

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE
ZEOLITA ACTIVADA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA.**

PRESENTADO POR:

ALEJANDRA MARÍA CALDERÓN BENAVIDES

VALERIA ELIZABETH LÓPEZ JUÁREZ

CAMILO EDGARDO SIETE GUARDADO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO :

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTOR :

ING. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE
ZEOLITA ACTIVADA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
FABRICACIÓN DE PINTURAS BASE AGUA.**

Presentado por :

ALEJANDRA MARÍA CALDERÓN BENAVIDES

VALERIA ELIZABETH LÓPEZ JUÁREZ

CAMILO EDGARDO SIETE GUARDADO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

San Salvador, Noviembre 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. MIGUEL FRANCISCO ARÉVALO MARTÍNEZ

AGRADECIMIENTOS

Inicialmente agradecemos a Dios por ser nuestra fortaleza principal y ayudarnos a dar este gran paso académico para lograr el título de Ingeniero Químico.

Así mismo a la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador por permitirnos nuestra formación profesional apoyándonos en cada una de las diversas actividades cuando fue necesario y por permitirnos ser parte de los hombres y mujeres que nuestro país necesita.

Al cuerpo de maestros y maestras de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos quienes bajo su experiencia nos transmitieron sus conocimientos durante los años académicos, los cuales hicieron posible que nuestros sueños se cumplieran. Y sobre todo al Ingeniero Miguel Francisco Arévalo Martínez, asesor de la presente tesis, por su paciencia, dedicación y profesionalismo.

La confianza no se regala con facilidad y estos años como universitarios nos permiten ganar el tiempo que se necesita para lograr ese sentimiento. Como compañeros gracias a esa gran cantidad de amigos que nos acompañaron en este proceso y con los que pasamos duras circunstancias gracias a aquellos que no dudaron en brindarnos una mano amiga cuando lo necesitamos, que nos dieron ánimos cuando nos hacían falta, que hicieron todo eso sin pedir nada a cambio, eso significa contar con amigos de verdad.

ALEJANDRA CALDERÓN, VALERIA LÓPEZ, CAMILO SIETE.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme este logro y por todas esas oportunidades a puertas abiertas que se me han presentado hasta este día para saber superarme, de la misma manera a mi familia, especialmente a mis padres y mis abuelos que siempre me animan a seguir mis sueños, a confiar en mis capacidades y que orgullosamente puedo disfrutar con todos ellos a mi lado; gracias al esfuerzo y sacrificio que todos hicieron para permitirme llegar hasta donde me lo propuse y finalmente logré la meta.

A lo largo de este camino muchas personas han estado acompañándome en el día a día por salir adelante; a mis compañeros y sobre todo esos amigos que de una u otra forma siempre estuvieron ahí para animarnos entre todos y salir adelante frente a las adversidades; ese sentido de pertenencia como grupo siempre lo he apreciado y se los agradezco. No está de más decir el aprecio y orgullo que representa este logro con mis amigas y colegas Valeria López y Alejandra Calderón, han sido un magnífico complemento de equilibrio y dedicación fundamental para lograr nuestro objetivo propuesto.

Finalmente están esas personas que siempre buscan retribuir a la vida y dan sin esperar que se les reconozca, un muy buen amigo que me dió la oportunidad de retarme personalmente y supo transmitirme ese sentido de superación, gracias Ingeniero René Huevo. Hay muchos otros que los llevo muy en mente por las palabras de ánimo y escucha, por estar siempre ahí y ser un apoyo incondicional, a todos ustedes gracias.

V.J.M.J.CH.

Camilo Edgardo Siete Guardado.

DEDICATORIA

Primeramente agradecerle a Dios y a la Virgen por estar siempre un paso adelante del mío, por guiarme y protegerme durante mi educación académica, por llenarme de bendiciones con momentos de inmensa alegría y darme la fuerza necesaria en los momentos difíciles para seguir adelante.

A mi padre José Raymundo Calderón Morán a quien le guardo mi más grande admiración y respeto, quien ha sido mi más grande ejemplo a seguir con su fortaleza y sabiduría derribando cualquier obstáculo para salir adelante. A mi madre Susana Maritza Benavides de Calderón que me ha enseñado con su ejemplo que el que persevera alcanza y que Dios actúa en el momento indicado.

Gracias por estar siempre presentes en mis éxitos, por darme la fuerza para seguir adelante, apoyarme en los momentos buenos y no buenos y extendiéndome sus brazos para levantarme en mis tropiezos. Gracias por darme el mejor ejemplo a seguir y más que ser padres ser mis amigos.

A mi hermana Raquel Eugenia Calderón Benavides quien ha estado presente desde mi niñez. Juntas hemos recorrido hasta hoy largos años en los que siempre me has brindado tu apoyo incondicional.

A mi amigos Gonzalo Adalberto Portillo Palacios y Luisa María Mendoza Magaña, quienes formaron parte fundamental de mi aprendizaje, y sobre todo de mis éxitos universitarios, a quienes les agradezco su paciencia y dedicación.

Finalmente a mis compañeros de batalla, Valeria Elizabeth López Juárez y Camilo Edgardo Siete Guardado, quienes fueron un gran equipo de trabajo, mostrando siempre interés y dedicación en el largo de la elaboración y presentación de esta tesis.

Alejandra María Calderón Benavides.

DEDICATORIA

La intención de estas líneas en un documento que presenta mi último trabajo en la Universidad de El Salvador es el reflejo de lo que durante varios años ha formado mi conciencia, y entre los infinitos sistemas universales y los seres que los complementan. Dios me puso aquí y por ello le estoy inmensamente agradecida. Todas esas acciones evolutivas también hicieron que yo llegara hasta este momento, porque el mundo está hecho más que de solo átomos. Está construido sobre intenciones.

Pequeños cambios cotidianos me fueron formando porque el ser en sí mismo es un cambio y para promover esos cambios Dios me dio una familia excepcionalmente amorosa y una gran extensión de amigos, que no me juzgaron severamente cuando tropezaba, sino más bien, me ayudaron a aprender grandes lecciones de vida y me enseñaron a ser auténtica, a cambiar desde la aceptación propia, y jamás dudaron en tenderme una mano de ayuda en algún momento de angustia o frustración. Me dieron las herramientas para mi formación académica y por ellos, su amistad y esfuerzo he alcanzado todo esto.

Por esos momentos de tristezas y de alegrías donde siempre tuve a mi lado a mucha gente que me quiere, no puedo cometer la imprudencia de agradecer a un grupo selecto y olvidar mencionar algún nombre. No me lo podría perdonar: sería cometer una injusticia más de esas que yo odio mucho.

Así un proverbio africano de la tribu masai explica lo que siento "Si quieres ir rápido camina sólo; si quieres llegar lejos ve acompañado". De todos los seres que Dios puso en mi camino aprendí que se debe ser humilde con el ayudado y generoso con el que ayuda; no hay que esperar nada ni esperar todo; esa es la manera más fácil, corta y sencilla de tener felicidad. Gracias a todos por poner su granito de arena en mi felicidad.

Sinceramente y siempre agradecida.

Valeria Elizabeth López Juárez.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	19
1.0 GENERALIDADES	20
1.1 ANTECEDENTES.....	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	28
1.3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	28
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	29
1.4.1 ALCANCES.	29
1.4.2 LIMITACIONES.....	30
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	31
2.0 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA DE PINTURAS.	32
2.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PINTURAS.	34
2.1.1 Proceso de pinturas base agua.	34
2.1.2 Procesos de pinturas base aceite.....	35
2.2 MATERIAS PRIMAS.....	35
2.2.1 Pigmentos.	35
2.2.2 Resinas.....	36
2.2.3 Extendedores.....	38
2.2.4 Solventes.....	41
2.2.5 Agentes aglutinantes.....	42
2.2.6 Aditivos.	43
2.2.7 Materias primas intermedias.....	43
2.2.7.1 Pastas o Dispersiones Pigmentarias.	44
2.2.7.2 Emulsiones.....	44
2.3 TIPOS DE PRODUCTOS.....	44
2.3.1 Productos base agua.....	44
2.3.1.1 Látex.....	45
2.3.1.2 Estiren Acrílicos.....	45
2.3.1.3 Vinil Acrílicos.....	45

2.3.2	Productos base aceite.....	45
2.3.2.1	Esmaltes.....	45
2.3.2.2	Anticorrosivos.....	46
2.3.2.3	Horneables.....	46
2.3.2.4	Aerosoles.....	46
2.3.2.5	Barnices.....	46
2.4	DIAGRAMA DE PROCESO.....	47
2.5	RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DE PINTURAS.....	48
2.5.1	Residuos generados fuera del proceso de producción.....	48
2.5.2	Residuos generados en el proceso de producción.....	49
2.5.2.1	Residuos líquidos.....	49
2.5.2.1.1	Aguas de lavado.....	49
2.5.2.1.2	Solventes.....	50
2.5.2.1.3	Remanentes de pintura.....	50
2.5.2.2	Residuos sólidos.....	50
2.5.3	Aguas Residuales.....	51
2.5.3.1	Calidad del agua.....	51
2.5.3.2	Clasificación de las aguas residuales.....	51
2.5.3.2.1	Aguas domésticas.....	52
2.5.3.2.2	Aguas industriales.....	52
2.5.3.2.3	Aguas por infiltración.....	53
2.5.3.2.4	Aguas pluviales.....	53
2.5.3.3	Características de importancia de las aguas residuales.....	53
3.0	TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE PINTURAS BASE AGUA.....	55
3.1	PRETRATAMIENTO.....	56
3.2	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	56
3.2.1	Tratamiento por filtración.....	57
3.2.2	Tratamiento por floculación-coagulación.....	57
3.2.3	Tratamiento por flotación.....	58
3.2.4	Tratamiento por sedimentación.....	59
3.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	60

3.3.1	Tratamiento aerobio.....	60
3.3.2	Lodos activados.	60
3.3.3	Tratamiento anaerobio.	61
3.3.4	Lagunaje.	61
3.4	TRATAMIENTO Terciario.....	62
3.4.1	Resinas de intercambio de iones.....	62
3.4.2	Adsorción en un material granular.	63
3.4.3	Ultrafiltración.	64
3.4.4	Ósmosis inversa.	65
3.5	MATERIALES ADSORBENTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	65
3.5.1	Arena.....	66
3.5.2	Carbón activado.	66
3.5.3	Zeolita activada.....	68
3.5.4	Arcilla.	70
4.0	DISEÑO METODOLÓGICO.	71
4.1	TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL.	72
4.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	73
4.3	PARTE EXPERIMENTAL.....	74
4.3.1	Material y Equipo de Laboratorio.	74
4.3.2	Etapas de floculación-coagulación.....	75
4.3.2.1	Selección de la muestra.	76
4.3.2.2	Prueba Pivote.....	77
4.3.2.3	Determinación pH Óptimo.	79
4.3.2.4	Floculación-Coagulación con dosis de pH óptimo.....	82
4.3.2.5	Determinación de dosis óptima de coagulante.	83
4.3.3	Capacidad adsorbente con zeolita activada.	88
4.3.3.1	Selección de la muestra.	88
4.3.3.2	Capacidad adsorbente de zeolita activada con agua cruda.	89
4.3.3.3	Capacidad adsorbente de zeolita con agua tratada.	90
4.3.4	Capacidad adsorbente con carbón activado.....	92
4.3.4.1	Selección de la muestra.	92

