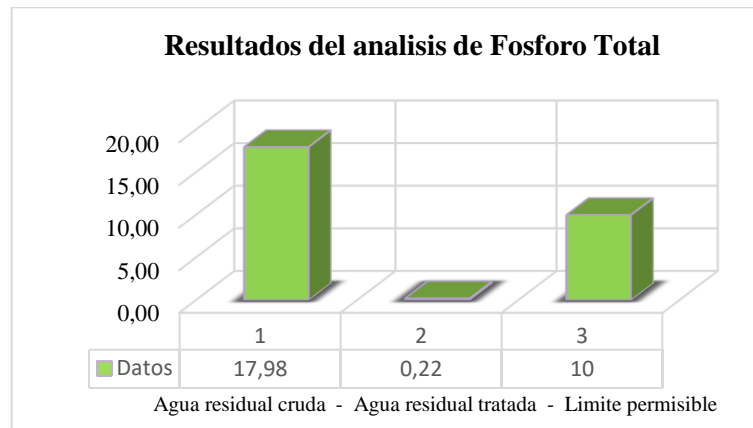


Gráfico 13-4: Resultados de remoción de fosforo total.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

- **Remoción de Nitrógeno total**

Según el gráfico 14-4, la remoción del nitrógeno resulta de 90,26 %, cierta reducción se da por la coagulación-floculación y el posterior tratamiento de lodos en los lechos de secado.

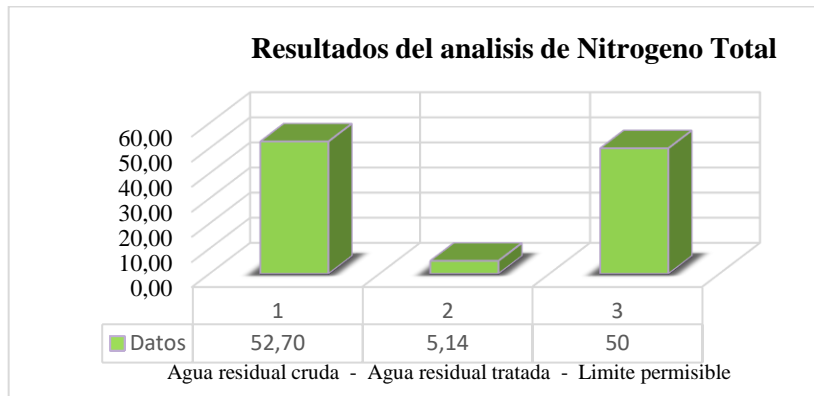


Gráfico 14-4: Resultados de remoción de Nitrógeno Kjeldahl

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.6. Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

Según el gráfico 15-4, la remoción de DQO es de 97,42 %. Esta carga contaminante se logra remover a lo largo de todo el sistema, pero la mayor concentración de DQO se reduce en el proceso de coagulación – floculación, donde genera lodos con contenido orgánico.

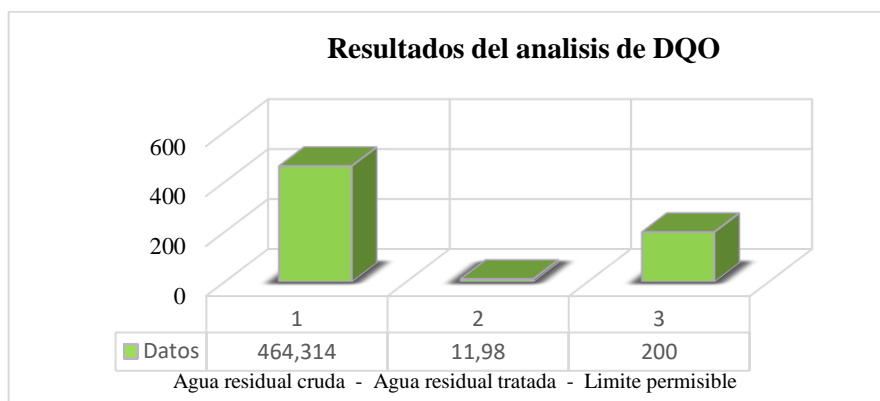


Gráfico 15-4: Resultados de remoción de Demanda Química de Oxígeno.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.7. Remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅)

Según el gráfico 16-4, el DBO₅ presenta una remoción de 93,29%, lo cual es una carga biológica que se reduce en el proceso de coagulación por la atracción de moléculas orgánicas y por la posterior formación de lodos, de esta forma se reduce la DBO₅ en todo el sistema.

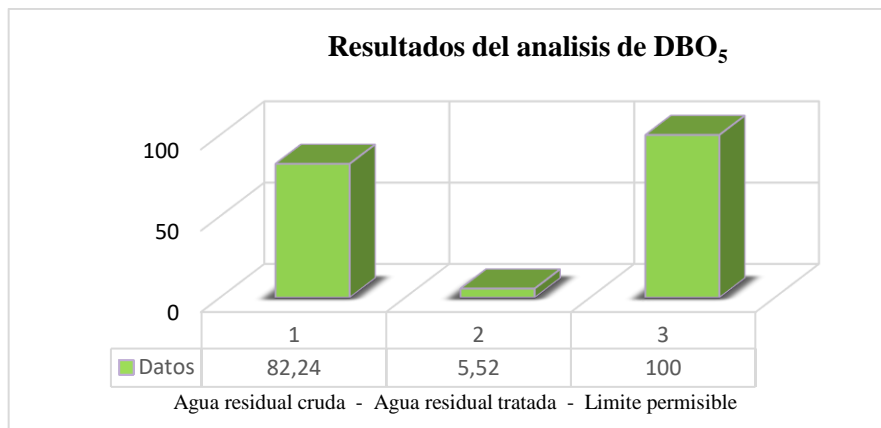


Gráfico 16-4: Resultados de remoción de Demanda Biológica de Oxígeno

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.8. Remoción de Tensoactivos

Según el gráfico 17-4, los tensoactivos alcanza una reducción del 99,56 %, cierta remoción se da en los procesos de filtrado, ya que queda retenido en el medio poroso de los filtros de grava y antracita.

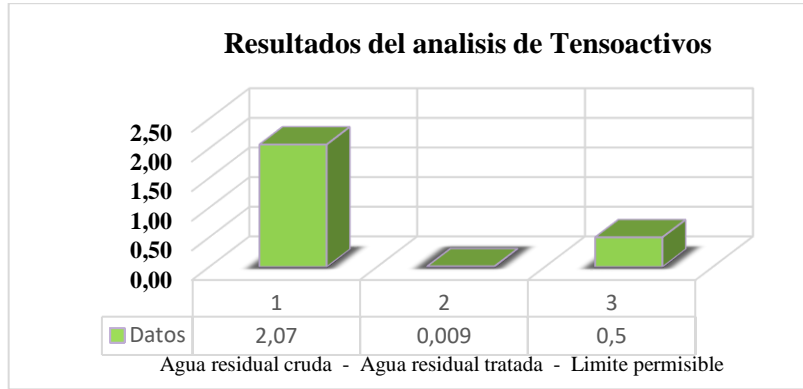


Gráfico 17-4: Resultados de remoción de Tensoactivos.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.7.9. Remoción de *Eschericha Coli*

Según el grafico 18-4, la remoción de coliformes *Eschericha Coli* es de 100%, lo cual resulta gracias a la desinfección con hipoclorito de calcio, que es un proceso previo a la descarga hacia el cuerpo receptor del agua.

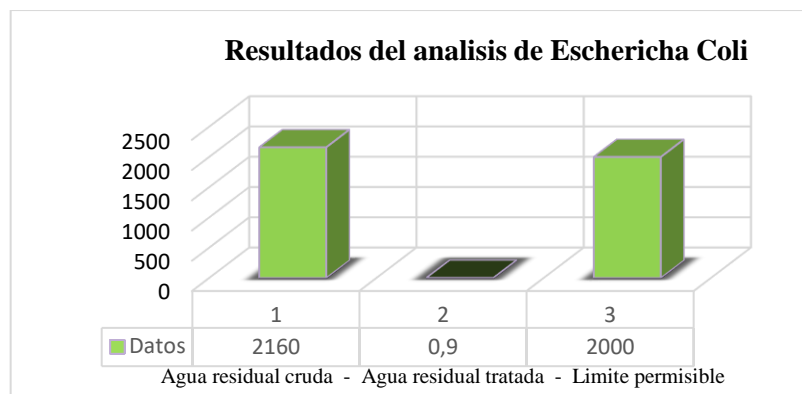


Gráfico 18-4: Resultados de remoción de *Eschericha Coli*.

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.8. Cálculos y resultados del Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual industrial para la Hilandería Intercomunitaria Salinas.

Los cálculos de ingeniería se realizan acorde a ecuaciones obtenidas de las diferentes bibliografías y las sugerencias del departamento técnico de la E.P. EMAPA-G, considerando criterios que se adapten a la realidad de la empresa textil y usando los valores del caudal a tratar y los resultados de los análisis físico-químicos.

4.8.1. Cálculos para el dimensionamiento de la planta

4.8.1.1. Cálculo del caudal de diseño

La micro empresa Hilandería de Salinas genera agua residual a partir de la producción diaria la cual depende de la demanda de los clientes.

Para obtener el caudal de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de la hilandería salinas se realiza mediante los siguientes datos:

Las aforaciones diarias obtenidas en los meses de diciembre 2020 y enero 2021 mediante el cual se determina un caudal promedio de 4,2 L/s, dentro de esto se incluye el agua generada en los procesos de producción, limpieza y mantenimiento de maquinarias durante las 8h diarias que labora la empresa.

La producción promedio anual es: 87218,5 Lb

El diseño de la planta de tratamiento será proyectado a diez años.

Mediante los datos de la producción anuales de la hilandería, se determinó un índice de aumento anual de 0,43%, la cual es considerada para la proyección anual del caudal.

a. Índice de aumento de producción

De acuerdo con la Tabla 3-3, se logró establecer un valor aproximado del índice de aumento de producción.

El promedio de producción del año 2016-2019 para obtener el índice de aumento de producción, que disminuyó por la pandemia COVID-19 se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Promedio} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{n}$$
$$\text{Promedio} = \frac{131150 + 145579 + 160008 + 174437}{4}$$
$$\text{Promedio} = 152793,5$$

Donde:

a= datos de producción de años (2016-2019)

n= número de datos

Tabla 24-4: Resultados de promedio de producción inicial

Año (2016 -2019)	Producción
Promedio	152793,5

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Entonces el índice de aumento de producción se obtiene mediante la ecuación 3:

$$\text{Índice de aumento de producción} = \frac{I_{Final} - I_{Inicial}}{I_{Final}}$$

$$\text{Índice de aumento de producción} = \frac{152793,5 - 87218,5}{152793,5}$$

$$\text{Índice de aumento de producción} = 0,43\%$$

Tabla 25-4: Dato de producción final del año 2020

Año	Producción
2020	87218,5

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Con el índice de aumento de la producción 0,43%, sirvió para determinar la proyección a futuro de la producción.

En la tabla 26-4, se detalla la producción para diez años.

Tabla 26-4: Resultados del Índice de aumento de producción en 10 años

Año	Índice de aumento de la producción (0.43%)	Producción (lb)
2020	8,12	87218,5
2021	8,55	91837,2
2022	8,98	96455,9
2023	9,41	101074,6
2024	9,84	105693,3
2025	10,27	110312,1
2026	10,7	114930,8
2027	11,13	119549,5
2028	11,56	124168,2
2029	11,99	128786,9
2030	12,42	133405,6

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

b. Aumento de producción futuro

En el año 2021 la producción aumentó un 8,55%, para calcular el aumento de la producción en el año 2030 con un índice de aumento anual de 0,43%, se calcula mediante la ecuación 4.

$$A_{fut} = I_{aa} * (A_f - A_i) + A_{act}$$

$$A_{fut} = 0,43\% * (2030 - 2021) + 8,55\%$$

$$A_{fut} = 12,42\%$$

c. La Producción futura se determina mediante la ecuación 5.

$$Pr_f = \frac{Pr_a * A_{fut}}{A_{act}}$$

$$Pr_f = \frac{91837,2 \text{ lb} * 12,42\%}{8,55\%}$$

$$Pr_f = 133405,62 \text{ lb}$$

d. Proyección de producción

Para determinar la generación del agua residual se requiere del caudal promedio 4,2 L/s en m³/día, mediante la ecuación 6.

$$4,2 \frac{L}{s} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{86400}{1 \text{ día}} = 362,88 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$G_{ar} = \frac{Q_p * 1000 \left(\frac{L}{\text{m}^3}\right)}{Pr_a}$$

$$G_{ar} = \frac{362,88 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1000 \left(\frac{L}{\text{m}^3}\right)}{91837,2 \text{ lb}}$$

$$G ar = 3,95 \frac{L}{lb * dia}$$

e. Caudal de agua residual producido diariamente

Para calcular el caudal promedio ocurre durante el agua residual producido diariamente (8 horas), este caudal promedio es usado para evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento y para desarrollar los caudales usados en diseño, también es usado para estimar parámetros de costos de bombeo y de químicos, lodos y tasas de descargas de orgánicos se calcula mediante la ecuación 7.

$$Q prod = \frac{Pr f * G ar)}{1000L/m^3}$$

$$Q prod = \frac{133405,62 lb * 3,95 \frac{L}{lb * dia)}}{1000L/m^3}$$

$$Q prod = 526,95 \frac{m^3}{dia}$$

$$Q prod = 6,1 \frac{L}{s}$$

f. Caudal de diseño

Para calcular se toma una constante de K=1 debido a la desestabilidad de la hilandería por la pandemia, se realiza mediante la ecuación 8.

$$Q dis = K * Q prod$$

$$Q dis = 1 * 6,1 \frac{L}{s}$$

$$Q_{dis} = 6,1 \frac{L}{s}$$

4.8.1.2. Cálculos del diseño del canal

Previo al diseño de las rejillas se dimensiona el canal.