4.3.4.2	Capacidad adsorbente de carbón activado con agua cruda.....	92
4.3.4.3	Capacidad adsorbente de carbón activado con agua tratada.....	94
5.0	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96
5.1	RESULTADOS DE LA ETAPA FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN.....	96
5.1.1	Análisis de resultados prueba pivote.	96
5.1.2	Análisis de resultado pH óptimo.	97
5.1.3	Análisis de resultados floculación-coagulación con pH óptimo.	99
5.1.4	Análisis de resultados dosis óptima de coagulante.....	100
5.1.5	Análisis de resultados dosis óptima de floculante.	101
5.1.6	Análisis estadístico de resultados etapa de Floculación-Coagulación	102
5.2	RESULTADOS DE LA ETAPA ADSORCIÓN-FILTRACIÓN.	111
5.2.1	Análisis de la capacidad adsorbente de la zeolita activada.	111
5.2.1.1	Adsorción en agua cruda.	112
5.2.1.2	Adsorción en agua tratada.	112
5.2.2	Análisis de la capacidad adsorbente del carbón activado.....	113
5.2.2.1	Adsorción en agua cruda.	114
5.2.2.2	Adsorción en agua tratada.	114
5.3	COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE ZEOLITA ACTIVADA CONTRA CARBÓN ACTIVADO.	115
5.4	CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09 PARA LA INDUSTRIA DE PINTURAS, BARNICES Y LACAS.....	119
5.4.1	Resultados de parámetros fisicoquímicos bajo el tratamiento con zeolita activada y Carbón Activado.....	119
5.4.2	Comparación de resultados globales según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.	120
5.4.3	Selección del material adsorbente para el escalamiento final	121
6.0	PROPUESTA DE DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES PARA INDUSTRIA DE PINTURAS BASE AGUA.	122
6.1	ESTIMACIONES DE FLUJOS DE AGUA PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE TANQUES EN LA PRODUCCIÓN DE PINTURAS. ..	122
6.2	CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL A TRATAR.....	123
6.3	ESCALAMIENTO DE ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	126
6.3.1	Pretratamiento.	126

6.3.2	Tratamiento primario.	127
6.3.3	Tratamiento secundario.	129
7.0	CARACTERIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN EL PROCESO.....	133
7.1	DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LOS LODOS RESIDUALES.	133
	CONCLUSIONES	142
	RECOMENDACIONES	143
	BIBLIOGRAFÍA	144
	ANEXOS	150
	ANEXO A: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA CRUDA.....	150
	ANEXO B: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON ZEOLITA ACTIVADA	151
	ANEXO C: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON CARBÓN ACTIVADO	152

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.	Propiedades Generales de una película de pintura.....	33
Cuadro 2.2.	Tipos de pigmentos orgánicos e inorgánicos.....	37
Cuadro 2.3.	Relación de tipos de resina con el uso para pinturas base agua.....	38
Cuadro 2.4.	Relación de tipos de resina con el uso para pinturas base aceite.....	39
Cuadro 2.5.	Características importantes de cargas minerales.....	40
Cuadro 2.6.	Cargas naturales más usuales en pinturas plásticas.....	41
Cuadro 2.7.	Límites de tolerancia de solventes en el ambiente de trabajo.....	42
Cuadro 4.1.	Resultados del análisis fisicoquímicos de la muestra de agua residual.....	74
Cuadro 4.2.	Material y equipo de laboratorio.....	75
Cuadro 4.3.	Resultados obtenidos de la prueba pivote de Coagulación-Floculación.....	78
Cuadro 4.4.	Clasificación del agua e influencia de la turbidez y alcalinidad sobre el sulfato de aluminio.....	79

Cuadro 4.5. Resultados determinación de pH óptimo. Efecto del pH vs tiempo de Sedimentación.....	81
Cuadro 4.6. Datos recolectados del proceso de floculación-coagulación en condiciones de pH óptimo.....	83
Cuadro 4.7. Resultados de la prueba de determinación de dosis óptima de coagulante.....	84
Cuadro 4.8. Datos obtenidos de floculación-coagulación.....	87
Cuadro 4.9. Resultados y verificación de dosis óptima de coagulante y floculante.....	87
Cuadro 4.10. Resultados de capacidad adsorbente de zeolita activada con agua cruda.....	90
Cuadro 4.11. Resultados de capacidad adsorbente de zeolita activada con agua tratada....	91
Cuadro 4.12. Resultados de capacidad adsorbente del carbón activado con agua cruda....	94
Cuadro 4.13. Resultados de capacidad adsorbente de carbón activado con agua tratada....	95
Cuadro 5.1. Resultados de la floculación-coagulación pivote con sulfato de aluminio.....	96
Cuadro 5.2. Resultados de la determinación de pH óptimo en función del tiempo de sedimentación.....	98
Cuadro 5.3. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación coagulación en condiciones de pH óptimo.....	99
Cuadro 5.4. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación coagulación a distintas dosis de coagulante.....	101
Cuadro 5.5. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación coagulación bajo condiciones óptimas de pH y coagulante.....	102
Cuadro 5.6. Datos recolectados de gramos retenidos por muestra a lo largo del proceso de floculación-coagulación.	106

Cuadro 5.7. Tabla de datos de la muestra A requerida para el cálculo de la varianza.....	107
Cuadro 5.8. Tabla de datos resumen del intervalo de confianza de la muestra A.....	109
Cuadro 5.9. Tabla de datos de la muestra B requerida para el cálculo de la varianza.....	109
Cuadro 5.10. Tabla de datos resumen del intervalo de confianza de la muestra B.....	110
Cuadro 5.11. Tabla de datos de la muestra C requerida para el cálculo de la varianza.....	110
Cuadro 5.12. Tabla de datos resumen del intervalo de confianza de la muestra B.....	111
Cuadro 5.13. Resultados adsorción con zeolita en agua cruda.....	112
Cuadro. 5.14. Resultados adsorción con zeolita en agua tratada.....	113
Cuadro 5.15. Resultados adsorción con carbón activado en agua cruda.....	114
Cuadro 5.16. Resultados adsorción con carbón activado en agua tratada.....	115
Cuadro 5.17. Comparación de sólidos removidos zeolita activada versus carbón activado en agua cruda.....	116
Cuadro 5.18. Comparación de sólidos removidos zeolita activada versus carbón activado en agua tratada.....	117
Cuadro 5.19. Eficiencia presenciada en zeolita y carbón activado.....	117
Cuadro 5.20. Resultados fisicoquímicos con zeolita activada.....	120
Cuadro 5.21. Resultados fisicoquímicos con carbón Activado.....	120
Cuadro 5.22. Comparación de resultados globales según Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.....	121
Cuadro 6.1 Cantidad de agua registrada en el mes de enero y febrero, 2016 para la producción de pintura base agua.....	123
Cuadro 6.2 Equivalencia de volumen de agua utilizada en etapa de lavado Proveniente de la producción de pintura base agua.....	124

Cuadro 6.3 Consumo de reactivos máximos en la etapa de coagulación-floculación mensual.....	128
Cuadro 6.4 Balance de materia global teórico estimado para el proceso de tratamiento de aguas mensualmente.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama del proceso de producción de pintura base agua.....	34
Figura 2.2. Diagrama del proceso de producción de pintura base aceite.....	35
Figura 2.3. Diagrama del proceso de producción en la industria de pinturas base agua.....	47
Figura 3.1. Pretratamiento de aguas con rejillas.....	56
Figura 3.2. Proceso primario de filtración con capa de arena.....	57
Figura 3.3. Principio de coagulación.....	58
Figura 3.4. Principio de floculación.....	58
Figura 3.5. Principio de flotación en aguas residuales.....	59
Figura 3.6. Proceso de sedimentación en aguas residuales.....	59
Figura 3.7. Tratamiento con lodos activados.....	60
Figura 3.8. Principio de lagunaje.....	61
Figura 3.9. Principio de purificación de agua con resinas de intercambio iónico.....	63
Figura 3.10. Principio de adsorción con carbón activado.....	63
Figura 3.11. Proceso de filtración por membranas permeables.....	64
Figura 3.12. Principio de ósmosis inversa.....	65
Figura 3.13. Principio de filtración con arena.....	66

Figura 3.14. Carbón activado granular.....	67
Figura 3.15. Zeolita activada.....	68
Figura 3.16. Arcilla para filtración.....	70
Figura 4.0. Esquema de diseño metodológico.....	72
Figura 4.1. Lugar de toma de muestra trampa 1.....	73
Figura 4.2 Muestras embotelladas, envases proporcionados por LECC.....	76
Figura 4.3 Muestra 1 agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua.....	77
Figura 4.4 Proceso de mezclado.....	77
Figura 4.5 Proceso Floculación-Coagulación.....	77
Figura 4.6 Proceso de Filtración.....	78
Figura 4.7 Muestra C1, dos días después de la filtración.....	78
Figura 4.8 Metodología de determinación de pH óptimo.....	81
Figura 4.9 Muestras de agua residual sedimentada con 70 gramos de solución de hipoclorito de calcio al 1% P/P.....	82
Figura 4.10 Etapa de filtración para determinar lodos retenidos.....	84
Figura 4.11 Lodos generados con 1.8g de coagulante en el tercer ensayo de coagulación óptima.....	86
Figura 4.12 Muestras de agua residual provenientes de la Industria de pinturas base agua.....	86
Figura 4.13 Proceso de agitación, sedimentación y filtración.....	86
Figura 4.14 Proceso de adsorción de zeolita activada con agua cruda.....	89
Figura 4.15 Proceso de adsorción de zeolita activada con agua tratada.....	91

Figura 4.16	Proceso de adsorción de carbón activado con agua cruda.....	93
Figura 4.17	Proceso de adsorción de carbón activado con agua tratada.....	95
Figura 5.1.	Gráfico comparativo de pH final vs tiempo de sedimentación.....	99
Figura 5.2	Tabla de distribución t de Student con v grados de libertad.....	105
Figura 6.1	Diagrama de la etapa de Pretratamiento.....	126
Figura 6.2	Diagrama de la etapa de Flocculación-Coagulación.....	128
Figura 6.3	Diagrama de la etapa de Adsorción-Filtración.....	130
Figura 6.4	Diagrama del proceso completo del sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria de pinturas base agua.....	132
Figura 7.1	Tipos de tratamiento aplicados al tipo de lodo clasificado.....	136
Figura. 7.2	Caracterización y composición de lodos.....	138
Figura 7.3	Manejo de lodos en diferentes países.....	141

INTRODUCCIÓN

La necesidad de disponer de agua para satisfacer los requerimientos en procesos productivos industriales, está sujeto al desarrollo de una serie de actividades con el fin de proteger el recurso hídrico, el medio ambiente y la salud humana, contemplados bajo normativas y leyes en el marco legal de la región. Una de ellas es el tratamiento de aguas residuales provenientes de las industrias productoras a través de las cuales se pueden mejorar las condiciones de salud y disminuir la contaminación en las aguas de mar, ríos y lagos.

El tratamiento de aguas residuales que provienen de diferentes industrias en El Salvador es de gran importancia ya que nuestro país es catalogado como uno de los tres países que viven en constante estrés hídrico en América Latina, generando así un alto nivel en escasez de agua y una disminución en su calidad.

En efecto la contaminación del agua es uno de los hechos de mayor importancia en la actualidad, debido a que genera diferentes impactos tanto en la salud humana como en el medio ambiente, no sólo de forma inmediata sino también a mediano y largo plazo. Por lo que es necesario contribuir a la prevención de dicha problemática ya que las principales causas de contaminación química y bacteriológica del agua son debidas al mal manejo de aguas residuales agrícolas e industriales.

En este sentido el presente trabajo se enfocará en las aguas residuales provenientes de la industria de pinturas base agua y tendrá como finalidad brindar una comparación entre dos propuestas de tratamiento de aguas residuales. En cada propuesta se harán evaluaciones y análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua residual, tanto a la entrada como a la salida del sistema, de manera que se puedan contrastar los valores que arrojen estos análisis con las especificaciones de cumplimiento dentro de los parámetros establecidos por normativas medioambientales, con el propósito de eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes presentes en el efluente, obteniendo así, agua de mejor calidad.

1.0 GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES.

La industria de pinturas en El Salvador se ha mantenido en constante desarrollo y evolución en el país a lo largo de los últimos años, obteniendo resultados innovadores con los avances tecnológicos y diversificación de productos. Igualmente existe una diversidad de industrias enfocadas para la producción de pintura, entre las cuales podemos mencionar: El sector industrial orientado para el sector automotriz, industria de electrodomésticos, artículos eléctricos/electrónicos, industria de grifería y sanitarios, industria de la construcción, y por supuesto, el sector de pinturas arquitectónicas en el que se incluye también el uso de pintura en aerosol.

Entre la gran variedad de productos disponibles en la industria de pinturas se generan diversas clasificaciones, entre los que destacan las pinturas base agua o solvente, barnices, selladores y esmaltes; estos productos presentan una amplia variedad de acuerdo a su uso, ya sea industrial o arquitectónico.

Paralelamente a la producción de las pinturas en base agua o solvente, las empresas también elaboran productos en pasta, pinturas en polvo (de fabricación propia o importada) y algunas de las resinas y aditivos requeridas como materia prima son generalmente importados. Las empresas han diversificado su mercado para dar una atención integral a sus clientes, es por ello que además elaboran aditivos, pastas especiales y barnices para la preparación de superficies, previo al pintado, ofreciendo una amplia gama de productos para los consumidores.

Para la fabricación de pinturas se requiere de las siguientes materias primas: resinas naturales, resinas sintéticas, solventes, pigmentos orgánicos, pigmentos inorgánicos, titanio, carbonato de calcio, pastas, tintes, secantes, antiespumantes, odorantes y otros, los cuales en su mayoría son importados.

De forma general las materias primas más utilizadas se describen a continuación:

a) Los pigmentos son productos en polvo, insolubles por sí solos en el medio líquido de la pintura. Sus funciones son suministrar color y poder de cubrimiento y buscan contribuir

a las propiedades anticorrosivas de la pintura además de darle estabilidad frente a diferentes condiciones ambientales y agentes químicos.

b) Los agentes aglutinantes son sustancias normalmente orgánicas, cuya función principal es dar protección. Se pueden utilizar en forma sólida, disueltos o dispersos en solventes orgánicos volátiles, en solución acuosa o emulsionada en agua. Estas sustancias comprenden: aceites secantes, resinas naturales y resinas sintéticas.

c) Las resinas naturales en su mayoría son de origen vegetal, con excepción de la goma laca. Actualmente su uso ha declinado considerablemente debido al desarrollo de un gran número de resinas sintéticas, siendo éstas más resistentes al agua y agentes químicos. Entre las resinas sintéticas más utilizadas se encuentran las resinas alquídicas, acrílicas, fenólicas, vinílicas, epóxicas, etc.

d) Los extendedores conocidos como “cargas”, utilizados para distribuir el pigmento y contribuir con un efecto de relleno. Entre estos materiales se encuentran sustancias de origen mineral como: baritas, tizas, caolines, sílice, micas, talcos, etc., y de origen sintético como: creta, caolines tratados y sulfato de bario precipitado.

e) Los solventes, o vehículos volátiles, son sustancias líquidas que dan a las pinturas el estado de fluidez necesario para su aplicación, evaporándose una vez aplicada la pintura.

f) Los aditivos menores son sustancias añadidas en pequeñas dosis para realizar funciones específicas y que no cumplen los ingredientes principales. Entre los más utilizados se encuentran los materiales secantes, plastificantes y antisedimentables.

- Las sustancias secantes permiten controlar la velocidad de secado. Normalmente se utilizan sales orgánicas de elementos metálicos (cobalto, manganeso, plomo, calcio, zinc, hierro, vanadio, cerio y zirconio).
- Las sustancias plastificantes proporcionan flexibilidad y adherencia a los recubrimientos de superficie. Se clasifican en: aceites vegetales no secantes (derivados del aceite de ricino), monómeros de alto punto de ebullición (ftalatos) y polímeros resinosos de bajo peso molecular (poliester).
- Las sustancias antisedimentantes previenen o disminuyen la precipitación de los pigmentos reduciendo la fuerza de atracción entre partículas.

PINTURAS EN BASE AGUA

Las pinturas basadas en agua generalmente están compuestas por la mezcla de pigmentos, sustancias secantes, agentes dispersantes, preservantes, amoníaco o aminas, agentes antiespumantes, resina, cargas y un alto porcentaje de agua.

La elaboración de estas pinturas se inicia con la adición de agua, amoníaco y agentes dispersantes a un estanque de premezcla; posteriormente, se adicionan los pigmentos y los agentes secantes. Una vez realizada la premezcla y dependiendo del tipo de pigmento, el material pasa a través de un equipo especial de molienda, donde ocurre la dispersión y luego se transfiere a un tanque de mezcla con agitación continua y en donde se incorporan las resinas y los plastificantes, seguidos de preservantes y antiespumantes.

Por último se agrega el agua necesaria para lograr la consistencia deseada, y luego de mezclar todos los ingredientes, el producto obtenido es filtrado para remover pigmentos no dispersos mayores a 10 μm , siendo posteriormente envasado. Normalmente sólo los esmaltes y anticorrosivos base aceite pasan por equipos de molienda; los látex y pastas se dispersan y terminan en tanques de mezcla secundarios. Cabe recalcar que el uso del recurso hídrico en la industria de pinturas base agua en su mayor porcentaje queda contenido en el producto final, sin embargo, los tanques de mezcla donde se ha llevado el proceso de elaboración de la pintura son lavados, generándose, en esta etapa, las aguas residuales, de fundamental importancia para esta investigación.

El control del impacto ambiental que este tipo de industrias genera puede evaluarse bajo la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 en su apartado de fabricación pinturas, barnices y lacas.

Un estudio realizado por el Laboratorio Especializado de Control de Calidad (LECC) sobre las aguas residuales de una planta de producción de pintura base agua, determinó algunos parámetros incluidos en la norma previamente mencionada, entre los cuales se encuentran:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno 5.20*¹ (DBO): Las descargas de agua contienen una alta demanda bioquímica de Oxígeno con un valor de 193.3 mg/L, cuyos parámetros dentro de la norma es de 100 mg/L.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): El resultado del análisis nos muestra un valor de 682.4 mg/L cuando la norma establece un valor de 300mg/L como máximo.
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): Con una concentración de 268mg/L cuando la norma exige una concentración de 100mg/L como máximo.
- Sólidos Sedimentables: El valor obtenido se encuentra dentro del rango con 0.5mL/L cuando la norma establece un máximo de 15mL/L.
- Aceites y Grasas: Con una concentración de 19.8mg/L frente a la norma que exige un máximo de 30mg/L.
- pH: Medición de pH dentro del rango con un resultado de 7.4, cuyo valor debe oscilar entre 5.5 y 9.0.

Por lo que se puede deducir que tres de los seis parámetros mencionados anteriormente se encuentran fuera de la especificación que exige la NSO 13.49.01:09, y por lo tanto, para los fines de esta investigación con los sistemas de tratamiento propuestos se evaluará el grado de funcionalidad por medio de la medición de los valores fuera de rango; pero si posteriormente al tratamiento estos parámetros entran en reglamentación se declarará que el sistema es funcional. Uno de los métodos para llevar a cabo la disminución de contaminantes en aguas residuales es la adsorción con materiales como carbón activado y zeolita activada.

El método de adsorción en el tratamiento de aguas ha sido utilizado desde muchos años atrás. Según Textos científicos (2006):

La adsorción en disoluciones fue observada por primera vez por Lowitz en 1785 y pronto se aprovechó para la decoloración del azúcar en su etapa de refinado. En la segunda mitad del siglo XIX ya se utilizaban en América filtros de carbón vegetal en las plantas de tratamiento de aguas.

Durante la Primera Guerra Mundial se fabricaron grandes volúmenes de carbón activo granular (GAC) para emplearse en las máscaras de gas. Las primeras unidades con carbón

¹*Prueba acreditada Norma ISO 17025 vigente.

activo granular usadas para el tratamiento de aguas de abastecimiento público fueron construidas en Hamm (Alemania) en 1929.

El carbón activo en polvo (PAC) se utilizó por primera vez para aguas públicas en New Milford (Nueva Jersey, EE.UU.), en 1930.

Durante las siguientes décadas, el interés de la adsorción como proceso para eliminar compuestos orgánicos presentes en las aguas potables aumentó progresivamente junto a la creciente preocupación sobre la contaminación de los recursos hídricos debida a los residuos industriales, productos químicos usados en la agricultura y a las descargas de las alcantarillas. Una preocupación observada desde los años 70 se refiere al hecho comprobado de la formación de trihalometanos (THMs) y otros agentes sospechosos de ser cancerígenos durante la cloración del agua que contenga sus precursores orgánicos. Actualmente, en los Estados Unidos se aplica la adsorción en el tratamiento de aguas potables, especialmente, con el objeto de controlar su color, sabor y olor. También se considera este proceso para la eliminación de compuestos químicos orgánicos, compuestos clorados, así como de los productos de la desinfección. Por otro lado, algunos compuestos inorgánicos perjudiciales para la salud, como algunos metales pesados, se pueden separar por adsorción.

En Europa hay larga experiencia con carbón activo granular para el tratamiento de aguas procedentes de ríos contaminados. Se espera que en el futuro las aplicaciones de la adsorción para el control de la contaminación de las aguas potables debida a compuestos tóxicos o cancerígenos en pequeñas concentraciones, aumenten progresivamente.

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo. Hay dos formas clásicas de utilización de carbón activo, con propiedades diferentes y utilizadas en diferentes aplicaciones: - Carbón activado granular (GAC). Se suele utilizar una columna como medio de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado, en la que el agua entra por la parte inferior y asciende hacia la superior. El tamaño de partícula en este caso es mayor que en el otro. Se suele utilizar para eliminar elementos traza, especialmente orgánicos, que pueden estar presentes en el agua, y que habitualmente han resistido un tratamiento biológico. Son elementos, que a pesar de su pequeña concentración, en muchas ocasiones proporcionan

mal olor, color o sabor al agua. -Carbón activo en polvo (CAP). Este tipo de carbón se suele utilizar en procesos biológicos, cuando el agua contiene elementos orgánicos que pueden resultar tóxicos. También se suele añadir al agua a tratar, y pasado un tiempo de contacto, normalmente con agitación, se deja sedimentar las partículas para su separación previa. Suelen ser operaciones llevadas a cabo en discontinuo. (Rodríguez, et al, 2006).

La viabilidad económica de este proceso depende de la existencia de un medio eficaz de regeneración del sólido una vez agotada su capacidad de adsorción. El GAC se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y posterior eliminación de la superficie del sólido en un horno. Las propiedades del carbón activo se deterioran, por lo que es necesario reponer parte del mismo por carbón virgen en cada ciclo. Por otro lado el CAP es más difícil de regenerar, pero también es cierto que es más fácil de producir. El coste es un parámetro importante a la hora de la elección del adsorbente. Alternativas al carbón activo son las zeolitas, arcillas (montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc.), los denominados adsorbentes de bajo coste, procedentes en su mayor parte de residuos sólidos orgánicos. Recientemente se están desarrollando derivados de polisacáridos (biopolímeros derivados del almidón) (Crini, 2005). La aplicaciones de la operación de adsorción es amplia, desde un amplio abanico de sustancias orgánicas (colorantes, fenol, mercaptanos, etc.) hasta metales pesados en todos sus estados de oxidación. (Rodríguez, et al, 2006).

En El Salvador para el caso de la Zeolita, se han considerado como minerales aluminosilicatos microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente. Hasta octubre 2012 se han identificado 206 tipos de zeolitas según su estructura, de los cuales más de 40 ocurren en la naturaleza; los restantes son sintéticos. (Textos científicos, 2016).

La línea de investigación más completa obtenida para el uso de la zeolita es utilizada en la mitigación de suelos, para disminuir el impacto negativo que los fertilizantes causan en él; la adición de zeolita, crea una malla molecular capaz de retener iones en el suelo, haciendo que el sistema suelo-planta sea más eficiente en términos de mayor producción por unidad de área y de menor contaminación del recurso hídrico de los acuíferos. (Chicas, et al, 2006).