- a.** La Sección y área del canal se realiza mediante los datos de la tabla 13-2 y la ecuación 9.

$$A = b \times h$$

$$A = 0,50m * 1$$

$$A = 0,50 m^2$$

- b.** El Radio hidráulico se determina mediante la ecuación 10.

$$RH = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

$$RH = \frac{0,50 m^2}{0,5 m + 2(1)}$$

$$RH = 0,2 m$$

La velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento se determina mediante los datos de la tabla 14-2 y la ecuación 11 de Manning.

$$v = \frac{1}{n} * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{0,013} * (0,2)^{\frac{2}{3}} * (0,0005)^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0,59m/s$$

4.8.1.3. Cálculos de diseño para rejillas de limpieza manual

Para el cálculo de las dimensiones de las rejillas se realiza mediante los valores de la tabla 15-2 y de los resultados obtenidos para el diseño de la planta, a continuación, se presentan:

Tabla 27-4: Datos de los parámetros necesarios para el diseño de rejillas

Parámetros	Valores requeridos	
	Q diseño	6,1 L/s	0,0061m^{3}/s
Ancho (b)	0,5m	
Profundidad (H _s)	1 m	
Altura de seguridad	0,05	
Separación entre barras (S)	25 mm	0,025m
Pendiente con relación a la vertical	45°	
Velocidad de aproximación	0,59 m/s	
Espesor de la barra (e)	10 mm	0,010 m
Tipo de barra	1,79 (valor β para forma circular)	
Aceleración de la gravedad (g)	9,8 m/s ²	

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

- a. El área entre barras (área libre al paso del agua), se calcula mediante el caudal de diseño y la velocidad mínima recomendada, mediante la ecuación 12.

$$A_L = \frac{Q}{v}$$
$$A_L = \frac{0,0061 \text{ m}^3/\text{s}}{0,59 \text{ m/s}}$$
$$A_L = 0,010 \text{ m}^2$$

- b. El área de la sección transversal del flujo se calcula mediante la ecuación 13.

$$A_F = \frac{A_L (S + e)}{S}$$
$$A_F = \frac{0,010 \text{ m}^2 (0,025 + 0,010) \text{ m}}{0,025 \text{ m}}$$
$$A_F = 0,014 \text{ m}$$

- c. Para calcular la altura del canal (tirante del agua en el canal) se calcula mediante la ecuación 14.

$$h = \frac{A_L}{b}$$
$$h = \frac{0,010 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}}$$
$$h = 0,02 \text{ m}$$

- d. Mediante la ecuación 15, se calculó la altura del canal.

$$H = h + H_s$$

$$H = 0,02 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$H = 1,02 \text{ m}$$

e. La longitud de las barras se calculó mediante la ecuación 16, con un ángulo de 45° .

$$L_b = \frac{H}{\text{sen } \phi}$$

$$L_b = \frac{1,02 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_b = 1,44 \text{ m}$$

f. El número de barras se calculó mediante la ecuación 17.

$$n = \frac{b}{e + s}$$

$$n = \frac{0,5 \text{ m}}{0,010 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$n = 14,3 \text{ barras} \approx 14 \text{ barras}$$

g. Mediante la ecuación 18, se calculó el nivel máximo del agua.

$$d_{max} = \frac{Q}{v * b}$$

$$d_{max} = \frac{0,0061 \text{ m}^3/\text{s}}{0,59 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,5 \text{ m}}$$

$$d_{max} = 0,021 \text{ m}$$

- h.** La longitud de la barrilla sumergida se calcula mediante la ecuación 19, conociendo el nivel máximo de agua.

$$L_g = \frac{d_{max}}{\text{sen } \phi}$$

$$L_g = \frac{0,021 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_g = 0,030 \text{ m}$$

- i.** Se calcula la velocidad en el canal de aproximación mediante la ecuación 20.

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

$$V = \frac{0,0061 \text{ m}^3/\text{s}}{0,010 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,61 \text{ m/s}$$

- j.** Finalmente, la pérdida de carga se calcula mediante la ecuación 21.

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{S} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g} \right) * \sin \theta$$

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,010}{0,025} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{(0,59 \text{ m/s})^2}{2(9,8)} \right) * \sin 45$$

$$h_c = 0,011 \text{ m}$$

4.8.1.4. Cálculos de diseño para el tanque de almacenamiento y agitador

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento y agitador (coagulación y floculación), se realiza según el código API 650, los tanques serán cilíndricos verticales con fondo superior semiesférica y fondo inferior plano.

- a. Para el cálculo del volumen del tanque cilíndrico vertical, se tomó en cuenta el tiempo de operación de la microempresa hilandería. $Q_{diseño} = 6,1 \text{ L/s}$

$$Q_{diseño} = 6,1 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000L} * \frac{3600 s}{1h} = 22 m^3/h$$

El volumen total para almacenar se realiza mediante la ecuación 23, y para ello se utilizó las horas que opera la hilandería 4 horas diarias para la producción.

$$V_t = 4h * 22 \frac{m^3}{h} = 88 m^3$$

Para determinar la capacidad total del tanque se aplicó un factor de seguridad del 20 %.

$$V_{diseño\ tanque} = V_t * 1,2$$
$$V_{diseño\ tanque} = 88 m^3 * 1,2 = 106 m^3$$

Verificación del volumen del tanque

- Volumen para 1 día

$$Q_{diseño} = 6,1 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000L} * \frac{3600 s}{1h} * \frac{4h}{1Dia} = 88 m^3/dia$$

- Volumen para 5 día

$$Q_{diseño} = 88 \frac{m^3}{día} * 5 días = 440 m^3$$

Se obtiene 440 m³ comparado a 106 m³, lo cual indica que se debe realizar 4 tratamientos a la semana.

- b.** El diámetro del tanque se determina a partir de la ecuación 25.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_t * b}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * 106 m^3 * 1}{\pi}}$$

$$D = 5 m$$

- c.** Una vez determinada el diámetro del tanque, se calcula el radio del tanque con la ecuación 26.

$$r = \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{5}{2}$$

$$r = 2,5 m$$

- d.** La altura del cilindro vertical se calcula mediante la ecuación 28.

$$h_{cilindro} = \frac{V_T - \frac{2\pi r^2}{3}}{\pi * r^2}$$

$$h_{cilindro} = \frac{106 m^3 - \frac{2\pi(2,5m)^2}{3}}{\pi * (2,5)^2}$$

$$h_{cilindro} = 5 m$$

- e. Se determina la altura total del tanque sumando la altura de la tapa semiesférica, a partir de la ecuación 29.

$$H_{Total} = h_{cilindro} + h_{tapa}$$

$$H_{Total} = 5m + 1 m$$

$$H_{Total} = 6 m$$

- f. El volumen del cilindro se calcula mediante la siguiente ecuación 30.

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{cilindro} = \pi * (2,5m)^2 * 5 m$$

$$V_{cilindro} = 98,2 m^3$$

- g. El volumen de la tapa semiesférica, se calcula mediante la siguiente ecuación 31.

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

$$V_{Tapa} = \frac{2\pi(2,5m)^3}{3}$$

$$V_{Tapa} = 33 m^3$$

- h. Para calcular la altura del fluido, se tomó en cuenta que la altura del fluido ocupa un 80% de la altura total del tanque, ya que este está sobredimensionado un 20%, se calcula mediante la ecuación 32.

$$h_{Fluido} = 0,8 * H_{tanque}$$

$$h_{Fluido} = 0,8 * 6 m$$

$$h_{Fluido} = 4.8 m$$

- i. El tiempo de retención hidráulico, se calcula mediante la siguiente ecuación 33.

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

$$Tr = \frac{106 m^3}{22 m^3/h}$$

$$Tr = 4.8 h$$

4.8.1.5. Cálculos de diseño del agitador de 6 paletas para la coagulación.

Para el dimensionamiento se utilizaron los resultados de la prueba de coagulación, floculación y sedimentación y se emplearon como parámetros para el diseño y dosificación de químicos.

Para el agitador se utilizó los criterios de diseño de la Tabla 20-2. el cual indica las semejanzas geométricas estandarizadas de un sistema de agitación de tipo de turbina

- a. El diámetro del agitador, se calcula a partir de la ecuación 35.

$$Da = 0,5 * 4$$

$$Da = 2 m$$

- b. Para determinar la altura del rodete sobre el fondo del tanque, se requiere del diámetro del tanque (5m) y se calcula partir de la ecuación 37.

$$C = \frac{1}{3} * Dt$$

$$C = \frac{1}{3} * 5m$$

$$C = 1,7m$$

- c. El ancho de las paletas se calcula mediante la ecuación 39.

$$W = \frac{1}{5} * Da$$

$$W = \frac{1}{5} * 2m$$

$$W = 0,4 m$$

- d. El diámetro del sujetador de las paletas se calcula mediante la ecuación 41.

$$Dd = \frac{2}{3} * Da$$

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

$$Dd = 1,33 m$$

- e. El ancho de las placas deflectoras, se calcula mediante la ecuación 43.

$$J = \frac{1}{12} * Dt$$

$$J = \frac{1}{12} * 5 m$$

$$J = 0,42m$$

- f. La longitud de las palas del rodete, se calcula mediante la ecuación 45.

$$L = \frac{1}{4} * Da$$

$$L = \frac{1}{4} * 2 m$$

$$L = 0,5 m$$

g. La altura del líquido se calcula mediante la ecuación 47.

$$H = 1 * Dt$$

$$H = 1 * 5$$

$$H = 5m$$

h. La Altura total del tanque, se calcula mediante la ecuación 48.

$$h_T = H + \left(\frac{1}{5} * H\right)$$

$$h_T = 5m + \left(\frac{1}{5} * 5 m\right)$$

$$h_T = 6$$

i. Para calcular la potencia del motor para el agitador, se requiere la viscosidad dinámica del fluido 1.139×10^{-3} (kg/ms), dato del ANEXO Q (Diaz, 2015), Gradiente de velocidad (50 s^{-1}) determinada en la prueba de jarras, y volumen de diseño 106 m^3 , se calcula mediante la ecuación 49.

$$P = G^2 V \mu$$

$$P = (50 \text{ s}^{-1})^2 (106 \text{ m}^3) (1,139 \times 10^{-3} \text{ kg/ms})$$

$$P = 302 \text{ W}$$

Considerando una eficiencia del 80% para la potencia total, se calcula mediante la ecuación 50.

$$P_T = \frac{P}{0,80}$$

$$P_T = \frac{302 \text{ W}}{0,80}$$

$$P_T = 377,5 \text{ W}$$

- j. La Velocidad de rotación para el agitador, se calcula mediante la ecuación 51, tomando en cuenta la constante de agitación para 6 paletas (6,3 adimensional) y una Densidad del líquido 999,19 (kg/m³), dato del ANEXO Q (Diaz, 2015).

$$N = \left(\frac{P_T}{k\delta D a^5} \right)^{1/3}$$

$$N = \left(\frac{377,5 \text{ kg m}^2 / \text{s}^3}{6,3 * 999,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * (2\text{m})^5} \right)^{1/3}$$

$$N = 0,12 \text{ rev/s}$$

$$N = 0,12 \frac{\text{rev}}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}}$$

$$N = 7,2 \frac{\text{rev}}{\text{min}}$$

4.8.1.6. Cálculos para la dosificación de químicos.

Los datos para la dosificación de químicos en la etapa de coagulación y floculación fueron obtenidos mediante la prueba de jarras en el laboratorio y se emplean las siguientes ecuaciones:

a. Dosis de PAC diluido (PAC-P25A)

Se requiere el volumen del tanque en litros, se realiza la siguiente conversión:

$$V_{tanque} = 106 \text{ m}^3 * \frac{1000L}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_{tanque} = 106000 \text{ L}$$

Para encontrar la dosis de PAC, se calcula mediante la ecuación 52.

$$D_{PAC} = \frac{V_{tanque} * D_{PAC \text{ Jarras}}}{V_{P. \text{ Jarras}}}$$

$$D_{PAC} = \frac{106000 \text{ L} * 22 \text{ ml}}{1 \text{ L}}$$

$$D_{PAC} = 2332000 \text{ ml}$$

Realizando la conversión a Litros se tiene:

$$D_{PAC} = 2332000 \text{ ml} * \frac{1L}{1000 \text{ ml}}$$

$$D_{PAC} = 2332 \frac{L}{\text{dia de tratamiento}}$$

La dosificación del químico PAC es 2332 L por día de tratamiento, para el volumen del tanque de almacenamiento de 106000 L.

La cantidad de PAC en gramos se calcula mediante la ecuación 53.

Para el cálculo se realiza mediante la concentración del PAC (0,4 g).

$$\text{Cantidad de PAC} = \frac{0,4 \text{ g} * 2332 \frac{L}{\text{dia de tratamiento}}}{L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cantidad de PAC} &= 932,8 \frac{g}{\text{dia de tratamiento}} * \frac{1 Kg}{1000 g} \\
 \text{Cantidad de PAC} &= 0,933 \frac{kg}{\text{dia de tratamiento}}
 \end{aligned}$$

b. Dosis de Auxiliar de la coagulación (Chemfloc N 932)

Para encontrar la dosis del Chemfloc N932, se realiza según la ecuación 54.

$$\begin{aligned}
 D_{Auxiliar} &= \frac{V_{tanque} * D_{Auxiliar Jarras}}{V_{p. Jarras}} \\
 D_{Auxiliar} &= \frac{106000 L * 24 ml}{1L} \\
 D_{Auxiliar} &= 2544000 ml
 \end{aligned}$$

Realizando la conversión a Litros se tiene:

$$\begin{aligned}
 D_{Auxiliar} &= 2544000 ml * \frac{1L}{1000 ml} \\
 D_{Auxiliar} &= 2544 \frac{L}{\text{dia de tratamiento}}
 \end{aligned}$$

La dosificación del químico auxiliar es de 2544 L por día de tratamiento, para el volumen del tanque de almacenamiento de 106000 L.

Cálculo de la cantidad de Auxiliar (Chemfloc N932) en gramos, mediante la ecuación 55. Para el cálculo se realiza mediante la concentración de Chemfloc N932 (0,2 g).

$$\begin{aligned}
 \text{Cantidad del Auxiliar} &= \frac{0,2 g * 2544 \frac{L}{\text{dia de tratamiento}}}{L} \\
 \text{Cantidad del Auxiliar} &= 508,8 \frac{g}{\text{dia de tratamiento}} * \frac{1 kg}{1000 g}
 \end{aligned}$$

$$Cantidad\ del\ Auxiliar = 0,5088\ kg/dia\ de\ tratamiento$$

c. Dosis de Cal T-30

Para encontrar la dosis de la cal T-30, se realiza según la siguiente ecuación:

$$D_{Cal} = \frac{V_{tanque} * D_{Cal\ Jarras}}{V_{P.\ Jarras}}$$

$$D_{Cal} = \frac{106000\ L * 18\ ml}{1L}$$

$$D_{Cal} = 1908000\ ml$$

Realizando la conversión a Litros se tiene:

$$D_{Cal} = 1908000\ ml * \frac{1L}{1000\ ml}$$

$$D_{Cal} = 1908 \frac{L}{dia\ de\ tratamiento}$$

La dosificación de la cal es de 1908 L por día de tratamiento, para el volumen del tanque de almacenamiento de 106000 L, la cual ayuda a la estabilización de la mezcla y para regular el pH.

Para el cálculo de la cantidad de la cal T-30, se realiza mediante una concentración de 0,2 g.

$$Cantidad\ de\ cal = \frac{0,2\ g * 1908 \frac{L}{dia\ de\ tratamiento}}{L}$$

$$Cantidad\ de\ cal = 381,6 \frac{g}{dia\ de\ tratamiento} * \frac{1\ kg}{1000\ g}$$

$$Cantidad\ de\ cal = 0,3816\ kg/dia\ de\ tratamiento$$

A partir del caudal de diseño del efluente 6,1 L/s, se estimó que el tanque de almacenamiento y agitador llegaría a un volumen de 88 m³, pero con un factor de seguridad del 20% el volumen del tanque es 106 m³ operando 4 horas diarias, y a la semana se obtiene un total de 440 m³ comparado a 106 m³, se indica que se debe realizar cuatros días de tratamiento a la semana.

$$D_{PAC} = 2332 \frac{L}{\text{día de tratamiento}} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} = 9328 \frac{L}{\text{semana}}$$

$$\text{Cantidad de PAC} = 0,933 \frac{kg}{\text{día}} \text{ de tratamiento} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} = 3.732 \frac{kg}{\text{semana}}$$

$$D_{Auxiliar} = 2544 \frac{L}{\text{día de tratamiento}} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} = 10176 \frac{L}{\text{semana}}$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad del Auxiliar} &= 0,5088 \frac{kg}{\text{día}} \text{ de tratamiento} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} \\ &= 2.0352 \frac{kg}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$D_{Cal} = 1908 \frac{L}{\text{día de tratamiento}} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} = 7632 \frac{L}{\text{semana}}$$

$$\text{Cantidad de cal} = 0,3816 \frac{kg}{\text{día}} \text{ de tratamiento} * \frac{4 \text{ días}}{\text{semana}} = 1.5264 \frac{kg}{\text{semana}}$$

4.8.1.7. Cálculos de diseño del sedimentador

Para el diseño del sedimentador se consideran los valores del criterio de diseño, además se considera una pérdida de 2% en el caudal debido a la generación de lodos hidratados que son extraídos del tanque agitador.

$$Q_{\text{diseño}} = 6,1 \frac{L}{s} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000L} * \frac{3600 \text{ s}}{1h} = 22 \text{ m}^3/h$$

$$22 \frac{m^3}{h} \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 2\%$$

$$x = \frac{2 * 22}{100} = 0,44 \text{ m}^3/h$$

$$Q_{Inicial \text{ Sedimentador}} = 22 \frac{m^3}{h} - 0,44 \frac{m^3}{h} = 21,56 \text{ m}^3/h$$

- a. El área del sedimentador se calcula en base a la carga superficial, mediante la expresión de Metcalf & Eddy (42 m/d), según la ecuación 57.

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

$$A = \frac{21,56 \text{ m}^3/h}{1,8 \text{ m/h}}$$

$$A = 12 \text{ m}^2$$

- b. El diámetro del sedimentador se calcula mediante la ecuación 59.

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{12 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\phi = 4 \text{ m}$$

- c. El Radio del Sedimentador, se realiza según la ecuación 61.

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{12 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 2 \text{ m}$$

- d. Para el ancho del sedimentador se toma en cuenta la relación de la norma (RAS, 2000) , y se calcula mediante la ecuación 64.

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{12 \text{ m}^2}{2}}$$

$$a = 2,4 \text{ m}$$

- e. El largo del sedimentador, se calcula mediante la ecuación 65.

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

$$L = \frac{12 \text{ m}^2}{2,4 \text{ m}}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

- f. Para calcular el volumen del sedimentador, se requiere los valores del ancho, largo y la altura 3,6m, tomado de la tabla 25-2, y se conoce según la Ecuación 66.

$$V = L * a * h$$

$$V = 5 \text{ m} * 2,5 \text{ m} * 3,6 \text{ m}$$

$$V = 45 \text{ m}^3$$

g. El área de la sección transversal se calcula mediante la ecuación 67.

$$A_t = \frac{V}{L}$$

$$A_t = \frac{45 \text{ m}^3}{5 \text{ m}}$$

$$A_t = 9 \text{ m}^2$$

h. El tiempo de retención hidráulico se calcula en base al caudal que se va a tratar en el sedimentador y el volumen del sedimentador, y se calcula según la ecuación 68.

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

$$T_{rh} = \frac{45 \text{ m}^3}{21,56 \text{ m}^3/h}$$

$$T_{rh} = 2 \text{ h}$$

i. La velocidad de arrastre se calcula según la ecuación 69.

$$V_A = \left[8k (s - 1)g * \frac{d}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_A = \left[(8)(0,05)(1,05 - 1) (9,8 \text{ m/s}^2) * \frac{0,01}{0,025} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_A = 0,28 \text{ m/s}$$

j. La velocidad horizontal, se calcula a partir de la ecuación 70.

$$V_h = \frac{Q}{A}$$

$$Q = 21,56 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600\text{s}} = 0,0059 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_h = \frac{0,0059 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{12,59 \text{ m}^2}$$

$$V_h = 0,00599 \text{ m/s}$$

Al comparar la velocidad de arrastre con la velocidad horizontal $0,00599 \text{ m/s} \ll 0,28 \text{ m/s}$, lo cual indica que el material sedimentado no será re-suspendido evitando así el arrastre de las partículas.

k. La eficiencia de la remoción de la DBO_5 y los SST (Sólidos Suspendidos), en tanques de sedimentación como función de la concentración del afluente y el tiempo de retención se calcula mediante la ecuación 71.

$$R = \frac{T_{rh}}{a + (b * T_{rh})}$$

Remoción de DBO tenemos:

$$R = \frac{2 h}{0,018 + (0,020 * 2)h}$$

$$R = 34,5 \%$$

Remoción de sólidos suspendidos tenemos:

$$R = \frac{2 h}{0,0075 + (0,014 * 2)h}$$

$$R = 56,3 \%$$

- l.** Para la altura máxima del sedimentador se calcula con una pendiente del 10% y una altura de 3,6m, según la ecuación 72.

$$H = h + 0,10 h$$

$$H = 3,6 m + 0,10 (3,6 m)$$

$$H = 4 m$$

- m.** La altura de reparto y reparto Central, se calcula mediante las ecuaciones 73 y 74.

Para el reparto central se considera 25% del diámetro del sedimentador:

$$R_{central} = \emptyset * 0,25$$

$$R_{central} = 4 m * 0,25$$

$$R_{central} = 1 m$$

Para la altura de reparto se toma $\frac{1}{4}$ de la profundidad del sedimentador:

$$H_{repartp} = \frac{1}{4} * h$$
$$H_{repartp} = \frac{1}{4} * 3,6 \text{ m}$$
$$H_{repartp} = 0,9 \text{ m}$$

n. La carga sobre el vertedero de salida, se calcula mediante la ecuación 75.

$$C_{vertedero} = \frac{Q}{\pi * \emptyset}$$
$$C_{vertedero} = \frac{0,0059 \frac{m^3}{s}}{\pi * 4 \text{ m}}$$
$$C_{vertedero} = 0,00047 \text{ m}^2/s$$

o. La altura del agua sobre el vertedero de salida se calcula mediante la ecuación 76.

$$H_v = \left[\frac{Q}{1,84 * 0,75b} \right]^{\frac{2}{3}}$$
$$H_v = \left[\frac{0,0059 \frac{m^3}{s}}{1,84 * 0,75 (2,4 \text{ m})} \right]^{\frac{2}{3}}$$
$$H_v = 0,015 \text{ m}$$

p. Para la cantidad de lodo a extraer del sedimentador, se requiere de los sólidos en suspensión tipo fijos es $3.0 \text{ cm}^3/\text{m}^3$, y se calcula mediante la ecuación 77.

$$V_e = SSF * Q$$

$$V_e = 3,0 \frac{cm^3}{m^3} * 0,0059 \frac{m^3}{s}$$

$$V_e = 0,0177 \frac{cm^3}{s}$$

$$V_e = 0,0177 \frac{cm^3}{s} * \frac{1m^3}{(100 m)^3} * \frac{86400 s}{1 dia}$$

$$V_e = 0,0015 m^3/dia$$

4.8.1.8. Cálculos de diseño del Lecho fluidizado

Par el dimensionamiento del lecho fluidizado se toman en cuenta los criterios de diseño de la Tabla 29-2 y 30-2.

- a.** La carga de sólidos, se calcula según la ecuación 78.

Datos requeridos:

$$Q = 6,1 L/s$$

$$SS (\text{solidos suspendidos}) = 120 \text{ ml/L} = 240 \left(\frac{mg}{L}\right); \text{ dato tomado del test de jarras.}$$

$$C = Q * SS$$

$$C = 6,1 \frac{L}{s} * 240 \frac{mg}{L}$$

$$C = 1464 \frac{mg}{s}$$

$$C = 1464 \frac{mg}{s} * \frac{1 g}{1000 mg} * \frac{1 Kg}{1000 g} * \frac{86400 s}{1 dia}$$

$$C = 126,5 \frac{kg}{dia}$$

- b. La masa de solidos suspendidos que conforman los lodos, se calcula según la ecuación 79.

$$M_{sd} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

$$M_{sd} = \left(0,5 * 0,7 * 0,5 * 126,5 \frac{kg}{dia}\right) + \left(0,5 * 0,3 * 126,5 \frac{kg}{dia}\right)$$

$$M_{sd} = 41,11 \frac{Kg}{dia}$$

- c. El volumen diario de lodos digeridos, se calcula mediante la ecuación 80, la densidad de lodos 1,04 kg/L y % Solidos 12 tomado de la tabla 29.2.

$$V_{ld} = \frac{M_{sd}}{\rho_{lodos} \left(\frac{\% \text{ solidos}}{100\%} \right)}$$

$$V_{ld} = \frac{41,11 \frac{Kg}{dia}}{1,04 \frac{kg}{L} \left(\frac{12 \% \text{ solidos}}{100\%} \right)}$$

$$V_{ld} = 329,41 \frac{L}{dia}$$

- d. El volumen de lodos a extraerse, se calcula mediante la ecuación 81, con un 55 día de tiempo requerido de gestión de lodos tomado de la tabla 30-2.

$$V_{le} = \frac{V_{ld} * T_r}{1000}$$

$$V_{le} = \frac{329,41 \frac{L}{dia} * 55 dias}{1000}$$

$$V_{le} = 18 L$$

- e. El Volumen de lodos se calcula mediante la ecuación 82, con una cantidad de precipitado 120 ml/L obtenido en por la prueba de jarras.

$$V_L = C_p * Q$$

$$V_L = 120 \frac{mL}{L} * 6,1 \frac{L}{s}$$

$$V_L = 732 \frac{mL}{s}$$

$$V_L = 732 \frac{mL}{s} * \frac{1 L}{1000 mL} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{86400 s}{1 dia}$$

$$V_L = 63,24 \frac{m^3}{dia}$$

- f. Para obtener el área del lecho de secado, se requiere del volumen de lodos obtenido del lecho de secado $m^3/día$, se realiza mediante la ecuación 83, con una profundidad 60cm tomado de la tabla 29-2.

$$A_{ls} = \frac{V_L}{H_A}$$

$$A_{ls} = \frac{63,24 m^3}{0,6 m}$$

$$A_{ls} = 105 m^2$$

- g.** El Área individual de eras de secado, se calcula mediante la ecuación 84, con un número de lechos 2-4 eras de secado recomendado por el libro capítulo 9 del libro “purificación del agua”, del Ingeniero Jairo Romero.

$$A_{ls\ ind.} = \frac{A_{ls}}{n^{\circ}\ lechos}$$

$$A_{ls\ ind.} = \frac{105\ m^2}{4}$$

$$A_{ls\ ind.} = 26,25\ m^2$$

- h.** La longitud de los lechos de secado, se realiza según la ecuación 85, con un ancho de 5 m tomado de la tabla 29-2.

$$L_{ls} = \frac{A_{ls\ ind.}}{b}$$

$$L_{ls} = \frac{26.25\ m^2}{5\ m}$$

$$L_{ls} = 5,25\ m \approx 5\ m\ \text{por parametro de diseño}$$

- i.** El Volumen del tanque de lecho de secado, se realiza según la ecuación 86, con una altura de lecho de 1.45 m tomando en cuenta la altura de las gravas, la arena y altura de seguridad.

$$V_T = L_{ls} * b_l * H_l$$

$$V_T = 5\ m * 5\ m * 1,45\ m$$

$$V_T = 36\ m^3$$

4.8.1.9. Cálculos de diseño del filtro

Para el dimensionamiento del filtro se toma en cuenta los criterios de diseño del filtro tabla 32-2 y para el sistema de drenaje de la tabla 33-2, además se considera una pérdida de 1% en el caudal debido a la precipitación de lodos hidratados.

$$Q_{\text{diseño Inicial del Sedimentador}} = 21,56 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$21,56 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 1\%$$

$$x = \frac{1 * 21,56}{100} = 0,22 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{diseño Inicial del filtro}} = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} - 21,56 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 21,34 \text{ m}^3/\text{h}$$

- a. Para el volumen del filtro, se requiere del caudal inicial que entra al sedimentador que es 21.56 m³/h, se calcula según la ecuación 87.