Si bien es un material que ha innovado para su uso con el tratamiento de aguas residuales, para las diferentes industrias, sin embargo, no existen estudios exhaustivos de la capacidad adsorbente de este material, o información de fuentes confiables en el área del tratamiento de aguas para industria de pinturas o similares, para ser considerados como un punto de partida para el desarrollo que se pretende; si bien la mayor parte de información es referente a las características y ficha técnica de las zeolitas, sus usos y posibles aplicaciones no se encuentran indicios de documentos o investigaciones realizadas con resultados y valores tangibles de la aplicación de este mineral para el tratamiento de aguas residuales válidos para ser referenciado en este apartado.

Entre los compromisos ambientales que los países adquieren para disminución de desechos y residuos contaminantes se encuentra un documento creado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile en Santiago de Chile, que puede ser utilizado como una guía en ese país y es la razón principal del nombre del documento “Guía para el control y prevención de la contaminación industrial en industria elaboradora de pinturas”, este busca orientar al sector en materia ambiental, entregando herramientas de prevención y control de la contaminación, este documento presenta información sobre el impacto ambiental que provocan los residuos generados por la industria de pinturas y también presenta un apartado sobre la contaminación del agua a causa de los mismos residuos de producción. El documento que realizó esa comisión en contraparte presenta métodos de control y prevención de los impactos ambientales y el reciclaje del agua residual.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las industrias dedicadas a la producción de pinturas base agua generan agua residual que provienen del lavado de los tanques de producción, la cual es descargada sin un control apropiado de su contenido, es decir, que como agua residual contiene contaminantes que no son previamente tratados. Esta problemática es evidente en el reporte de análisis de aguas realizado por LECC en el año 2015 para una industria dedicada al rubro de pinturas base agua en el que se demuestran que algunos resultados de pruebas fisicoquímicas no cumplen con los rangos requeridos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 en su apartado para fabricación de pinturas, por lo tanto, debe ser prioridad desarrollar un método que permita la remoción de cargas sólidas contaminantes de estos efluentes.

A partir de esta problemática, en la búsqueda de soluciones surge la propuesta de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria de pintura de aguas, cuyo objetivo principal es la remoción de contaminantes sólidos, en su mayoría pigmentos y sedimentos arrastrados en el proceso de producción. Con esta problemática se propone la comparación de un sistema de filtración utilizando zeolita activada y otro utilizando carbón activado con la finalidad de evaluar la capacidad de adsorción de ambos materiales para así remover la carga sólida de contaminantes presentes en el agua. De esta manera se pretende generar un sistema de tratamiento de aguas que garantice el cumplimiento de los parámetros exigidos en la NSO 13.49.01:09 para el rubro de fabricación de pinturas, barnices y lacas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una evaluación de la capacidad adsorbente de zeolita activada en comparación con carbón activado, para establecer el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto para la industria de pinturas.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los efluentes líquidos del proceso de fabricación de pinturas base agua por medio de análisis fisicoquímicos.
- Obtener agua tratada por medio de adsorción con zeolita activada y con carbón activado, evaluando así la reducción de carga sólida de contaminantes en aguas residuales provenientes de la industria de pinturas base agua.
- Comparar la efectividad de los adsorbentes en estudio por medio de pruebas de laboratorio al agua tratada para que cumpla con los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09.
- Estimar el flujo de agua proveniente del proceso de lavado de los tanques de producción de pintura para dimensionar los sistemas de tratamiento de aguas.
- Caracterizar los desechos de lodos que se generan en el proceso de tratamiento aplicado a las aguas residuales de la industria de pinturas base agua y sugerir medidas para la disposición final de los residuos.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 ALCANCES.

- Se construirá un sistema por inmersión para el tratamiento de aguas residuales generadas en el proceso de producción de pinturas base agua que permita utilizar zeolita activada y otro con carbón activado como adsorbentes de partículas contaminantes.
- Se efectuarán mediciones del volumen de agua utilizada en el proceso de lavado de tanques de producción de pintura base agua, llevando un reporte diario para estimar el volumen global a tratar semanalmente.
- La recolección de flujos provenientes de las etapas de lavado y limpieza en el proceso de producción de pintura a base de agua, se efectuará en un periodo de tiempo de una semana para definir de esta forma un volumen acumulado de agua residual constante y suficiente que garantice un proceso continuo de tratamiento de agua y estandarizar el flujo de ingreso en el sistema a diseñar.
- En este sistema para el tratamiento del agua residual, que incluye el uso de zeolita activada o carbón activado, se tendrá como objetivo adsorber contaminantes de las aguas residuales para minimizar la carga sólida en el efluente.
- Se propondrá el diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes de los procesos de limpieza y lavado de los tanques de producción de la industria de pinturas a base de agua que cumpla con los parámetros requeridos según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09, por lo que se efectuarán análisis de caracterización del efluente a tratar y del efluente tratado, tales como: análisis microbiológico para aguas residuales, determinación de nitrógeno, determinación de sólidos totales, análisis de metales pesados, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, con el fin de determinar la capacidad de remoción de contaminantes del sistema propuesto en función de las especificaciones establecidas en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09.
- Se generarán lodos como desechos que deberán ser recolectados y será necesario caracterizarlos por medio de análisis de laboratorio tales como: nitrógeno, fosforo, bacterias patógenas y metales pesados, para determinar la apropiada disposición de dichos residuos.

1.4.2 LIMITACIONES.

- Las propuestas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales serán diseñadas estrictamente para tratar las aguas residuales provenientes de los procesos de producción de pinturas a base de agua, debido a que los efluentes generados en la producción de pintura base aceite (por naturaleza hidrofóbico) requieren de un proceso de tratamiento diferente y su distinta densidad no permite la adsorción en zeolita activada o en carbón activado, interfiriendo por su incompatibilidad con el agua en un proceso batch de agua residual en el que mezcle los efluentes de los dos tipos de pinturas.
- La zeolita disponible al alcance de la propuesta a generar es Zeolita Molsiv Adsorbents RK-29 1/16, en gránulos, según ficha de datos de seguridad versión 1.2, por lo que deberá tomarse en cuenta que los datos obtenidos en el sistema pueden variar de acuerdo al proveedor.
- El carbón disponible al alcance de la propuesta a generar es carbón activado granular CAL 12x40, según ficha de datos de seguridad, por lo que también deberá tomarse en cuenta que los datos obtenidos en el sistema pueden variar de acuerdo al proveedor.
- La pintura a base de agua es fabricada con productos que podrían incluir contaminantes difícilmente tratables con los sistemas propuestos y que no estén incluidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09, por lo que requieran un pre-tratamiento o pos-tratamiento bajo condiciones con reactivos especiales que escaparían del alcance de los sistemas propuestos, sin embargo, se deben considerar para futuras investigaciones.

1.5 JUSTIFICACIÓN.

La implementación de plantas de tratamientos de aguas residuales surge debido a la búsqueda de la preservación de los recursos naturales cuya pérdida afecta progresivamente el medio en el que el ser humano, la flora y la fauna conviven, causando diversos impactos como el cambio climático. Por otra parte, las diversas actividades productivas y la desmedida explotación de los recursos naturales nos llevan a una alarmante situación en la cual el medio ambiente se ve afectado produciendo bajas en el recurso agua.

Históricamente en El Salvador las aguas residuales domésticas e industriales de las ciudades han sido evacuadas desde las viviendas y diversas industrias por medio de sistemas de tuberías al interior de las mismas, que se conectan a sistemas de tuberías ubicadas en las calles de las ciudades y las conducen hacia sitios de descarga, ya sea quebradas, ríos o lagunas, sin ningún tratamiento previo. Esta práctica ha convertido a la mayoría de nuestros ríos y quebradas en verdaderas cloacas, como lo demuestran numerosos estudios de monitoreo de calidad de agua y fuentes de contaminación. Según un estudio realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), monitoreando 55 ríos en el país, determinaron el índice de calidad de agua en ellos clasificándolos como: 31% malo, 7% pésimo, 17% podría potabilizarse bajo métodos convencionales y solo 26% resultando apropiado para consumo agrícola. (MARN 2013). Toda descarga de aguas residuales debería contar con un sistema de tratamiento y depuración que remueva o disminuya los contaminantes del agua hasta niveles que sean tolerables por el cuerpo receptor, por lo que dichos sistemas de tratamiento deben tener niveles de eficiencia controlados, a efecto de asegurar que la calidad de agua a descargar cumpla con los límites de contaminación permitidos por las normas respectivas. Por ello se pretende comparar la capacidad de adsorción de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de zeolita activada y otro a base de carbón activado, para la industria de pinturas base agua, siendo estos dos de los minerales más eficientes y económicos en sistemas de filtración, alcanzando así una purificación de agua muy notable, no sólo en la remoción de sulfatos, fosfatos y cloruros, sino también la eliminación de metales pesados como: plomo, arsénico, níquel y cobre, disminuyendo así las cargas contaminantes en los efluentes, el impacto ambiental y acrecentando el recurso agua.

2.0 GENERALIDADES DE LA INDUSTRIA DE PINTURAS.

La Industria de pinturas en El Salvador se ha mantenido en constante desarrollo y evolución en el país a lo largo de los últimos años, obteniendo resultados innovadores con los avances tecnológicos y diversificación de productos. De la misma forma existe una diversidad de industrias enfocadas para la producción de la pintura entre las cuales podemos mencionar: El sector industrial orientado para el sector automotriz, la industria de electrodomésticos, de artículos eléctricos/electrónicos, la industria de grifería y sanitarios, la industria de la construcción y por supuesto el sector de pinturas arquitectónicas en el que se incluye también el uso de pintura en aerosol.

Las empresas han diversificado su mercado para dar una atención integral a sus clientes, es por ello que además elaboran aditivos, pastas y barnices para preparación de superficies previo al pintado; ofreciendo una amplia gama de productos para los consumidores.

¿Qué son las Pinturas?

Las pinturas constituyen el método más adecuado para la protección ante la corrosión, oxidación u otro tipo de deterioro de los materiales empleados en construcción o en la industria. Las pinturas líquidas se basan en la dispersión de pigmentos finamente divididos en un líquido compuesto de una resina o aglutinante y un disolvente volátil. Además de las pinturas líquidas existen otros tipos como: pinturas en emulsión y pinturas en polvo, que se caracterizan por la ausencia de disolventes en su composición.

En general las pinturas se aplican en capas delgadas sobre un soporte y poseen la propiedad de transformarse en una película sólida y adherente por evaporación del solvente.

Según el manual de tecnología de pinturas y recubrimientos fueron razones ecológicas que impulsan el control de la emisión de solventes volátiles a la atmósfera, indujeron al desarrollo de pinturas en polvo constituidas en su totalidad por sólidos, es decir sin solventes en su composición.

La formulación de una pintura eficiente requiere conocer las propiedades intrínsecas de los diferentes componentes involucrados y además establecer las reacciones o interacciones que tienen lugar durante la elaboración y almacenamiento del producto. El cuadro 2.1 presenta las propiedades generales de una película de pinturas.

Cuadro 2.1. Propiedades Generales de una película de pintura.