Para obtener el caudal en m³/día, se realiza la siguiente conversión:

$$Q = 21,34 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 512 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Para el cálculo se toma el dato de tiempo de retención de 24 h (1 día) de tabla 32-2.

$$V_f = Q * T_r$$

$$V_f = 512 \frac{m^3}{dia} * 1 dia$$

$$V_f = 512 m^3$$

- b. El Área horizontal del filtro, con una profundidad de 1,80 m tomado de la tabla 32-2, según la ecuación 88.

$$A_f = \frac{V_f}{H_u}$$

$$A_f = \frac{512 m^3}{1,80 m}$$

$$A_f = 284 m^2 \text{ para cada filtro}$$

- c. La Longitud del filtro, se calcula con la ecuación 89, con un ancho del filtro de 4 m para cada unidad tomado de la tabla 32-2

$$L = \frac{A_f}{b}$$

$$L = \frac{284 m^2}{5 m}$$

$$L = 57 m \text{ para cada unidad.}$$

- d. La Altura total de la cámara, se calcula mediante la ecuación 90.

$$H_{Tf} = H_u + 0,30$$

$$H_{Tf} = 1,80 \text{ m} + 0,30$$

$$H_{Tf} = 2,1 \text{ m}$$

- e. El Tiempo de retención Hidráulico del filtro, se calcula mediante la ecuación 91.

$$T_{rh} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{rh} = \frac{512 \text{ m}^3}{512 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$T_{rh} = 1 \text{ día}$$

- f. La Longitud total de la pared, se realiza según la ecuación 92, con un numero de filtros de 2 unidades.

$$L_{Tp} = (2 * b * N_f) + L * (N_f + 1)$$

$$L_{Tp} = (2 * 5 \text{ m} * 2) + 57 * (2 + 1)$$

$$L_{Tp} = 191 \text{ m}$$

Para el dimensionamiento del sistema de drenaje del filtro se toma los valores del criterio de diseño de la tabla 33-2.

- g. El Área de cada orificio, se calcula mediante la ecuación 93, con un diámetro de orificio laterales 0.008 mm tomado de la tabla 33-2.

$$A_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi * (0.008 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_o = 5,03 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

- h.** El Caudal que ingresa cada orificio, se calcula con una velocidad en el orificio de 3m/s criterio recomendado por la EP EMAPAG-G., mediante la ecuación 94.

$$Q_o = A_o * v_o$$

$$Q_o = 5,03 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 3 \text{ m/s}$$

$$Q_o = 1,51 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- i.** El Numero de laterales, se calcula mediante la ecuación 95, con los valores del número de laterales 2 y una separación de laterales de 1m.

$$\# \text{ lt} = n * \frac{L_{Tp}}{S_l}$$

$$\# \text{ lt} = 2 * \frac{191 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$\# \text{ lt} = 382$$

- j.** La Separación entre orificios se calcula mediante la ecuación 96, con un espacio entre orificios 7.5 cm tomado de la tabla 33-2.

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 2 * \frac{L/2}{e}$$

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 2 * \frac{57 \text{ m} / 2}{0,075\text{m}}$$

$$\frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}} = 760$$

k. El Número total de orificios, se calcula mediante la ecuación 97.

$$\# \text{ total de orificios} = \# \text{ lt} * \frac{\# \text{ orificios}}{\# \text{ laterales}}$$

$$\# \text{ total de orificios} = 382 * 760$$

$$\# \text{ total de orificios} = 290,32 * 10^3$$

l. El Área total de orificios, se calcula mediante la ecuación 98.

$$A_{To} = A_o * \# \text{ total de orificios}$$

$$A_{To} = 5,03 * 10^{-5} \text{ m}^2 * 290,32 * 10^3$$

$$A_{To} = 14,6 \text{ m}^2$$

m. La Comprobación de cumplimiento de los parámetros (0,0015-0,05), se calcula mediante la ecuación 99.

$$\frac{A_{To}}{A_f}$$

$$\frac{A_{To}}{A_f} = \frac{14,6 \text{ m}^2}{284 \text{ m}^2} = 0,052 ; \text{ si cumple}$$

Según (Keiken, 2019), menciona que la antracita en un carbón mineral de gran dureza con alto contenido en carbono (95%), e indica que la vida media del medio filtrante con antracita es de seis meses, y debe ser cambiado para una buena retención de partículas en suspensión y una mejor clarificación del agua, también es de importancia el cambio para dar mantenimiento al equipo.

4.8.1.10. Cálculo de diseño del tanque de desinfección

Para el dimensionamiento del tanque de desinfección se toman criterios de diseño propuestos por los técnicos de la EP EMAPA-G y manuales de potabilización del agua (E.P-EMAPA-G, 2012), y la tabla 34-2 y 35-2.

- a. El volumen del tanque de cloración, se calcula mediante la ecuación 100, en donde se inicia con un caudal de ingreso a los filtros de 21.34 m³/h y un tiempo de retención de 30 minutos tomado de la tabla 34-2.

CONVERSION

$$21.34 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600\text{s}} = 0,0059 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$30 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60\text{min}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 1800 \text{ s}$$

Encontramos el volumen:

$$V = 0,0059 \frac{m^3}{s} * 1800 s$$

$$V = 10.62 m^3$$

- b.** La altura del tanque, se requiere una longitud (5m) y ancho (3m) por parámetros de diseño recomendado por los técnicos del E.P EMAPA-G, se calcula con la ecuación 101.

$$A_t = \frac{V}{L * a}$$

$$A_t = \frac{10,62 m^3}{4 m * 2,5 m}$$

$$A_t = 1,062 m$$

- c.** La altura total del tanque, se calcula mediante la ecuación 102, con una altura de seguridad de 0.20 m.

$$A_T = A_t + A_s$$

$$A_T = 1,062 m + 0,20 m$$

$$A_T = 1,262 m \approx 1,30 ; \text{ para fines de construccion}$$

Para Lo cálculos de la Dosificación se utilizó el desinfectante hipoclorito de calcio (Ca (ClO)2), y lograr la eliminación total de los coliformes.

- d.** Para obtener la dosis del desinfectante Ca (ClO)2, se realizó mediante la ecuación 103.

El cálculo se realiza con la constante de 0,012 que proporciona una equivalencia a lb/día y una concentración de 6mg/L valor recomendado por los técnicos de la E.P EMAPA-G para una desinfección eficaz del agua residual industrial.

$$D_{Cl} = 0,012 * Q * C$$

CONVERSION

$$Q = 0,0059 \frac{m^3}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{1000L}{1 m^3} * \frac{1gal}{3,785 L} = 93,53 gal/min$$

$$D_{Cl} = 0,012 * Q * C$$

$$D_{Cl} = 0,012 * 93,53 \frac{gal}{min} * \frac{6mg}{L}$$

$$D_{Cl} = 6,73 \frac{lb}{dia}$$

$$D_{Cl} = 6,73 \frac{lb}{dia} * \frac{453,592 g}{1 lb} = 3052,67 \frac{g}{dia}$$

- e. El volumen de agua para diluir el hipoclorito de calcio Ca (ClO)₂, se calcula mediante la ecuación 104, con una densidad del desinfectante 800g/L.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{3052,67 \frac{g}{dia}}{800g/L}$$

$$V = 3,82 L$$

- f. El volumen de la solución madre, se calcula mediante la ecuación 105.

$$V_1 = \frac{V * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_1 = \frac{3,82 L * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_1 = 29,21 L$$

- g. El volumen de agua para diluir la solución madre, se calcula mediante la ecuación 106.

Para el cálculo se requiere valores de la concentración del $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 6mg/L (recomendado), C_2 : 0.65 mg/L (especificación técnica).

$$V_2 = \frac{C_1 * V_1}{C_2}$$

$$V_2 = \frac{6 \text{ mg/L} * 29,21 \text{ L}}{0,65 \text{ mg/L}}$$

$$V_2 = 361,94 \text{ L} \approx 362 \text{ L}$$

h. El volumen total de la solución se realiza según la ecuación 107.

$$V_T = V + V_2$$

$$V_T = 3,82 \text{ L} + 362 \text{ L}$$

$$V_T = 365,82 \text{ L}$$

i. Para obtener el goteo de la solución que será colocado en el tanque de la desinfección se requiere del volumen total de la solución 365.82 L en un tiempo de 1 día en las 4 horas de producción, se calcula mediante la ecuación 108.

$$G_s = \frac{V_T}{T}$$

$$G_s = \frac{365,82 \text{ L}}{1 \text{ dia}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} * \frac{1 \text{ dia}}{4 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$G_s = 1524 \text{ mL/min}$$

4.8.2. Resultados para el dimensionamiento de la planta de tratamiento

Tabla 28-4: Resultados del caudal de diseño

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Índice de aumento de producción	-	%	0,43
Aumento de producción futuro	A fut	%	12,42
Producción futura	Pr f	Lb	133405,62
Proyección de producción	G ar	L/(lb*día)	3,95
Caudal de agua residual producido diariamente	Q prod	L/s	6,1
Caudal de diseño	Q dis	L/s	6,1

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 29-4: Resultados del diseño del canal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Sección y área del canal	A	m ²	0,50

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Base	b	m	0,50
Altura	h	m	1
Radio hidráulico	RH	m	0,2
Velocidad de aproximación	v	m/s	0,59

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 30-4: Resultados del diseño de las rejillas de limpieza manual

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área entre barras	A_L	m^2	0,010
Área de la sección transversal	A_F	m	0,014
Ancho del canal	b	m	0,5
Altura del canal (tirante del agua en el canal)	h	m	0,02
Altura total del canal	H	m	1,02
Longitud de las barras	L_b	m	1,44

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Número de barras	N	barras	14,3 ≈14
Separación entre barras	S	m	0,025
Espesor de las barras	e	m	0,010
Pendiente con relación a la vertical	-	°	45
Nivel máximo del agua	d max	m	0,021
Longitud de la barrilla sumergida	L g	m	0,030
Velocidad en el canal de aproximación	V	m/s	0,61
Pérdida de carga	h c	m	0,011

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 31-4: Resultados del diseño del tanque de almacenamiento y agitador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño	Q diseño	m ³ /h	22
Volumen del tanque cilíndrico vertical	V (diseño tanque)	m ³	106

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Diámetro del tanque	D	m	5
Radio del tanque	r	m	2,5
Altura del cilindro	h cilindro	m	5
Altura total del tanque	H _{Total}	m	6
Volumen del cilindro	V _{cilindro}	m ³	98,2
Volumen de la tapa semiesférica	V _{Tapa}	m ³	33
Altura del fluido	h _{Fluido}	m	4,8
Tiempo de retención hidráulico	Tr	h	4,8

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 32-4: Resultados del diseño del agitador de 6 paletas para coagulación.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Diámetro del agitador	Da	m	2
Altura del rodete sobre fondo del tanque	C	m	1,7

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Ancho de las paletas.	W	m	0,4
Diámetro del sujetador de las paletas.	Dd	m	1,33
Ancho de las placas deflectoras.	J	m	0,42
Longitud de las palas del rodete.	L	m	0,5
Altura del líquido	H	m	5
Altura total del tanque.	hr	m	6
Potencia del motor para el agitador.	P	W	302
Potencia total	P _T	W	377,5
Velocidad de rotación	N	rev/min	7,2

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 33-4: Resultados de la dosificación de Químicos PAC, CHEMFLOC y CAL

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Dosis diaria de PAC diluido (PAC-P25A)	D _{PAC}	L/día de tratamiento	2332

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Cantidad diaria de PAC	-	kg/día de tratamiento	0,933
Dosis semanal de PAC diluido (PAC-P25A)	D_{PAC}	L/semana	9328
Cantidad semanal de PAC	-	kg/semana	3,732
Dosis diaria de Auxiliar de la coagulación (Chemfloc N 932)	$D_{Auxiliar}$	L/día de tratamiento	2544
Cantidad diaria de Auxiliar (Chemfloc N932)	-	kg/día de tratamiento	0,51
Dosis semanal de Auxiliar de la coagulación (Chemfloc N 932)	$D_{Auxiliar}$	L/semana	10176
Cantidad semanal de Auxiliar (Chemfloc N932)	-	kg/semana	2,0352
Dosis diaria de Cal T-30	D_{Cal}	L/día de tratamiento	1908
Cantidad diaria de cal	-	kg/día de tratamiento	0,3816
Dosis semanal de Cal T-30	D_{Cal}	L/semana	7632
Cantidad semanal de cal	-	kg/semana	1,5264

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 34-4: Resultados del diseño del sedimentador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño del sedimentador.	$Q_{\text{Inicial Sedimentador}}$	m^3/h	21,56
Área del sedimentador	A	m^2	12
Diámetro del sedimentador	\emptyset	m	4
Radio del Sedimentador	r	m	2
Ancho del sedimentador.	A	m	2,4
Largo del sedimentador	L	m	5
Altura del sedimentador	h	m	3,6
Volumen del sedimentador.	V	m^3	45
Área de la sección transversal	A_t	m^2	9
Tiempo de retención hidráulico.	T_{rh}	h	2
Velocidad de arrastre	VA	m/s	0,28
Velocidad horizontal	V h	m/s	0,00599

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Remoción de DBO	R	%	34,5
Remoción de sólidos suspendidos	R	%	56,3
Altura máxima del sedimentador.	H	m	4
Altura de reparto central	R central	m	1
Altura de reparto	H reparto	m	0,9
Carga sobre el vertedero de salida.	C Vertedero	m ² /s	0,00047
Altura del agua sobre vertedero de salida	HV	m	0,015
Cantidad de lodo a extraer del sedimentador.	Ve	m ³ /día	0,0015

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 35-4: Resultados del diseño del lecho fluidizado

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Carga de sólidos	C	kg/día	126,5

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Continuación:

Masa de solidos suspendidos que conforman los lodos	M _{sd}	kg/día	41,11
Volumen diario de lodos digeridos	V _{ld}	L/día	329,41
Volumen de lodos a extraerse	V _{le}	L	18
Volumen de lodos	VL	m ³ /día	63,24
Área del lecho de secado	A _{ls}	m ²	105
Área individual de eras de secado	A _{ls ind.}	m ²	26,25
Longitud de los lechos de secado	L _{ls}	m	5,25 ≈ 5
Volumen del tanque de lecho de secado	VT	m ³	36

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 36-4: Resultados del diseño del filtro

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal de diseño del filtro	Q Inicial Filtro	m ³ /h	21,34
Volumen del filtro.	V f	m ³	512
Área horizontal del filtro.	Af	m ²	284
Longitud del filtro	L	m	57
Altura total de la cámara.	H Tf	m	2,1
Tiempo de retención Hidráulico del filtro	T rh	día	1
Longitud total de la pared	L Tp	m	191
Área de cada orificio	AO	m ²	5,03*10 ⁻⁵
Caudal que ingresa cada orificio	QO	m ³ /s	1,51*10 ⁻⁴
Numero de laterales.	# lt	-	382
Separación entre orificios	# orificios /# laterales	-	760
Número total de orificios	# total de orificios	-	290,32*10 ³
Área total de orificios.	A To	m ²	14,6
Comprobación de cumplimiento de los parámetros.	A To / A Tf	-	0,052

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 37-4: Resultados del diseño del tanque de desinfección

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque de cloración.	V	m ³	10,62
Altura del tanque.	A _t	m	1,062
Altura total del tanque.	A _T	m	1,262 ≈ 1.30
Dosis del desinfectante Ca (CLO) ₂	D _{Cl}	g/día	3052,67
Volumen de agua para diluir el hipoclorito de calcio Ca (CLO) ₂	V	L	3,82
Volumen de la solución madre	V ₁	L	29,21
Volumen de agua para diluir la solución madre.	V ₂	L	361,94 ≈ 362
Volumen total de la solución.	V _T	L	365,82
Goteo de la solución.	G _s	mL/min	1524

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.9. Discusión de resultados

Mediante el trabajo técnico, realizado para un diseño de un sistema de tratamiento de aguas industriales para la hilandería inter- comunitaria de la parroquia salinas, de la provincia Bolívar, se ha llegado a obtener los resultados buscados de ciertos parámetros característicos del agua residual industrial que se encontraban fuera del rango, las cuales se precisaba reducir para que dicha agua pueda ser reutilizada, cumpliendo con los límites permisibles establecidos en el TULSMA, libro VI, Tabla 9. Anexo 1, de la calidad ambiental y descarga de efluentes hacia cuerpos de agua dulce.

El objetivo principal es diseñar la planta de tratamiento para la hilandería y prevenir problemas ambientales y al sector río abajo, y puedan reutilizar en diferentes fines como la agricultura, ganadería y piscicultura.

Para los respectivos análisis de los parámetros del agua residual industrial se realizó diferentes técnicas y métodos como inductivo, deductivo y experimental.

Las muestras del efluente proveniente de la hilandería fueron recogidas en las horas pico de 9:30 a 10:30 am, que genera mayor cantidad de agua en la producción, una vez realizada el muestreo fueron llevadas al Laboratorio de Control de Calidad “E.P-EMAPA-G” de la Ciudad de Guaranda, para sus respectivos análisis físico-químicos y microbiológicos. Se deduce que este efluente contaminada posee colores intensos procedentes del proceso de teñido y diferentes productos utilizados para la producción, dándonos un aspecto poco confiable, pero sin embargo se ha procurado que por medio de una serie de tratamientos el agua mejore, disminuyendo en un 100 % su grado de carga contaminante de los diferentes parámetros tanto físico-químico y microbiológica.

Para la caracterización se realizó 5 muestras simples y 2 compuesta, mediante las cuales se logró obtener resultados confiables de los análisis, para obtener resultados del agua cruda se procedió a sacar valores promedios de las 5 muestras, el mismo que es comparado con los valores

permisibles de la Norma TULSMA, Recurso Agua, Libro VI, Anexo 9, de descarga de efluentes a un cuerpo receptor de Agua dulce, y como resultados de los parámetros fuera de los límites permisibles tenemos: bario 3.804 mg/L (Limite: 2 mg/L), hierro 12.1888 mg/L (Limite: 10 mg/L), manganeso 5.862 mg/L (Limite: 2 mg/L), Cloruros 1191 mg/L (Limite: 1000 mg/L), fluoruros 12.47 mg/L (Limite: 5 mg/L), Fosforo Total 17.976 mg/L (Limite: 10 mg/L), nitrógeno total 52.704 mg/L (Limite: 50 mg/L), Tensoactivos 2.066 (Limite: 0.5mg/L), DQO 464.31 mg/L (Limite: 200 mg/L), Solidos totales disueltos 135.40 mg/L (Limite: 130 mg/L) y coliformes *Escherichia Coli* 2160 col/100ml (Limite: 2000 mg/L).

Una vez determinada los parámetros fuera del rango de la norma TULSMA, se realizó las pruebas de tratabilidad mediante una planta piloto, para obtener los criterios necesarios para el diseño de la planta.

Se realizo las pruebas de test de jarras y se determinó que los tratamientos que se deberían implementar son: rejillas, coagulación- floculación, sedimentación, filtración y desinfección, dichos tratamientos se usan para disminuir la turbiedad del agua y permitir que cada parámetro se encuentre entre los límites permisibles del TULSMA.

Las sustancias químicas que interactúan en el tratamiento de coagulación-floculación son: el PAC (policloruro de aluminio) con una concentración del 4%, el auxiliar Chemfloc N932 al 2% recomendado por el técnico del E.P EMAPAG para una buena viscosidad y la cal T-30 al 2% para obtener un pH dentro del rango permisible. Se dispondrá en el agua residual, una dosificación de 22 mL de PAC, 24 de Chemfloc y 18 de cal por cada 1000 ml de muestra y su dosificación será en 50 rpm, porque si la realiza en mayores revoluciones se rompen los flóc y si la realiza en menor no se forman los flóc.

Con el diseño de Tratamiento de aguas residuales seleccionados, se logra disminuir una gran cantidad de contaminantes obteniendo una caracterización final con los siguientes valores promedio: bario 0.23 mg/L (Limite: 2 mg/L), hierro 0.08 mg/L (Limite: 10 mg/L), manganeso 0.06 mg/L (Limite: 2 mg/L), Cloruros 147.58 mg/L (Limite: 1000 mg/L), fluoruros 0.26 mg/L (Limite: 5 mg/L), Fosforo Total 0.22 mg/L (Limite: 10 mg/L), nitrógeno total 5.14 mg/L (Limite: 50 mg/L), Tensoactivos 0.009 (Limite: 0.5mg/L), DQO 11.98 mg/L (Limite: 200 mg/L), DBO₅

5.52 mg/L (Limite: 100 mg/L), Solidos totales disueltos 90.15 mg/L (Limite: 130 mg/L) y coliformes *Escherichia Coli* 0.9 col/100ml (Limite: 2000 mg/L), los cuales nos indican que están dentro del rango de los límites permisibles del TULSMA.

Logrando garantizar la reducción de la carga contaminante de los parámetros fuera de rango de la norma y una óptima depuración del agua residual industrial mediante dichos procesos y operaciones unitarios, permite su descarga final al “Río Salinas”, sin inconvenientes posteriores a ser reutilizado en diferentes actividades agrícolas.

4.10. Análisis Económico del Sistema de Tratamiento del Agua Industrial

El operario que va a realizar la construcción de la planta del tratamiento del agua industrial de la Hilandería Inter-Comunitaria Salinas, debe disponer de conocimiento en química y mecánica, sobre todo conocimientos básicos en cuanto al funcionamiento de una planta de tratamientos de aguas industriales.

En cuanto al presupuesto para la planta se detalla a continuación:

4.10.1. Precios de materiales de construcción

Tabla 38-4: Precios del mercado - Materiales de construcción

Descripción	Unidad	Precio unitario (\$)
Arena cribada hormigón	m ³	20,2

Cemento Selva Alegre	50kg	8,11
Varilla	10mm	7,56
Bloque	Unidad	0,45

Fuente: ANDEC; Cámara de construcción,2021

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 39-4: Agua Potable

Descripción	Tarifa	Precio unitario (\$)
Consumo Industrial	USD/m ³	0,72

Fuente: (EMAPAG, 2021)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 40-4: Precios de químicos para tanque agitador y la dosificación

Descripción	Unidad	Precio unitario (\$)
PAC	kg	1,10
CHEMFLOC	kg	7,00

CAL	kg	2,50
HIPOCLORITO DE CALCIO Ca (CLO) ₂	Kg	2,71

Fuente: (QuimiNet, 2018)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 41-4: Salarios promedios de los operarios

Descripción	Precio unitario mensual (\$)
Maestro Mayor (Ingeniero/a)	850,00
Maestro	750,00
Albañil	520,00
Oficial	460,00
Soldador	800,00
Chofer profesional	614,84

Fuente: (Tusalario,2021)

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.10.2. Costos del sistema de tratamiento planteado

Tabla 42-4: Presupuesto de instalaciones y mano de obra

Instalaciones y mano de obra	
Detalle	Costo (\$)
Excavación de Tierras	300,00
Instalación de Tuberías	400,00
Mano de Obra	20640,00
Total	21340,00

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 43-4: Presupuesto del Canal

Canal					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad(m)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	1	0,5	0,1	1,6	134,25
Paredes frontales	0,5	0,5	0,1	1,1	74,65

Piso	1	0,5	0,1	1,6	134,25
Hormigón					343,15

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 44-4: Presupuesto de las rejillas de limpieza manual

Rejillas					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad(m)	Total (m³)	Costo (\$)
Marco de Hierro	0,9	0,5	0.014	1,414	98,29
Barra de hierro	0,9	0,01		0.91	72,16
					170,45

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 45-4: Presupuesto del Tanque de Almacenamiento y Agitador

Tanque de Almacenamiento y agitador					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor del material (mm)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	6	2,5	3	8,5	905,87

Paredes frontales	5	2,5	3	7,5	628,55
Piso	6	2.5	3	8,5	905,87
Hormigón					2440.29
Costo total de los dos tanques					4880,58

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 46-4: Presupuesto del Tanque Sedimentador

Tanque Sedimentador					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor del material (mm)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	5	2,4	3	7,4	826,32
Paredes frontales	3	2,4	3	5,4	553,21
Piso	5	2.4	3	7,4	826.32
Hormigón					2205.85

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 47-4: Presupuesto del Tanque de Filtración

Filtro					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor del material (m)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	14	4	2,1	18,00	1811,32
Paredes frontales	7	4	2,1	11,00	1103,03
Piso	14	4	2,1	18,00	1811,32
Hormigón					4714,67

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 48-4: Presupuesto del Tanque de desinfección

Tanque de desinfección					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	4	3	0,1	7,1	799,81
Paredes frontales	3	3	0,1	6.1	701,98

Piso	4	3	0,1	7,1	799,81
Hormigón					2301,60

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 49-4: Presupuesto del Lecho fluidizado

Lecho Fluidizado					
Construcción	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Total (m³)	Costo (\$)
Paredes laterales	7	3	0,1	10,10	1120,54
Paredes frontales	4	3	0,1	7,10	799,81
Piso	7	3	0,1	10,10	1120,54
Hormigón					3040,89

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 50-4: Presupuesto de Químicos para el tanque agitador y la dosificación

Químicos para el tanques agitador y Dosificación			
Detalle	Cantidad (Kg/día)	Cantidad (Kg/mes)	Precio (\$) /mes
PAC-P25A	0,93	27,90	30,69
Chemfloc N 932	0,51	15,30	107,10
Cal T-30	0,38	11,40	28,50
Hipoclorito de calcio Ca (CLO) ₂	3,05	91,50	247,97
Total			414,26

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 51-4: Presupuesto de Accesorios

Accesorios	
Detalle	Costo (\$)
Válvula de compuerta	450,00
Bomba del sistema	1050,00
Motor reductor	1300,00

Paletas de Agitación	325,00
Aspersores	380,00
Gastos Varios	3000,00
Total	6505,00

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

Tabla 52-4: Presupuesto Total de la planta

Presupuesto Total	
Detalle	Costo (\$)
Canal	343,15
Rejillas	170,45
Tanque de almacenamiento y agitador	4880,58
Tanque Sedimentador	2205,85
Tanque de filtración	4714,67

Tanque de desinfección	2301,60
Tanque de Lecho Fluidizado	3040,89
Accesorios	6505,00
Instalaciones y mano de obra	21340,00
Total	45502,19

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

El presupuesto para la implementación del Sistema de Tratamiento de Aguas Industriales para la Hilandería Inter-Comunitaria de la Parroquia Salinas, Provincia Bolívar es de 45502,19 dólares.