<ul style="list-style-type: none">• Buena resistencia al agua y baja absorción: cantidad de agua que resulta absorbida por la pintura en condiciones de equilibrio.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la transferencia al vapor de agua: se refiere al paso de agua en forma molecular a través de la película de pintura seca, es importante relacionar la menor transferencia al vapor de agua con una mayor capacidad anticorrosiva.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia al pasaje de iones: evitar el paso de iones cloruro, sulfato, carbonatos, etc., que inician o aceleran los procesos corrosivos.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a los fenómenos osmóticos: evitar el paso de agua a través de una membrana más diluida a una más concentrada, provoca pérdidas de adhesión y delaminación.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la intemperie: se demuestra mediante la exposición al medio ambiente.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a los agentes químicos: generalmente las utilizadas en la industria están expuestas a salpicaduras de álcalis, ácidos, solventes, etc.
<ul style="list-style-type: none">• Elevada adhesión seca y húmeda.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a la abrasión: generalmente las industriales están expuestas a procesos abrasivos por desplazamiento de equipos, herramientas, transporte, etc.
<ul style="list-style-type: none">• Elasticidad o capacidad de elongación: la pintura debe acompañar los movimientos de contracción y expansión del material base.
<ul style="list-style-type: none">• Resistencia a las bacterias y hongos: microorganismos como bacterias y hongos actúan en pinturas y recubrimientos de base acuosa.
<ul style="list-style-type: none">• Otras propiedades adicionales: resistencia a temperaturas extremas (hornos), radiación (plantas nucleares), esfuerzos mecánicos (corte, tracción, compresión), etc.

Fuente: Schweigger E., 2005.

2.1 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PINTURAS.

El proceso que se utiliza para formar la película va a estar relacionado al material resinoso utilizado para la elaboración del ligante, este proceso se puede llevar a cabo por medio de mecanismos físicos o químicos.

- Secado: proceso mediante el cual se da la evaporación de la mezcla solvente obteniendo como resultado una capa delgada de pintura. Las películas de pintura que contienen procesos de evaporación de disolventes y diluyentes se les denomina termoplásticas las cuales son caracterizadas por un secado rápido.
- Curado: proceso que involucra diferentes cambios físicos y químicos con el fin de transformar un material de su estado termoplástico original (sólido o líquido, soluble y de peso molecular finito) a una condición final termoestable (sólido, insoluble, infusible y de peso molecular infinito).

2.1.1 Proceso de pinturas base agua.

El sistema de pinturas base agua se compone de base, resina y diluyente a base de agua, los pigmentos empleados son de origen mineral y se utilizan para dar color a las pinturas, las pinturas base agua se caracterizan por secar de una manera rápida y reducir en un alto porcentaje la emisión de solventes con lo que preserva el medio ambiente; sin embargo sus colores no son tan brillantes, su resistencia es baja y se deterioran con el tiempo. La figura 2.1 presenta el proceso de pintura base agua.

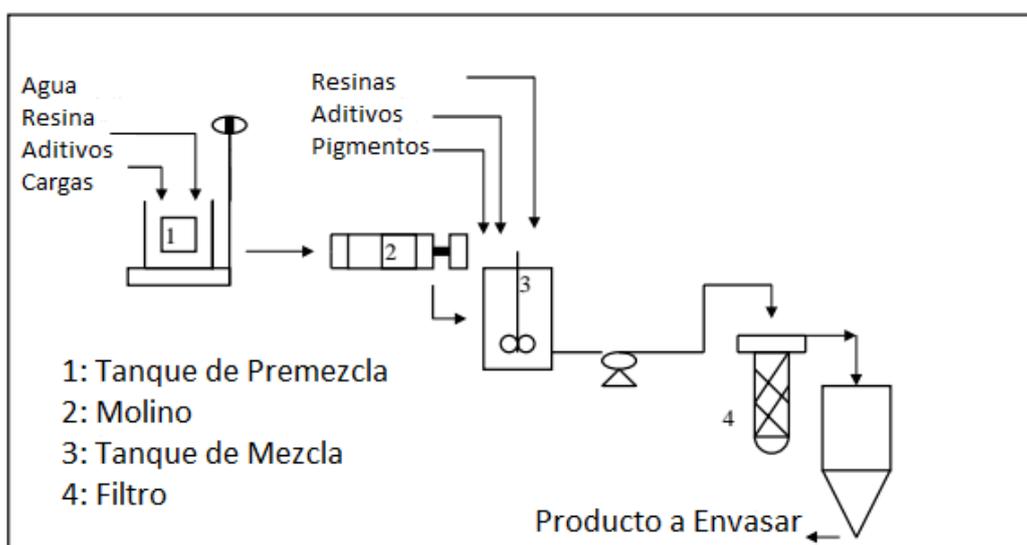


Figura 2.1. Diagrama del proceso de producción de pintura base agua.
Fuente: CONAMA, 1998.

2.1.2 Procesos de pinturas base aceite.

El sistema de pinturas base aceite, está compuesta por pigmentos y un aceite secante, su manera de secado es lento y se debe usar thinner o gasolina para removerla, sin embargo posee una alta resistencia con el tiempo y sus colores son más brillantes. La figura 2.2 presenta el proceso de pintura base aceite.

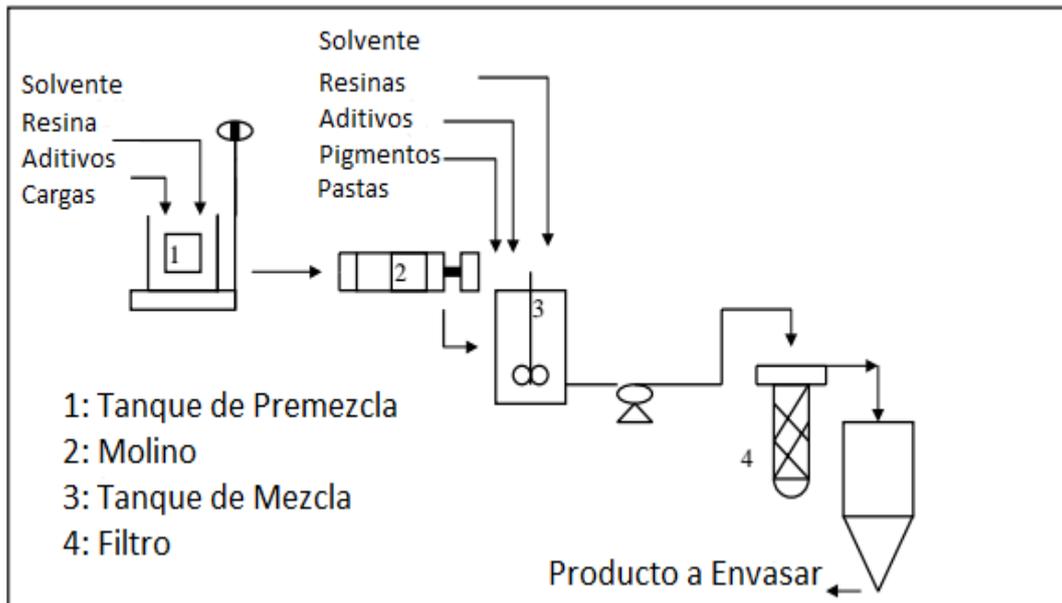


Figura 2.2. Diagrama del proceso de producción de pintura base aceite.
Fuente: CONAMA, 1998.

2.2 MATERIAS PRIMAS.

2.2.1 Pigmentos.

Los pigmentos son materiales colorantes de un tono específico se caracterizan por ser insolubles en la mayoría de los líquidos comunes como el agua, este efecto se lleva a cabo ya que los pigmentes poseen la propiedad de absorber todos los colores de la luz excepto uno.

Los pigmentos son insolubles por lo que pueden ser dispersados pero no disueltos y es esta propiedad la que los hace diferentes con los colorantes también conocidos como tintes o anilinas. Los pigmentos pueden clasificarse en dos tipos orgánicos e inorgánicos.

De manera general los pigmentos orgánicos son los que contienen Carbono (C) en su composición, mientras que los pigmentos inorgánicos no lo contienen.

Así mismo una de sus más grandes diferencias es que los pigmentos orgánicos tienen mayor poder tintóreo es decir que colorean más.

Según Reymex S.A de C.V las características más importantes de los pigmentos son:

- Estabilidad térmica: resistencia a la temperatura del color sin que cambie de tono de manera significativa.
- Toxicidad: control de la cantidad de metales pesados o material peligroso que pueda afectar la salud de los usuarios.
- Poder tintóreo: capacidad del pigmento para colorear los materiales.
- Resistencia al intemperismo: resistencia a la decoloración de los pigmentos en la intemperie.
- Dispersión: capacidad de ser homogéneo, se le atribuye al tamaño de partícula.
- Opacidad, translucidez y transparencia: un pigmento opaco no deja pasar la luz a través de él, un pigmento translúcido deja pasar parcialmente la luz y un pigmento transparente permite el paso de la mayor parte de la luz a través de él.
- Maticidad y brillantez: un objeto brillante refleja una gran cantidad de iluminación y un objeto mate no brilla.
- Resistencia a ácidos o a álcalis: resistencia del pigmento ante diferentes valores de pH.
- Dureza: Dificultad o facilidad de moler un pigmento.
- Fluorescencia o fotoluminiscencia: capacidad de reemitir energía.

El cuadro (2.2) muestra la clasificación de pigmentos orgánicos e inorgánicos.

2.2.2 Resinas.

Las resinas naturales en su mayoría son de origen vegetal, con excepción de la goma laca; actualmente, su uso ha declinado considerablemente debido al desarrollo de un gran número de resinas sintéticas. Estas últimas normalmente se utilizan en combinación con los aceites antes mencionados siendo más resistentes al agua y agentes químicos.

Entre las resinas sintéticas más utilizadas se encuentran las resinas alquídicas, acrílicas, fenólicas, vinílicas, epóxicas, de caucho clorado, de poliuretano y de silicona. De todas éstas, la primera es la más utilizada.

Cuadro 2.2. Tipos de pigmentos orgánicos e inorgánicos

Pigmentos Orgánicos	Pigmentos Inorgánicos
Naranja de pirazalona. (Poca resistencia a la temperatura).	Amarillo de cromo. (Utilizado para las calles, contiene alta cantidad de plomo).
Rojo BON. (Rojo fuego o pigmento rojo, resistencia moderada).	Amarillo de cadmio. (Muy resistente a altas temperaturas).
Rojo DPP (Pigmento rojo, muy resistente a temperatura y al intemperismo).	Amarillo de hierro. (Tonos color mostaza, alta resistencia a rayos UV y a bajas temperaturas).
Azul ftalocianina (alto poder tintóreo, resistente a la temperatura y al intemperismo).	Amarillo ferrita de zinc. (Resistente a altas temperaturas e intemperismo, tono amarillo rojizo).
Negro de Humo o de carbono (muy resistente a la T).	Naranja molibdato. (Resistente a la temperatura)
Violeta carbazol (tono sumamente concentrado, alto precio).	Naranja y rojo de cadmio. (Resistente a altas temperaturas y atacados por ácidos fuertes).
Amarillos diarilina (tono sumamente concentrado).	Azul de ultramar. (Alta resistencia a la temperatura).
Amarillos hansa (tono sumamente concentrado).	Verde Oxido de cromo. (Sumamente duro).
Violetas de quinacridona (tonos azulosos muy resistentes a la temperatura).	Blanco de titanio. (No se decolora y no se amarilla significativamente).

Fuente: Reymex S.A de C.V, 2016.

De acuerdo a las necesidades del recubrimiento y a las propiedades necesarias de la pintura así se utilizan las distintas resinas para orientar el producto a un uso específico tanto para pinturas base agua como base aceite. En el siguiente cuadro (2.3) se muestra la relación de tipos de resinas con el uso para pinturas base agua.

Cuadro 2.3. Relación de tipos de resina con el uso para pinturas base agua.

Tipo de pintura	Vehículo sólido	Disolvente	Tipos de pigmentos	Usos
Plásticas	Acetato de polivinilo	Agua	Óxido de cromo Azul ultramar	Decoración de paredes interiores y exteriores
Acrílicas	Acrilatos	Agua	Óxido de cromo Azul ultramar	Decoración de madera, metales interiores y exteriores.

Fuente: CONAMA, 1998.

El cuadro (2.4) muestra la relación de tipos de resinas con el uso de pinturas base aceite.

2.2.3 Extendedores.

Los extendedores, también llamadas "cargas", que cumplen el objetivo de extender el pigmento y contribuir con un efecto de relleno. Entre estos materiales se encuentran sustancias de origen mineral como baritas, tizas, caolines, sílice, talcos, etc., y de origen sintético como creta, caolines tratados y sulfato de bario precipitado.

Las características de las cargas y su influencia en las propiedades de la pintura, tanto químicas como físicas tienen un gran efecto en las propiedades de cubrimiento. El cuadro (2.5) presenta un resumen de algunas de estas.

Cuadro 2.4. Relación de tipos de resina con el uso para pinturas base aceite.

TIPO DE PINTURA	VEHÍCULO SÓLIDO	DISOLVENTE	TIPO DE PIGMENTOS	USOS
Alquílicas de secado al aire	Resina gliceroftálica con aceites secantes	Aguarrás	Amarillo cromo Rojo molibdeno Amarillo zinc	Decoración anticorrosiva
Alquílicas de secado al horno	R. oleo-gliceroftálica+ melamino-formol	Tolueno-xileno Butanol	Amarillo cromo Rojo molibdeno	Automotriz Electrodomésticos
Vinílicas	Polivinil-butiral	Tolueno	Amarillo zinc	Anticorrosivo
Celulósicas (lacas)	Nitrocelulosa modificada con resinas y plastificantes	Acetato de etilo Ciclohexanona Etiletilcetona	Amarillo cromo Rojo molibdeno	Decoración de muebles automotriz
Cloro-caucho	Caucho colorado	Xileno Tolueno	Amarillo zinc	Pinturas ignífugas Rev. Antiácidos Antideslizantes
Poliuretano	Poliéster y poliisocianato	Cetonas, acetato de etilglicol, acetato de butilo	Amarillo cromo Rojo molibdeno Amarillo zinc	Pinturas marinas y para hormigón, protectoras de fierro y aluminio.
Epóxicas	Poliamida o poliamina con resina	Esteres, cetonas, alcoholes, glicoles		Pinturas marinas, revest. estanques

Fuente: CONAMA, 1998.

Cuadro 2.5. Características importantes de cargas minerales.

Característica de las cargas	Influencia en su aplicación técnica
Composición química	Inercia y compatibilidad con dispersiones, resistencia a la intemperie y a la acidez de la lluvia, resistencia a microorganismos.
Granulometría de la carga	Influye el cvp y el cvpc, la reología, consumo de dispersante, compactación y porosidad, poder cubriente, aspecto acabado, el brillo, el ensuciamiento, permeabilidad al vapor de agua.
Morfología de la partícula	Reología, consumo de dispersante, porosidad, resistencia a la intemperie y a la acidez de la lluvia.
Peso específico	Influye el cvp, el asentamiento y en los costos.
Índice de refracción	De importante influencia en el poder cubriente
Color	Blancura y la nitidez del color de los pigmentos
pH	La estabilidad de la dispersión de las cargas, resistencia a microorganismos, comportamiento en la intemperie.
Dureza Mohs	Resistencia a la abrasión

Fuente: CONAMA, 1998.

Debido a que en la naturaleza existe una diversidad de materiales con este fin, a las que denominaremos “cargas naturales”, estas son la materia prima más abundante dentro de la formulación de pinturas y recubrimientos. Uno de los argumentos importantes para el uso de estos materiales en la industria es su fácil disponibilidad en cantidades masivas con calidad homogénea y constante a bajo costo.

Se detalla a continuación en el cuadro 2.6 algunas de las principales cargas orgánicas utilizadas en la industria de pinturas.

Cuadro 2.6. Cargas naturales más usuales en pinturas plásticas.

CARGAS	COMPOSICIÓN QUÍMICA	FÓRMULA QUÍMICA	MORFOLOGÍA	PESO ESPECÍFICO	DUREZA MOHS
Creta	Carbonato de calcio	CaCO ₃	Amorfa	2,7	1,5-2,5
Calcita	Carbonato de calcio	CaCO ₃	Nodular	2,7	3
Dolomita	Carbonato de calcio y magnesio	CaMg(CO ₃)	Nodular	2,7	3,5-4
Cuarzo	Sílice o bióxido de silicio	SiO ₂	Nodular	2,65	7
Talco	Silicato de magnesio	2MgO.4SiO ₂ .Mg(OH) ₂	Laminar	2,75	1-1,5
Caolín	Silicato de aluminio	(Al ₂ O ₃)(SiO ₂) ₁₋₂	Laminar	2,6	2-2,5
Mica	Silicato de aluminio, potasio y magnesio	Bastante compleja	Muy laminar	2,85	2-2,5
Barita	Sulfato de bario.	BaSO ₄	Nodular	4,25	2,5-3,5

Fuente: Schweigger E., 2005.

2.2.4 Solventes.

Los solventes, o vehículos volátiles son sustancias líquidas que dan a las pinturas el estado de fluidez necesario para su aplicación, evaporándose una vez aplicada la pintura. La variedad de solventes que ocupa este tipo de industria es muy amplia pero, a pesar de ello, su uso se ha visto disminuido en los últimos años, debido a restricciones de tipo ambiental y de costo, especialmente en el caso de los solventes clorados.

Vale la pena mencionar que la actividad productiva que involucra estas sustancias tiene una relación directa con las emanaciones de vapores de los solventes usados en el proceso, tales como varsol y compuestos en base a fenoles o bencenos. El siguiente cuadro (2.7) muestra los límites de tolerancia de solventes en el ambiente de trabajo.

Cuadro 2.7. Límites de tolerancia de solventes en el ambiente de trabajo.

TIPO DE SOLVENTE	LÍMITE PERMISIBLE (mg/m³)
Halogenados	
Percloroetileno	270
Tricloroetano	1530
Tricloroetileno	215
No halogenados	
Xileno	347
Tolueno	300
Metiletilcetona	472
Metanol	210
Acetona	1424
Etilacetato	1150
Butanol	120
Aguarras (varsol)	1100
Aguarras (trementina)	445

Fuente: Schweigger E., 2005.

Actualmente, las empresas no poseen sistemas de control para este tipo de emisiones gaseosas, aun cuando a nivel mundial se utilizan sistemas de captación de polvo y lavado de gases. Respecto a las emanaciones de solventes, no se cuenta con datos de medición del nivel de concentración de estos compuestos en el proceso, aun cuando existe una normativa que rige las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo y que especifica límites permisibles (Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, Decreto No 745 del Ministerio de Salud).

2.2.5 Agentes aglutinantes.

Los agentes aglutinantes son sustancias normalmente orgánicas, cuya función principal es dar protección; se pueden utilizar en forma sólida, disueltos o dispersos en solventes orgánicos volátiles, en solución acuosa o emulsionados en agua. Estas sustancias comprenden los aceites secantes, resinas naturales y resinas sintéticas.

El aglutinante es una sustancia más o menos líquida y pegajosa que reúne las condiciones de aglutinar y adherir las partículas del pigmento sobre la superficie donde se aplica. Se trata generalmente de anticoagulantes a base de resinas que permiten al producto superponer capas de pintura más rápidamente sin que los nuevos colores se mezclen con los de la primera capa. Con distintas combinaciones, se puede aumentar o disminuir el tiempo de fraguado, cambiar la densidad, la textura y ajustar el brillo y la transparencia de capa pictórica.

2.2.6 Aditivos.

Los aditivos menores son sustancias añadidas en pequeñas dosis para desempeñar funciones específicas, que no cumplen los ingredientes principales. Entre los más utilizados se encuentran los materiales secantes, plastificantes y antisedimentables:

- Las sustancias secantes, permiten controlar la velocidad de secado. Normalmente se utilizan sales orgánicas de elementos metálicos (cobalto, manganeso, plomo, calcio, zinc, hierro, vanadio, cerio y zirconio).
- Las sustancias plastificantes, por su parte, proporcionan flexibilidad y adherencia a los recubrimientos de superficie. Se clasifican en: aceites vegetales no secantes (derivados del aceite de ricino), monómeros de alto punto de ebullición (ftalatos) y polímeros resinosos de bajo peso molecular (poliéster).
- Las sustancias antisedimentantes previenen o disminuyen la precipitación de los pigmentos, reduciendo la fuerza de atracción entre partículas.

2.2.7 Materias primas intermedias.

Como en todo proceso industrial la relación de tiempo y cantidad de producción requiere atención especial en la búsqueda constante de mejoras continuas para los procesos. Como lo es para el caso de la industria de pinturas, generalmente se generan sub procesos para optimizar el tiempo; que es a lo que denominamos materias primas intermedias, a aquellas preparaciones que se generan en el mismo proceso de producción para ser utilizados posteriormente en una etapa más adelante, pero nunca llegan a considerarse un producto terminado, la finalidad de estas materias primas intermedias es hacer más eficiente el proceso de producción. Entre las materias primas intermedias se describen a continuación.

2.2.7.1 Pastas o Dispersiones Pigmentarias.

La dispersión es una medida de la máxima distribución de las partículas pigmentarias en el vehículo utilizado para transportar el mismo. Por lo tanto podemos definir a las pastas como dispersiones líquidas pigmentadas que luego de aplicarse en capas finas y tras el proceso de secado se convierten en películas semisólidas, gelatinosas, opacas o transparentes.

Es un líquido viscoso coloreado. Los componentes básicos principales son los pigmentos y el vehículo, juntos cumplen la función de formar sobre la superficie a tratar la película de pintura. De esta manera se ahorra tiempo en la dispersión del pigmento y no se interrumpe el proceso lineal de producción.

2.2.7.2 Emulsiones.

Las emulsiones son mezclas de líquidos inmiscibles homogéneos. Una de las sustancias llamada fase dispersada, es dispersada en la otra (la fase continua). Por lo general las emulsiones más comunes son de aceite con agua, el proceso en el que se preparan las emulsiones se le conoce como emulsificación.

Este tipo de producto intermedio se utiliza para la producción de pintura base solvente; por lo tanto se considera como un subproceso necesario que comprende la base de las líneas de productos como esmaltes y recubrimientos anticorrosivos.

2.3 TIPOS DE PRODUCTOS.

2.3.1 Productos base agua.

Las pinturas base agua son muy populares debido a que tienen muchas ventajas: facilidad para aplicarlas, gran variedad de colores disponibles, uso de agua para controlar la viscosidad de la pintura.

Algunas otras ventajas son:

- Facilidad en limpieza de las herramientas usadas para pintar.
- Secado rápido.
- Olor mucho más suave que productos base solvente.

2.3.1.1 Látex.

En el mercado de las pinturas de base agua están disponibles las: vinílicas, acrílicas y vinil-acrílicas. A este tipo de pinturas también se les llama pinturas látex o plásticas.

Esta clasificación se debe al componente usado como aglutinante es decir, es el material empleado para mantener unidos a los diferentes componentes de la pintura.

2.3.1.2 Estiren Acrílicos.

Pinturas formuladas con resinas estiren acrílicas.

La resina acrílica es un material que se elabora por la polimerización de diferentes monómeros constituidos por ésteres de los ácidos acrílicos y metil acrílico con alcoholes.

Propiedades: las pinturas acrílicas resisten a la humedad, son lavables y son más recomendables para interiores.

2.3.1.3 Vinil Acrílicos.

Pinturas formuladas con resinas vinil acrílicas

Las resinas vinílicas se obtienen a partir de monómeros con dobles enlaces como el cloruro de vinilo, acetato de vinilo, cloruro de vinileno, y pueden ser homopolímeros o heteropolímeros.

Propiedades: las pinturas vinílicas proporcionan a las superficies resistencia a condiciones de humedad, a la intemperie, abrasión, incluso resisten la inmersión en agua dulce y salada pero tienen baja resistencia a las cetonas, éteres o solventes con más de un 30% de aromáticos.

2.3.2 Productos base aceite.

2.3.2.1 Esmaltes.

Este es el tipo de pintura que mejor conserva el brillo, incluso a la intemperie. El acabado es liso, con aspecto mate, satinado o brillante. Se utiliza mucho para proteger superficies de metal y de madera, tanto en el exterior como interior. A diferencia del esmalte graso esta se seca con mayor rapidez.