4.11. Presupuesto y cronograma del proyecto

4.11.1. Presupuesto

Tabla 53-4: Presupuestos-Recursos económicos

PRESUPUESTO			
CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA

Sustancias	\$415	x	
Aforación	\$ 60	x	
SUBTOTAL	\$475		
PLANTA PILOTO			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
Planta piloto	\$80	x	
SUBTOTAL	\$80		
MATERIAL DE OFICINA			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
Impresiones	\$40	x	
Copias	\$10	x	
Anillados	\$15	x	
Empastados	\$50	x	
SUBTOTAL	\$115		
LOGÍSTICA			
ACTIVIDAD	MONTO	FUENTE DE FINANCIAMIENTO	
		INTERNA	EXTERNA
Transporte Guaranda	\$50	x	
Uso telefonía	\$10	x	
SUBTOTAL	\$60		
TOTAL	\$730		

Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

4.11.2. Cronograma

Tabla 54-4: Cronograma

Actividad	TIEMPO																											
	1° mes-10-2020				2°mes-11-2020				3° mes-12-2020				4° mes-01-2021				5° mes-2-2021				6° mes-3-2021							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Entrega de la declaratoria							■																					
Elaboración del anteproyecto								■	■																			
Presentación- aprobación anteproyecto									■	■																		
Recepción de información en la empresa hilandería.											■	■																
Medición del caudal del agua industrial generada										■	■	■	■	■	■	■												
Realizar el proceso de muestreo del agua industrial												■																
Caracterización físico-químico, índice de biodegradabilidad y bacteriológico.													■															
Conteo de colonias de coliformes bacteriológicos.													■															
Realización de pruebas de tratabilidad														■	■													
Análisis información																				■								
Diseño de la Planta de Tratamiento																				■								

CONCLUSIONES

- Se diseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales Industriales para la hilandería inter- comunitaria de la parroquia salinas, provincia Bolívar, la misma que incluye 8 procesos de tratamientos como canal, rejillas, tanque de almacenamiento, tanque agitador, sedimentación, filtración, desinfección y el lecho fluidizado, mediante dichos procesos se logra reducir la contaminación de descarga del efluente en un 100%.
- Se realizó la caracterización físico-química y bacteriológica del agua residual industrial proveniente de los efluentes de la hilandería antes y después del tratamiento mediante las muestras simples y compuestas. Antes del tratamiento se obtiene parámetros fuera de los límites permisibles establecidos en el TULSMA, libro VI, Tabla 9. Anexo 1, de la calidad ambiental y descarga de efluentes hacia cuerpos de agua dulce, pero después de dar un tratamiento óptimo se logra obtener una remoción de dichos parámetros cumpliendo con los rangos de la norma TULSMA, como: bario 0.23 mg/L (Limite: 2 mg/L), hierro 0.08 mg/L (Limite: 10 mg/L), manganeso 0.06 mg/L (Limite: 2 mg/L), Cloruros 147.58 mg/L (Limite: 1000 mg/L), fluoruros 0.26 mg/L (Limite: 5 mg/L), Fosforo Total 0.22 mg/L (Limite: 10 mg/L), nitrógeno total 5.14 mg/L (Limite: 50 mg/L), Tensoactivos 0.009 (Limite: 0.5mg/L), DQO 11.98 mg/L (Limite: 200 mg/L), DBO₅ 5.52 mg/L (Limite: 100 mg/L), Solidos totales disueltos 90.15 mg/L (Limite: 130 mg/L) y coliformes *Escherichia Coli* 0.9 col/100ml (Limite: 2000 mg/L).
- Con los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos y microbiológicos fuera de rango, se efectuó pruebas a nivel de laboratorio mediante una planta piloto, para identificar las variables que delimitan el sistema de tratamiento del agua residual industrial para una óptima depuración del agua industrial, para identificar el tipo de tratamiento se halló mediante el índice de biodegradabilidad que es la relación DBO₅/DQO (DQO 11.98 mg/L ; DBO₅ 5.52 mg/L) el cual es útil como parámetros de concentración orgánica y resultó que se trata de un tratamiento poco biodegradable que es 0.18 e indica que su tratamiento es físico-químico, para el cual se realizó la prueba tes de jarras que consiste en representar el proceso de coagulación-floculación en vasos de

precipitación y evaluar los parámetros físico-químicos, durante o al final de cada prueba para valorar su rendimiento se requirió tener los datos iniciales de turbiedad, color, pH, temperatura para dar un óptimo tratamiento del agua industrial.

- Se realizó el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas industriales de la hilandería, con los resultados obtenidos de los cálculos de ingeniería, el cual fue proyectado para 10 años con un caudal inicial de diseño de 6.1 L, mediante el cual indica que el diseño del tanque de almacenamiento y agitador tiene una capacidad de 106 m³, el sedimentador de 45 m³, el lecho fluidizado 36 m³ y el tanque de desinfección de 10,62 m³, con más detalle de los parámetros de diseño se puede evidenciar en la diferentes tablas del apartado 4.8.2.

RECOMENDACIONES

- A la Microempresa Hilandería Inter-Comunal Salinas, se es necesario recomendar la implementación lo más pronto posible del sistema de tratamiento del agua industrial, para el manejo y control de la contaminación de los efluentes industriales descargados directamente al Río Salinas.
- Se recomienda al momento de la implementación del proyecto de construcción de la planta de tratamiento de agua industrial, considerar varias medidas de precaución en caso de fenómenos naturales, como son los aliviaderos y recirculación dentro del sistema.
- Se es necesario que la Empresa Intercomunitaria Hilandería implemente manuales de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas industriales y poner en práctica para asegurar el buen funcionamiento de esta.
- Evitar la deficiencia en el tratamiento del agua industrial, mediante el mantenimiento de los diferentes procesos de operación unitaria de la planta.
- Se debe realizar los análisis del agua tratada (afluente), para la respectiva verificación de que el tratamiento proporcionado este marchando de manera efectiva.
- Los lodos generados en el tanque de agitación y sedimentador son de composición orgánica en su mayor parte, se debe dar una adecuada disposición como abono o compost para las tierras fértiles del sector.

BIBLIOGRAFÍA

ABARCA BONILLA, Luis; et al. *Tratamiento de aguas residuales de textilera utilizando carbón activado*. Guayaquil-Ecuador : CompAs, 2017. ISBN-E: 978-9942-760-71-5, pp. 16-19.

API-ASME. *Diseño tanques de almacenamiento* [blog]. 2015. [Consulta: 25 de 02 de 2021]. Disponible en: https://www.ugr.es/~aulavirtualpfciq/descargas/documentos/Disenio_Tanques_Almacenamiento.pdf.

ARAYA, V. R. *Criterios de diseño para estaciones de cloración*. Lima : CEPIS, 2000, p. 235.

BORJA, et al. *Manual de cálculo- Capítulo XI*. Barcelona : s.n, 2016. pp. 4-6-7.

CARREÑO, C. L. *Biotecnología ambiental de aguas y aguas*. 2ª ed. Bogotá : Ecoe Ediciones Ltda, 2016. ISBN-978-958-771-344-2, p. 262.

CRITES, R; & TCHOBANOGLIOUS, G. *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. 3ª ed. Bogotá : McGraw Hill, 2000. pp. 20-45.

CRITES, Ron; & TCHOBANOGLIOUS, George. *Sistemas de manejo de aguas residuales*. Santafé-Bogotá : McGraw-Hil Interamericana S.A., 2000. Vol. I. ISBN-10: 9584100424, pp. 22-23.

CUÁSQUER PÉREZ, Gabriela Jacqueline. *Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante procesos electroquímicos (Trabajo de titulación)*. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2015. p. 23.

DIAZ, F.V. *Propiedades Físicas Del Agua como resumen en tablas termodinámicas*. Madrid : Miliarium, 2015.

E.P-EMAPA-G. *Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Guaranda-Ecuador : Brito, 2012. pp. 21-22.

EDAR, C. *Rejas de Desbaste de Limpieza Manual*. [blog]. 2016. [Consulta: 24 de 02 de 2021]. Disponible en: https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/CURSO/UNI_03/u3c2s2.htm.

EMAPAG, E.P. *Manual de calibración y mantenimiento de equipos de laboratorio*. Guaranda-Ecuador: s.n., 2012.

FERNÁNDEZ, Antonio; et al. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid : CEIM, 2006. M-30985-2006, pp. 19-24.

FERNÁNDEZ, Santiago; et al. *Tratamiento de aguas y aguas residuales*. Manabí-Ecuador : UTM, 2019. ISBN: 978-9942-948-40-3, pp. 36-49; 56-60.

FIBRAS & NORMAS. *Tratamiento de aguas residuales industriales* [blog] 2020. [Consulta: 14 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/plantas/tratamiento-aguas-residuales/industriales/>.

GARAY, M. M. *Tratamiento de aguas residuales: Técnicas Convencionales*. 2ª ed. Guayaquil-Ecuador : s.n, 2016. ISBN: 978-9942-13-872-9, p. 17.

GOOGLE-MAPS. *Mapa de la Hilandería intercomunal salinas* [blog]. 2020. [Consulta: 1 de 12 de 2020]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/HILANDERIA+SALINAS/@-1.4047339,79.018755,795m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91d369daa2c2d759:0xa9aeb5f6c41f7462!8m2!3d-1.4042459!4d-79.0159226?hl=es>.

GUARANDA, Gobierno. *Salinas* [blog]. 2020. [Consulta: 1 de 12 de 2020]. Disponible en: <http://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/salinas/>.

GUTIÉRREZ, Carlos; & MARRERO, Miguel. *Técnicas más comunes de análisis de aguas y aguas residuales*. España: s.n., 2020. ISBN: 978-959-261-604-2.

HEINK, H. *Ingeniería ambiental*. 2ª ed. s.l: Prentice Hall, 1990. pp. 140-441-485.

HUMMA. *Sistema de purificación del agua* [blog]. 2019. [Consulta: 07 de 12 de 2020]. Disponible en: <https://humma.com.ar/como-funciona-el-carbon-activado/>.

INEN-NTE 2176. *Norma técnica ecuatoriana. Parte 1: Agua, Calidad del agua, Muestreo, Técnicas de muestreo*.

IVESTER, A Lee; & NEEFUS, John. *Productos textiles* [blog]. 2016. [Consulta: 14 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+89.+Industria+de+productos+textiles>.

J2MECH, I. D. *Tanques de almacenamiento y estándar API 650* [blog]. 21 de 01 de 2020. [Consulta: 25 de 02 de 2021]. Disponible en: <http://www.j2mech.com/tanques-api-650/tanques-de-almacenamiento-y-estandar-api-650/>.

KASETSU, Nihon. *DBO y DQO* [blog] 2020. [Consulta: 17 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>.

KEIKEN. *Uso de la antracita en el tratamiento y depuración del agua* [blog]. 04 de Julio de 2019. [Consulta: 18 de 03 de 2021]. Disponible en: <https://www.keiken-engineering.com/uso-de-la-antracita-en-el-tratamiento-y-depuracion-del-agua/>.

LAPEÑA, Miguel Rigola. *Tratamiento de aguas industriales : aguas de proceso y residuales*. Barcelona: MARCOMBO,A.S, 1990. pp. 138-154.

LEY DE GESTION AMBIENTAL, Codificación. *Ley de gestion ambiental* [blog] 2004. [Consulta: 17 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>.

LOPEZ VAZQUEZ, C; et al. *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. s.l. : IWA Publishing; Es, Modelling and Design, 2017. ISBN 1780409133, p. 44.

MARTINEZ, A; et al. *Consumo de potencia en fermentadores: implicaciones del uso de turbinas y aspersores de aire no estántar*. Lima : MP, 1992. p. 177.

MCCABE, Warren; et al. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. S. 7^{ma} ed. Mexico : McGraw-Hill, 2007. ISBN-0-07-284823-5.

METCALF & EDDY. *Ingeniería de Aguas Residuales*. s.l. : McGraw-Hill, 1995. p. 510.

METCALF & EDDY, I. *Ingeniería de Aguas residuales Industriales, tratamiento, vertido y reutilización*. s.l. : McGraw-Hill, 1996. Vol. II, pp. 67-69.

METCALF & EDDY, I. *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. [ed.] Antonio García Brage. 3^a ed. s.l. : McGraw-Hill, 1995. Vol. I. ISBN: 84-481-1727-1, p. 41.

MORALES, Guillermo; et al. *Ingeniería de ríos*. San Nicolás de Hidalgo : s.n., 2018. pp. 82-85.

NAVARRO, Natalia. *Prueba de Jarras* [blog]. 2020. [Consulta: 11 de 12 de 2020]. Disponible en: <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>.

OPS-CEPIS 05.158. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima : UNATSABAR, 2005.

PIRAGÜERO, Manual. *Medición del caudal*. Medellín : Corantioquia, 2014. ISBN: 978-958-57280-7-3, pp. 4-8.

RAMALHO, R.S. *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed. Barcelona: Reverte,S.A, 1996. ISBN 84-291-7975-5, pp. 8-9-10.

RAMALHO, R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed. Barcelona: Reverté S.A, 1996. pp. 91-113.

RAMALHO, R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed. Barcelona: REVERTE, S.A, 1996. ISBN 84-291-7975-5, pp. 77-78.

RAS. *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico*. Bogota : s.n., 2000.