2.3.2.2 Anticorrosivos.

La pintura anticorrosiva es una base o primera capa de imprimación de pintura que se ha de dar a una superficie, que se aplica directamente a los cuerpos de acero, y otros metales. Para ello puede usarse un proceso de inmersión o de aspersion, (dependiendo del funcionamiento de la planta de trabajo y de la geometría de la estructura). Éste tiene el propósito principal de inhibir la oxidación del material, y secundariamente el de proporcionar una superficie que ofrezca las condiciones propicias para ser pintada con otros acabados, esmaltes y lustres coloridos. La pintura anticorrosiva generalmente se presenta de color rojo “ladrillo” o naranja rojizo, aunque también se encuentran en color gris y en negro. El color rojizo, (encontrado comúnmente en vigas, por ejemplo) toma su pigmentación del óxido de hierro que es empleado como componente en su elaboración. En algunos lugares, a esta película anticorrosiva, se la ha llamado 'minio' (tetróxido de plomo) cuando su función es, principalmente la de evitar la degradación del hierro.

2.3.2.3 Horneables.

Los esmaltes horneables son recubrimientos termo-endurecibles, formulados en base de resinas alquídicas y melamínicas, que proporcionan un acabado liso de notable elasticidad, adherencia, dureza y brillantez. Los esmaltes horneables se aplican sobre superficies metálicas: ferrosas y no ferrosas, utilizados en la industria metalmecánica en lo que se refiere a divisiones de oficina, marcos de lámparas, estanterías, closets, gabinetes, escritorios, bicicletas y muebles en general.

2.3.2.4 Aerosoles.

Pintura en aerosol formulada a base de resina acrílica modificada para proporcionar un secado ultra rápido, y proporcionar una película brillante con muy buena dureza y resistencia a la intemperie en ambientes no severos. Para recubrir diversas superficies metálicas como estructuras, maquinaria, motores eléctricos, accesorios automotrices, rines, cancelería, ventanales, bicicletas, madera, etc.

2.3.2.5 Barnices.

El barniz es una disolución de aceites o sustancias resinosas en un disolvente, que se volatiliza o se seca al aire mediante evaporación de disolventes o la acción de un catalizador, dejando una capa o película sobre la superficie a la que se ha aplicado. Existen

barnices de origen natural, en general derivados de resinas y aceites esenciales de las plantas, y barnices sintéticos.

Su aplicación a maderas y otras superficies tiene como objeto primordial preservarlas de la acción de agentes atmosféricos si se expone al exterior o de proteger y dar belleza además de resistencia física y química si su destino es interior. Puede admitir tintes o colorantes que modifican su color y tono.

2.4 DIAGRAMA DE PROCESO.

La siguiente figura (2.3) muestra el diagrama de proceso de producción en la industria de pinturas base agua.

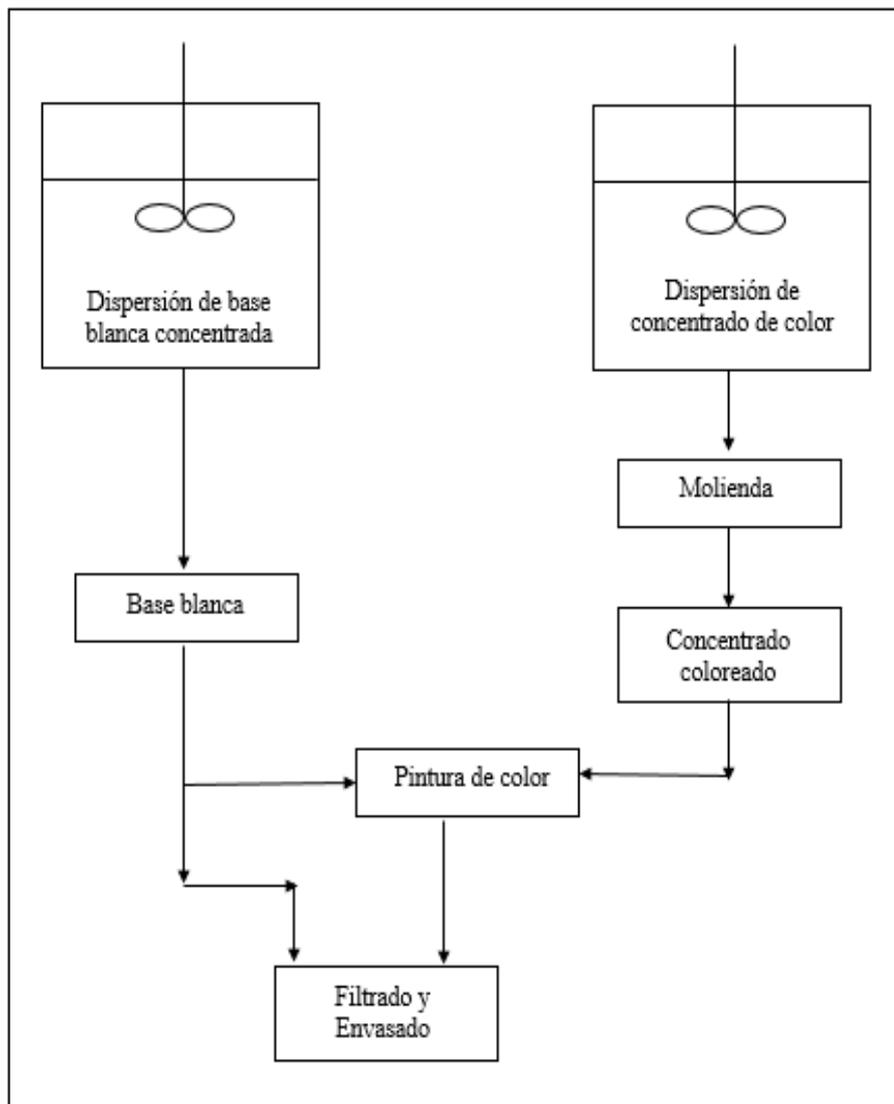


Figura 2.3. Diagrama del Proceso de Producción en la Industria de Pinturas base agua. Fuente: CONAMA, 1998.

2.5 RESIDUOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DE PINTURAS.

Para toda industria el problema de generación de residuos implica costos y esa razón mantiene siempre a las empresas en la búsqueda por mejor mantenimiento y prevención de generación de los mismos.

En el proceso de fabricación de pinturas base agua se involucran actividades externas e internas generadoras de residuos y estas serán divididas en:

- Residuos generados fuera del proceso de producción.
- Residuos generados en el proceso de producción.

2.5.1 Residuos generados fuera del proceso de producción.

Estos implican en su mayoría residuos sólidos que no representan riesgos tóxicos ni peligrosos pero que al no ser almacenados o entregados en un lugar propio para su descarte representan una fuente de contaminación a los que se debe dar importante supervisión, los cuales podrían ser:

- Envases dañados o en mal estado.
- Tapas dañadas o en mal estado.
- Descarte de envases en los que se encontraba la materia prima para la fabricación de pinturas.
- Bolsas plásticas.
- Bolsas de papel.
- Cartoncillo.
- Cajas de cartón que contenían materia prima para la fabricación de pinturas.
- Cajas plásticas que contenían materia prima para la fabricación de pintura.
- Telas y paños para la absorción o limpieza de derrames.
- Utensilios y papelería en general proveniente de trámites administrativos.
- Piezas de acero provenientes de equipos dañados.
- Herramientas en desuso o dañadas.

En su mayoría estos residuos son colectados y se entregan a los camiones recolectores de basura que se encargan de llevarlos a rellenos sanitarios y otra pequeña parte son

reutilizados en las mismas plantas para usos varios por ejemplo la utilización de envases como botes de basura, también las bolsas y cajas para guardar otros utensilios.

2.5.2 Residuos generados en el proceso de producción.

Para estimar los desechos que se generan dentro del proceso de fabricación de pinturas se hará la clasificación en:

- Residuos líquidos.
- Residuos sólidos.

2.5.2.1 Residuos Líquidos.

Los residuos líquidos corresponden al uso de material líquido o a todo el recurso hídrico que demanda la fabricación del producto pero que no queda contenido en el mismo y debe descartarse convirtiéndose entonces en un residuo, estos son:

- Aguas de lavado.
- Solventes.
- Remanentes de pintura.

2.5.2.1.1 Aguas de lavado.

Para la fabricación de pinturas base agua se utiliza un porcentaje de agua según la cantidad a producir y que va contenida en el producto final propiamente, la contaminación del agua se da en el proceso de lavado de tanques contenedores de pintura y tanques de fabricación de la pintura así como también en limpieza de derrames y una pequeña parte en uso de laboratorio para determinar propiedades del producto final por medio de algunas pruebas de calidad a la pintura. Las actividades anteriormente descritas son las generadoras de residuos líquidos en esta industria.

Esta actividad de lavado principalmente es la generadora de los efluentes que deberán ser tratados según las especificaciones correspondientes de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 para la industria de pinturas, barnices y lacas.

2.5.2.1.2 Solventes.

En la fabricación de pinturas al óleo o base aceite se tiene el uso de solventes que al ser agregados a la pintura como materia prima no se tomaran en cuenta como desecho puesto que se evaporan pasado un tiempo o después de la aplicación de la pintura, no obstante cuando se utiliza solvente para lavar tanques contenedores de pintura base aceite si se convierten en descarte. El atributo que poseen los solventes es que pueden ser reutilizados cuando son debidamente almacenados de forma que se evite parte de la evaporación, este atributo permite utilizar los solventes recuperados en varias ocasiones para lavar o limpiar objetos en contacto con pintura de aceite.

2.5.2.1.3 Remanentes de Pintura.

Los remanentes de pintura deben ser colectados y almacenados correctamente para priorizar un uso adecuado de manera que no se conviertan en desecho; los remanentes de pintura que se convierten en desecho son aquellos que quedan en la etapa de filtración en producción, pintura derramada o pintura que después de almacenada presenta características de degradación como mal olor, consistencia menor a las especificaciones de calidad, endurecimiento, separación de fases si es pintura al óleo o base aceite, presencia de corrosión en el envase que afecta a la pintura y presencia de hongos. Si la pintura presenta alguna de estas características que ya no permite su adquisición debe ser desechada en un depósito destinado para la recolección de remanentes de pintura dañada.

2.5.2.2 Residuos Sólidos.

Los residuos sólidos principalmente corresponden a los que se generan durante el proceso de producción y manufactura de pintura, estos residuos son las cajas de cartón, cajas plásticas, bolsas plásticas o bolsas de papel que contenían materia prima, pigmentos en polvo, pigmentos endurecidos, aditivos endurecidos, aditivos en mal estado, envases dañados, material de limpieza como pañuelos, trapeadores, chatarra, piezas de hierro dañadas, maquinaria y equipo dañado.

2.5.3 Aguas Residuales.

El agua residual representa a toda el agua que no forma parte del producto final y que resulta de las operaciones y usos que se le dio en el proceso industrial de creación de un producto, esta agua es una mezcla de residuos sólidos y líquidos que disminuyen su calidad o la capacidad de ser reutilizada sin un tratamiento previo.

2.5.3.1 Calidad del agua.

La calidad del agua está definida según el cumplimiento de parámetros físicos, químicos, biológicos entre otros. La calidad del agua puede ser medida y esto lo permite el Índice de calidad del agua (ICA) como es conocido en el idioma español, este índice se generó en 1970 y es ampliamente utilizado para definir la calidad del recurso agua. Para la determinación del “ICA” intervienen 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅ en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación).