REMTAVARES. Índice de biodegradabilidad [blog]. 2012. [Consulta: 06 de 12 de 2020]. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2012/12/10/131836>.

REUTELSHÖFER, T; & GUZMÁN, Luis. *Guía para la toma de muestras de agua residual*. La Paz: GIZ, 2015. ISBN: 978-99974-47-91-3, pp. 6-14.

RODRIGUEZ, Braulio. [blog]. 2018. [Consulta: 11 de 12 de 2020]. Disponible en: https://issuu.com/braulio22/docs/tintorer_a__estampado_y_acabados.

ROJAS, J. R. *Teoría y Principios de Diseño. Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. pp 130-139.

ROMERO, J. *Tratamiento de aguas residuales*. Tercera. Bogotá : Alfa omega, 2002. pp. 67-707.

ROMERO, J. *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*. Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieros, 2015.

SALUD, Organización Panamericana. *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima : s.n., 2005.

STANDARD-METHODS. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater.* Departamento de control de calidad E.P-EMAPA-G. Guaranda-Ecuador : s.n., 2005.

TEJERO, J; et al. *Curso sobre tratamiento de agua residuales y explotacion de estaciones.* Corruna : E.T.C Ingenieros de Caminos, 2000.

TEXTILES, Salinerito. *Textiles Salinerito* [Blog] 1 de 08 de 2018. [Consulta: 05 de 12 de 2020]. Disponible en: https://issuu.com/salinerito/docs/cat_logo_textiles_-_pdf.

TIRENTI, Javier. [blog]. 2016. [Consulta: 25 de 02 de 2021]. Disponible en: <https://arvengtraining.com/wp-content/uploads/2016/02/STI-NOTAS-DE-ESTUDIO-PRUEBA-1.pdf>.

TULSMA 387. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Parte 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

UNASAM, Laboratorio de calidad ambiental. *Instructivo de verificación de la calibración del turbidímetro Hach 2100P.* 2010. pp. 4-5.

URIBE, Vladimir. *Agitadores de aspas* [blog]. 10 de 2013. [Consulta: 07 de 12 de 2020]. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf.

VALDEZ, C; & VÁZQUEZ, A. *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.* México: Fundación ICA, 2003. pp. 60-260.

VALDIVIEZO, Ruth Natalia. Rediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para ep-empresa municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de guaranda [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniera Química. Riobamba-Ecuador. 2014. pp. 65-70.

VÁSQUEZ, Edgardo. *Tratamiento de aguas residuales industriales* [blog]. 2015. [Consulta: 17 de 01 de 2021]. Disponible en: <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm09/tfm09-edgardo-vasquez-rodriguez.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: CERTIFICADO DEL AVAL DEL PROYECTO TÉCNICO



Salinas, 25 de Noviembre de 2020

Doctor
Bolívar Flores Mg
**PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
Presente. -

De mi consideración:

Reciba un atento saludo, con la finalidad de realizar nuevos proyectos de investigación enmarcados en la línea de investigación MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES " suelo, agua y ambiente" también en PROCESOS TECNOLÓGICOS, ARTESANALES E INDUSTRIALES "Ingeniería de Procesos Industriales" de la carrera de Ingeniería Química y del Grupo de Investigación "HILANDERÍA INTER- COMUNITARIA DE LA PARROQUIA SALINAS, PROVINCIA BOLÍVAR", se ha decidido dar el AVAL para la ejecución del Trabajo de Integración Curricular denominado "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA INTER- COMUNITARIA DE LA PARROQUIA SALINAS, PROVINCIA BOLÍVAR" que realizará la Srta. DIANA BEATRIZ LLUMIGUANO CHELA con C.I. 025011454-3 y Código estudiantil 984600, quien se integra a trabajar para el Grupo de Investigación desde 01/12/2020 hasta 28/02/2020 con un tiempo de dedicación semanal de 40 horas.

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente



VINICIO RAMIREZ
DIRECTOR EJECUTIVO DE FUNORSAL


GRUPO SALINAS

ANEXO B: MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA </p> <p>Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021</p>	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”		
a) Enjuague del envase con la muestra. b) Recogido de las muestras. c) Muestra etiquetada y transportada en un cooler portátil al laboratorio.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			1	1:1	2021/03/19

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA

a)



b)







c)

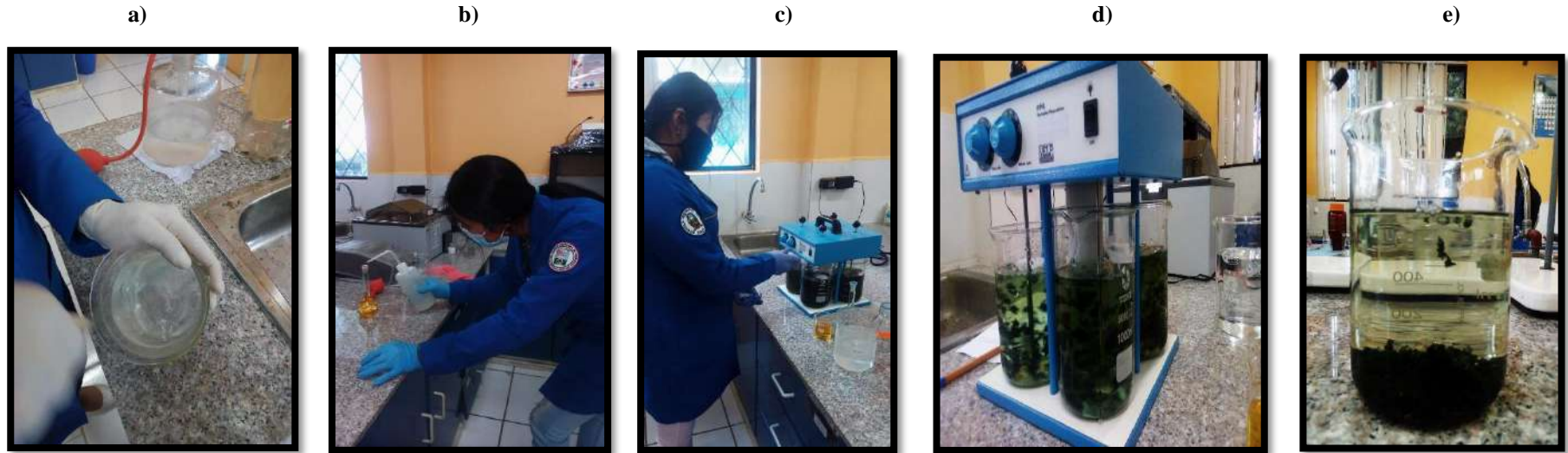


NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA </p> <p>Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021</p>	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”		
<p>a) Colocación de sustancias y reactivos en las cubetas con muestra.</p> <p>b) Medición en el espectrofotómetro.</p> <p>c) Medición del pH y temperatura.</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			2	1:1	2021/03/19

ANEXO D: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL CRUDA

a)	b)	c)	d)						
									
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”						
a) Materiales y sustancias para el análisis microbiológico. b) Procesos de traspaso del agua residual, mediante la succión de la bomba. c) Colocación de las muestras en la portátil incubadora durante 24 horas a 37 °C. d) Resultados del análisis contiene coliformes <i>Escherichia coli</i> .	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">LÁM:</td> <td style="width: 33%;">ESC:</td> <td style="width: 33%;">FECHA:</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">2021/03/19</td> </tr> </table>	LÁM:	ESC:	FECHA:	3	1:1	2021/03/19
LÁM:	ESC:	FECHA:							
3	1:1	2021/03/19							

ANEXO E: PRUEBA DE TEST DE JARRAS



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”		
a) Preparación del auxiliar CHEMFLOC b) Preparación del coagulante PAC c) Colocación de las sustancias en el proceso de test de jarras. d) Formación de flóc e) Sedimentación de los flóc.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			4	1:1	2021/03/19

ANEXO F: PRUEBAS DE TRATABILIDAD - PLANTA PILOTO

a)



b)



c)



d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA </p> <p>Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021</p>	<p align="center"> “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA” </p>		
<p>a) Planta piloto.</p> <p>b) Proceso en el tanque coagulación-floculación.</p> <p>c) Proceso de sedimentación.</p> <p>d) Proceso en el filtro: grava media y antracita.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p align="center">LÁM:</p>	<p align="center">ESC:</p>	<p align="center">FECHA:</p>
			<p align="center">5</p>	<p align="center">1:1</p>	<p align="center">2021/03/19</p>

ANEXO G: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA

a)



b)



c)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA </p> <p>Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021</p>	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”		
<p>a) Agua cruda vs Agua tratada.</p> <p>b) Colocación de sustancias y reactivos en las cubetas con muestra.</p> <p>c) Medición en el espectrofotómetro.</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁM:	ESC:	FECHA:
			6	1:1	2021/03/19

ANEXO H: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA

a)



b)



c)

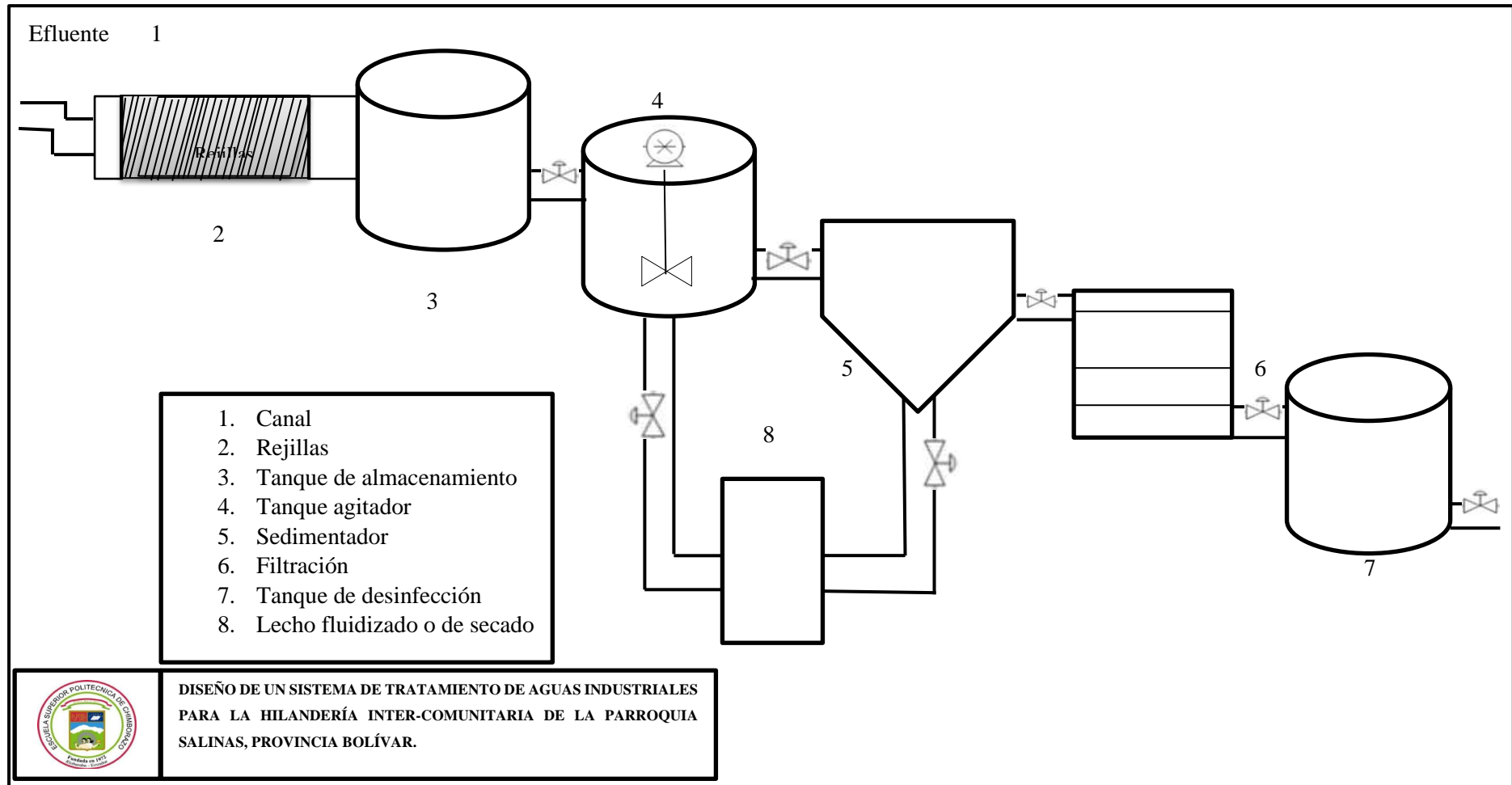


d)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA”	
a) Materiales y sustancias para el análisis microbiológico del agua tratada. b) Procesos de traspaso del agua residual tratada, mediante la succión de la bomba. c) Colocación de las muestras en la portátil incubadora durante 24 horas a 37 °C. d) Resultados de los análisis microbiológicos.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021	LÁM:	ESC:
			7	1:1
				FECHA: 2021/03/19

ANEXO I: DIAGRAMA DE FLUJO EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES PARA LA HILANDERÍA



Realizado por: Llumiguano, Diana, 2021

ANEXO J: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA-ENSAYO 1



INFORME DE ENSAYO No. 1 p

Solicitado por: Srta. Diana Llumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	5/1/2021 (09H30)	Fecha final de Análisis:	13/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Llumiguano	Fecha y Hora:	5/1/21 (08H10)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18°C T mín: 13°C

Procedencia: Descarga de agua residuales industriales 'HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS'

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	20,00	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ⁺⁺⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,008	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	3,54	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	1,98	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,005	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	0,08	± 29
Cloro Activo (Cl)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1250	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,06	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	1/20	75,00	± 22
Cromo (Cr ⁺⁺⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,35	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	465,28	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	84,67	± 28
Estano (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,068	± 11
Escherichia Coli	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	2000	2700	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	12,90	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	20,31	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	14,02	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	5,11	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	52,97	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	27,35	± 29
pH		AN-EMAPAG-26	6 - 9	12,84	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,008	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,007	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	135,34	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	500,83	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,007	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	60,91	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	± 3	13,94	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	2,60	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,007	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la EP - EMAPAG.



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • Teléfono: 03 2 981 939 • Fax: 03 2 985 660

ANEXO K: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 2



INFORME DE ENSAYO No. 2 p

Solicitado por: Srta. Diana Llumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	6/1/2021 (10H15)	Fecha final de Análisis:	10/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Llumiguano	Fecha y Hora:	6/1/21 (08H10)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18°C T mín: 13°C

Procedencia: Descarga de agua residuales industriales "HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS"

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	17,00	
Arsénico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,008	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	3,42	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	1,43	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,005	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	0,07	± 29
Cloro Activo (Cl)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1109,13	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,05	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	1/20	70,00	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,32	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	460,57	± 10
DRO ₂	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	81,56	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,058	± 11
Eschericha Coli	Col/ 100 mL	AN-EMAPAG-15	2000	2200	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	10,58	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	17,24	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	12,31	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	5,07	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	51,30	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	26,84	± 29
pH	---	AN-EMAPAG-26	6 - 9	11,52	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,008	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,006	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	133,65	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	456,82	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,007	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	58,69	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	± 3	13,78	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	1,94	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,006	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPAG




Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • **Teléfono:** 03 2 981 939 • **Fax:** 03 2 985 660

ANEXO L: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 3



INFORME DE ENSAYO No. 3 p

Solicitado por: Srta. Diana Llumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	7/1/2021 (09H10)	Fecha final de Análisis:	11/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Llumiguano	Fecha y Hora:	7/1/21 (08H00)

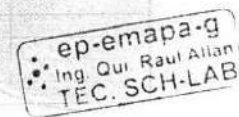
Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18°C T mín: 13°C

Procedencia: Descarga de agua residuales industriales 'HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS'

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	20,00	
Arsenico Total [As]	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio [Al ³⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,007	± 10
Bario [Ba ²⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	4,02	± 0,05
Boro [B]	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	1,36	± 17
Cadmio [Cd]	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,005	
Cianuro [CN ⁻]	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	0,08	± 29
Cloro Activo [Cl]	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros [Cl ⁻]	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1198,65	± 20
Cobalto [Co]	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,05	± 32
Cobre [Cu]	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,008	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	1,20	75,00	± 22
Cromo [Cr ⁶⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,34	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	467,62	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	82,34	± 28
Estano [Sn]	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,059	± 11
Escherichia Coli	Col/100 ml	AN-EMAPAG-15	2000	2400	
Fluoruro (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	12,83	± 35
Fósforo Total [P-PO ₄ ³⁻]	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	18,07	± 20
Hierro Total [Fe]	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	10,64	± 16
Manganeso Total [Mn ²⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	6,57	± 30
Niquel [Ni]	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	52,64	± 25
Nitrogeno Amoniacal [NH ₃ -N]	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	26,80	± 29
pH	-----	AN-EMAPAG-26	6 - 9	12,74	
Plata [Ag ⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,008	± 38
Plomo [Pb ²⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,007	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SS _T)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	136,52	± 27
Sólidos Totales [ST]	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	478,63	± 16
Sulfuros [S ²⁻]	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,007	± 34
Sulfatos [SO ₄ ²⁻]	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	60,63	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	± 3	13,85	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	1,84	± 17
Zinc [Zn ²⁺]	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,007	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P.-EMAPAG.



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • **Teléfono:** 03 2 981 939 • **Fax:** 03 2 985 660

ANEXO M: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 4



INFORME DE ENSAYO No. 4 p

Solicitado por: Srta. Diana Llumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	8/1/2021 (11H05)	Fecha final de Análisis:	12/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Llumiguano	Fecha y Hora:	8/1/21 (08H30)

Condiciones ambientales de análisis:	T máx: 18°C	T mín: 13°C
--------------------------------------	-------------	-------------

Procedencia: Descarga de agua residuales industriales "HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS"

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	18,00	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,007	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	3,98	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	1,42	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,005	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	0,09	± 29
Cloro Activo (Cl)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1195,54	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,05	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,008	± 30
Color	PCo	AN-EMAPAG-10	1/20	80,00	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,36	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	464,52	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	81,67	± 28
Estaño (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,049	± 11
Escherichia Coli	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	2000	1800	
Fluoruro (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	12,94	± 35
Fósforo Total (P _T)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	17,62	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	11,36	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	5,98	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,006	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	52,98	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	24,67	± 29
pH	.....	AN-EMAPAG-26	6 - 9	12,94	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,008	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,006	± 29
Sólidos Totales Disueltos (STD)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	134,94	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	462,96	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,008	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	61,67	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	± 3	13,65	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	1,94	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,006	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. EMAPAG.



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • Teléfono: 03 2 981 939 • Fax: 03 2 985 660

ANEXO N: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL CRUDA- ENSAYO 5



INFORME DE ENSAYO No. 5 p

Solicitado por: Srta. Diana Llumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	19/1/2021 (10H00)	Fecha final de Análisis:	23/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Llumiguano	Fecha y Hora:	19/1/21 (08H00)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18°C T mín: 13°C

Procedencia: Descarga de agua residuales industriales "HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS"

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	25,00	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,008	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	4,06	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	1,54	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,006	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	0,08	± 29
Cloro Activo (Cl)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	1199,36	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,07	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	PtCo	AN-EMAPAG-10	1/20	70,00	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,42	± 25
DICO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	463,58	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	80,96	± 28
Estano (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,075	± 11
Escherichia Coli	Cof/100 ml	AN-EMAPAG-15	2000	1700	
Floruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	13,10	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	16,64	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	12,61	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	6,58	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,008	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	53,63	± 25
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	24,67	± 29
pH		AN-EMAPAG-26	6 - 9	12,94	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,008	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,006	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	136,54	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	464,32	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,009	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	62,60	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	+ 3	13,74	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	2,01	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,007	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente. Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la EP-EMAPAG.



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • Teléfono: 03 2 981 939 • Fax: 03 2 985 660

ANEXO O: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL TRATADA- ENSAYO 6



INFORME DE ENSAYO No. 6 p

Solicitado por: Srta. Diana Lumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	8/1/2021 (10H15)	Fecha final de Análisis:	12/1/2021
Muestreo:	Srta. Diana Lumiguano	Fecha y Hora:	8/1/21 (08H10)

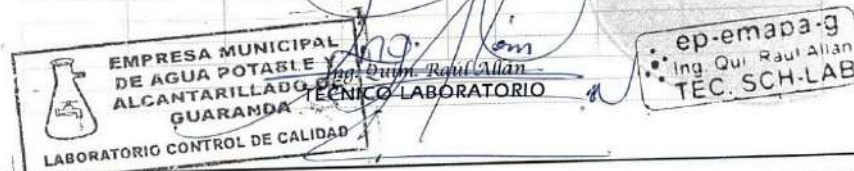
Condiciones ambientales de análisis:	T máx: 18°C	T mín: 13°C
--------------------------------------	-------------	-------------

Procedencia: Agua residuales industriales Tratada "HILANDERIA INTER- COMUNITARIA SALINAS"

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permissible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	6,56	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,004	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	0,24	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	0,18	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,005	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	< 0,1	± 29
Cloro Activo (Cl)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	150	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,06	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,004	± 30
Color	PTCo	AN-EMAPAG-10	1,20	< 1	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,009	± 25
DQO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	12,68	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	5,41	± 28
Estanio (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,041	± 11
Escherichia Coli	Col/100 mL	AN-EMAPAG-15	2000	< 1	
Fluoruros (F)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	0,25	± 35
Fósforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	0,23	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	0,07	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	0,052	± 30
Níquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,001	± 26
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	5,63	± 25
Nitrógeno Amomiacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	10,63	± 29
pH		AN-EMAPAG-26	6 - 9	7,06	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,007	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,005	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SST)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	90,67	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	356,07	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,007	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	6,91	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	± 3	17,96	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	0,008	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,005	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la E.P. - EMAPAG



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • **Teléfono:** 03 2 981 939 • **Fax:** 03 2 985 660

ANEXO P: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA INDUSTRIAL TRATADA- ENSAYO 7



INFORME DE ENSAYO No. 7 p

Solicitado por: Srta. Diana Lumiguano
 Dirección: Guaranda

Fecha y hora que ingresa al laboratorio:	19/1/2021 (09H10)	Fecha final de Análisis:	23/1/2021
Muestra:	Srta. Diana Lumiguano	Fecha y Hora:	19/1/21 (08H00)

Condiciones ambientales de análisis: T máx: 18°C T mín: 13°C

Procedencia: Agua residuales industriales Tratada "HILANDERIA INTER - COMUNITARIA SALINAS"

Resultados

Parámetros	Unidad	Método de Ensayo	Límite Máximo Permisible	Resultado	Incertidumbre (K=2)
Aceites y Grasas	mg/L	AN-EMAPAG-35	30,00	6,50	
Arsenico Total (As)	mg/L	AN-EMAPAG-36	0,1	0,01	± 24
Aluminio (Al ³⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	5,0	0,005	± 10
Bario (Ba ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-02	2,0	0,22	± 0,05
Boro (B)	mg/L	AN-EMAPAG-37	2,0	0,17	± 17
Cadmio (Cd)	mg/L	AN-EMAPAG-38	0,02	0,004	
Cianuro (CN ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-04	0,1	< 0,1	± 29
Cloro Activo (Cl ₂)	mg/L	AN-EMAPAG-39	0,5	< 0,1	± 31
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-06	1000	145,16	± 20
Cobalto (Co)	mg/L	AN-EMAPAG-07	0,5	0,07	± 32
Cobre (Cu)	mg/L	AN-EMAPAG-08	1,0	0,007	± 30
Color	Pt/Co	AN-EMAPAG-10	1,20	< 1	± 22
Cromo (Cr ⁶⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-12	0,5	0,008	± 25
DOO	mg/L	AN-EMAPAG-44	200	11,28	± 10
DBO ₅	mg/L	AN-EMAPAG-45	100	5,63	± 28
Estano (Sn)	mg/L	AN-EMAPAG-40	5,0	0,039	± 11
Eschericha Coli	Col/100 ml.	AN-EMAPAG-15	2000	< 1	
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-16	5,0	0,26	± 35
Fosforo Total (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-17	10,0	0,21	± 20
Hierro Total (Fe)	mg/L	AN-EMAPAG-18	10,0	0,08	± 16
Manganeso Total (Mn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-19	2,0	0,061	± 30
Niquel (Ni)	mg/L	AN-EMAPAG-21	2,0	0,002	± 26
Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/L	AN-EMAPAG-41	50,0	4,64	± 25
Nitrogeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/L	AN-EMAPAG-24	30,0	9,62	± 29
pH		AN-EMAPAG-26	6 - 9	7,10	
Plata (Ag ⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-27	0,1	0,007	± 38
Plomo (Pb ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-28	0,2	0,006	± 29
Sólidos Totales Disueltos (SSD)	mg/L	AN-EMAPAG-29	130	89,62	± 27
Sólidos Totales (ST)	mg/L	AN-EMAPAG-42	1600	340,21	± 16
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-43	0,5	0,007	± 34
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	AN-EMAPAG-30	1000	5,63	± 31
Temperatura	°C	AN-EMAPAG-31	+ 3	15,38	
Tensoactivos	mg/L	AN-EMAPAG-32	0,5	0,01	± 17
Zinc (Zn ²⁺)	mg/L	AN-EMAPAG-34	5,0	0,006	± 5

FUENTE: Texto Unificado de legislación secundaria de medio ambiente, Tabla 9. Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos están relacionados a lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción total o parcial sin autorización de la EP - EMAPAG



Dirección: García Moreno y 7 de Mayo • Teléfono: 03 2 981 939 • Fax: 03 2 985 660

ANEXO Q: PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m³)	Densidad (kg/m³)	Viscosidad dinámica (Ns/m²)	Viscosidad cinemática (m²/s)
0	9.805	999.8	1.781 x 10 ⁻³	1.785 x 10 ⁻⁶
5	9.807	1000.0	1.518 x 10 ⁻³	1.519 x 10 ⁻⁶
10	9.804	999.7	1.307 x 10 ⁻³	1.306 x 10 ⁻⁶
15	9.798	999.1	1.139 x 10 ⁻³	1.139 x 10 ⁻⁶
20	9.789	998.2	1.102 x 10 ⁻³	1.003 x 10 ⁻⁶
25	9.777	997.0	0.890 x 10 ⁻³	0.893 x 10 ⁻⁶
30	9.764	995.7	0.708 x 10 ⁻³	0.800 x 10 ⁻⁶
40	9.730	992.2	0.653 x 10 ⁻³	0.658 x 10 ⁻⁶
50	9.689	988.0	0.547 x 10 ⁻³	0.553 x 10 ⁻⁶
60	9.642	983.2	0.466 x 10 ⁻³	0.474 x 10 ⁻⁶
70	9.586	977.8	0.404 x 10 ⁻³	0.431 x 10 ⁻⁶
80	9.530	971.8	0.354 x 10 ⁻³	0.326 x 10 ⁻⁶
90	9.466	965.3	0.315 x 10 ⁻³	0.326 x 10 ⁻⁶
100	9.399	958.4	0.282 x 10 ⁻³	0.294 x 10 ⁻⁶

Fuente: (Diaz, 2015).



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: DIANA BEATRIZ LLUMIGUANO CHELA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA
Título a optar: INGENIERA QUÍMICA
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

1188-DBRA-UPT-2021