(SNET, 2016)

Para obtener un valor del índice de calidad del agua ICA en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los parámetros anteriores implicados en el cálculo del índice más una serie de pasos que el Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET presenta en su documento del cálculo del índice de calidad del agua ICA. (SNET, 2016)

2.5.3.2 Clasificación de las aguas residuales.

La contaminación de las aguas es debida en gran parte a actividades humanas y al origen de dichas actividades que interfieren en el ciclo natural del recurso agua, de este supuesto parte la siguiente clasificación de aguas residuales:

- Aguas domésticas
- Aguas industriales
- Aguas por infiltración
- Aguas pluviales.

2.5.3.2.1 Aguas Domésticas.

Es el agua que se utiliza en el hogar con fines sanitarios como limpieza, actividades de cocina, lavandería, aseo personal, sanitarios, etc. Esta agua debe ser descargada a la red de alcantarillado, en la cual quedan sólidos sedimentables, carga orgánica e inorgánica.

2.5.3.2.2 Aguas industriales.

Según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 “Agua, Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor”, del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) se pueden clasificar en 14 grupos según la Tabla N°. 2 de dicha norma.

Valores permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad y subgrupos, los cuales son:

- a) Animales vivos y productos del reino animal.
- b) Productos del reino vegetal.
- c) Grasas y aceites animales y vegetales.
- d) Productos de las industrias alimentarias, bebidas, líquidos alcohólicos, tabaco y sucedáneos.
- e) Productos minerales.
- f) Productos de las industrias químicas.
- g) Materias plásticas, cauchos y sus manufacturas.
- h) Pieles, cueros, talabartería y papelería.
- i) Pastas de madera, papel y cartón, manufacturas y aplicaciones.
- j) Materias textiles y sus manufacturas.

k) Perla, piedra y metales preciosos.

l) Metales comunes y sus manufacturas.

m) Maquinaria y aparatos, material eléctrico y mantenimiento.

2.5.3.2.3 Aguas por infiltración.

La lluvia que se infiltra integra el agua del suelo, parte de la cual puede ser usada por las plantas para la transpiración, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evaporación desde la superficie del suelo y otra si hay suficiente infiltración puede pasar más abajo de la zona radical como agua subterránea (FAO 2002).

2.5.3.2.4 Aguas pluviales.

Las aguas residuales pluviales y de escorrentía son recogidas por el sistema de alcantarillado unitario. Estas redes suelen estar previstas de aliviaderos que permiten bajo ciertas condiciones, verter estas aguas pluviales directamente sobre el alcantarillado, es decir, sin algún método de saneamiento previo. Los aliviaderos de la red unitaria se suelen dimensionar para evacuar las aguas residuales después de los 20 primeros minutos de lluvia, ya que inicialmente el agua pluvial está fuertemente contaminada, porque arrastra la suciedad existente tanto en las calles como dentro de la red. Después de esos 20 minutos se considera que está suficientemente diluida la suciedad como para ser vertida directamente al cauce receptor. (USAL, 2011).

2.5.3.3 Características de importancia de las aguas residuales.

- Acidez: la acidez es originada por la disolución de CO_2 , para la oxidación biológica de la materia orgánica. Esta característica es de gran importancia puesto que de este parámetro depende la formación biológica en el agua residual.
- Ácido Sulfúrico: este parámetro debe tener concentraciones de H_2S en aguas residuales menores de 1 mg/L. Este parámetro genera el color en las aguas residuales.
- Alcalinidad: Este parámetro debe tener concentraciones de 50 – 200 mg/L CaCO_3 para aguas residuales de origen doméstico.
- Bacterias: la medida de la presencia de organismos como: cocos, bacilos curvados o vibriones, espirales o espiroquetas y filamentosas, estos organismos son los

responsables de la descomposición de la materia orgánica. Según los autores de tesis denominada “Desarrollo de un micro humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario” otras características de importancia a evaluar son:

- Carbohidratos: son muy comunes en aguas residuales y en la industria de la madera, papel, textiles y alimentos, incluye azúcares, almidones, celulosa, hemicelulosa.
- Cloruros: son comunes en aguas residuales pues la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos. En aguas residuales domésticas crudas la concentración de cloruros oscila entre 30 – 200 mg/L.
- Color: este parámetro de las aguas residuales es de suma importancia ya que puede indicar el origen de la contaminación así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento. Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria colorante como pintura, textiles y de pulpa de papel.
- Compuestos orgánicos volátiles: en aguas residuales es común encontrarlos, los cuales al ser emitidos a la atmósfera pueden constituirse en contaminantes tóxicos o en gases orgánicos altamente reactivos.
- Detergentes: su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma inhibe la actividad biológica y disminuye la solubilidad del oxígeno.
- Fenoles: compuestos aromáticos comunes en aguas residuales de la industria del petróleo, del carbón, plantas químicas, fábricas de explosivos, de resinas y otras.
- Fósforo: en aguas residuales domésticas el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/L.
- Aceite y grasa: sustancia química no miscible en el agua pero soluble en solventes designados en los métodos de análisis recomendados en esta norma. (NSO 13.49.01:09).
- Nitrógeno: las formas de interés en aguas residuales son las de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, hidrogeno de nitritos y nitratos. Un agua residual con contenido suficiente de nitrógeno para su adecuada biodescomposición. La forma predominante del nitrógeno en aguas residuales domésticas frescas es el nitrógeno orgánico.

- Olor: las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo, generalmente producido por H_2S proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros. Las aguas residuales industriales tienen, a veces, olores característicos específicos del proceso industrial del cual provienen.
- Proteínas: los residuos industriales más ricos en proteínas son los provenientes de procesadoras de carnes, quesos, huevos y ciertos vegetales.
- Oxígeno Disuelto: la baja disponibilidad del oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. En general todo proceso aerobio requiere una concentración de OD mayor de 0.5 mg/L.
- Turbiedad: constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales tratadas pueden ser un factor importante de control de calidad.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Las aguas residuales domésticas crudas tienen DBO promedio 250 a 1000 mg/L con relaciones DQO/DBO que generalmente varían entre 1.2 y 2.5.
- Demanda Química de Oxígeno: es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo unas 3 horas.

3.0 TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE PINTURAS BASE AGUA.

El tratamiento de aguas residuales consiste en eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el agua que proviene de procesos de producción y limpieza para la fabricación de pinturas base agua, el objetivo principal de la implementación de los sistemas de tratamiento es producir un efluente que sea reutilizable en el ambiente; así mismo producir un residuo o fango reutilizable ya sea como abono, recuperación de energía eléctrica, mecánica o calorífica, o como rellenos.

En algunos casos el efluente no es reutilizado por lo que es necesario ajustar dicho efluente a límites vertidos que cumplan con la normativa establecida por el país.

3.1 PRETRATAMIENTO.

Generalmente el pretratamiento consiste en la separación física de sólidos suspendidos como botellas, palos, bolsas llantas, etc., esta fase se lleva a cabo con el uso de mallas o rejillas; pueden utilizarse varias etapas con rejillas o mallas de diferente diámetro según convenga. El objetivo de realizar esta etapa es proteger los equipos mecánicos que serán utilizados en etapas posteriores que podrían ser dañados u obstruidos.

Una de las ventajas de la implementación de sistemas de pretratamiento es que son de bajo costo y su mantenimiento es mínimo por lo que es recomendable diseñarlas con un material anticorrosivo para evitar su desgaste con el paso del agua. (Ver figura 3.1).



Figura 3.1. Pretratamiento de aguas con rejillas.
Fuente: Collazos C., 2009.

3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.

El tratamiento primario se lleva a cabo con el objetivo de remover sólidos suspendidos en el agua como aceites, grasas, arenas, etc. así como los sólidos que no han sido retenidos en el pretratamiento por medio de procesos como floculación o sedimentación; en algunos casos se utiliza la coagulación como agente auxiliar a la sedimentación. También se remueven compuestos inorgánicos por medio de la precipitación química.

Enfatizarse en una eficiente aplicación de tratamientos primarios es de suma importancia, ya que de este dependerá en su mayor parte, que todo el sistema reduzca efectivamente la carga contaminante que tienen las aguas residuales. Los diferentes tratamientos aplicables pueden ser: filtración, floculación-coagulación, flotación y sedimentación.

3.2.1 Tratamiento por filtración.

El proceso de filtrado generalmente es utilizado para remover la mayor cantidad posible de contaminantes en suspensión, se utiliza una capa de altura variable de un material poroso generalmente el material utilizado es arena, a través de la cual el agua fluye y los contaminantes quedan retenidos, posteriormente el agua se descarga por medio de una tubería perforada de drenaje. (Ver figura 3.2).



Figura 3.2. Proceso primario de filtración con capa de arena.
Fuente: Academia Nacional de Ciencias, 2007.

Esquemáticamente los granos de arena que forman una capa atravesada por el agua detienen por simple efecto de tamizado partículas de tamaño superior al de los espacios existentes entre granos. La capacidad de retención de estos filtros de arena será mayor en cuanto menos sea el diámetro de sus granos.

3.2.2 Tratamiento por floculación-coagulación.

Esta etapa se lleva a cabo ya que muchos de los contaminantes suspendidos son de menor tamaño por lo que no pueden ser retenidos en etapas previas, estas suspensiones coloidales son muy estables debido a las interacciones eléctricas entre partículas

provocando un proceso de sedimentación extremadamente lento por lo que es necesario realizar una fase de coagulación-floculación.

En muchos de los tratamientos aplicados para aguas residuales se utilizan agentes químicos o agentes coagulantes como: Sales de Fe^{3+} , Sales de Al^{3+} o polielectrolitos que desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y se cree una atracción entre partículas o flocúlos para que se pueda llevar a cabo un proceso favorable de sedimentación. (Ver figuras 3.3 y 3.4).

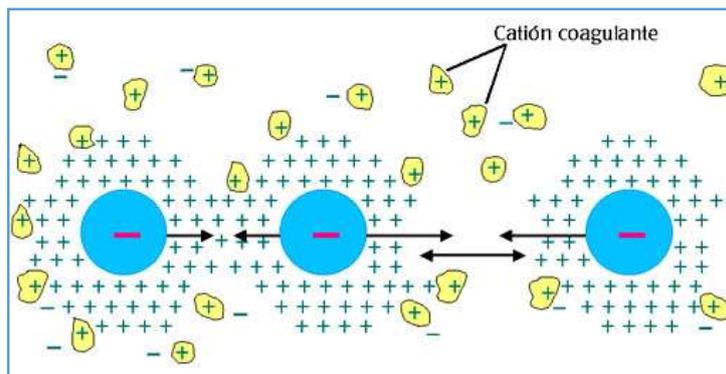


Figura 3.3. Principio de coagulación
Fuente: Ramírez F., 2016.

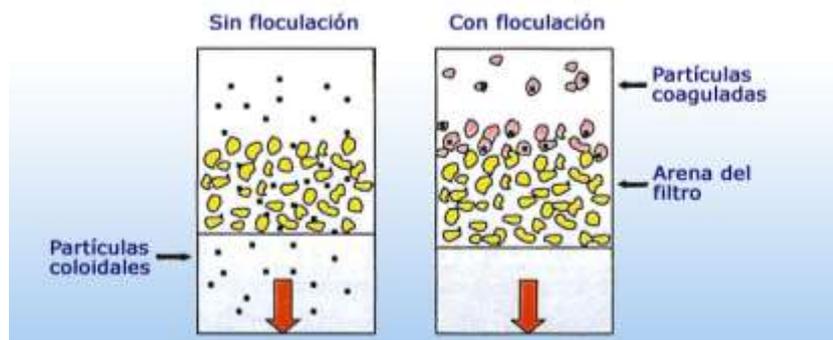


Figura 3.4. Principio de floculación
Fuente: Vázquez L., et al., 2016.

3.2.3 Tratamiento por flotación.

La flotación es uno de los procesos post coagulación-floculación el cual es fundamentado en el principio de diferencia de densidades, el material sólido es elevado a la superficie por medio de gas (aire) aplicado por medio de presión creando burbujas que se asocian a las partículas para poder ser arrastradas y removidas del sistema. (Ver figura 3.5).

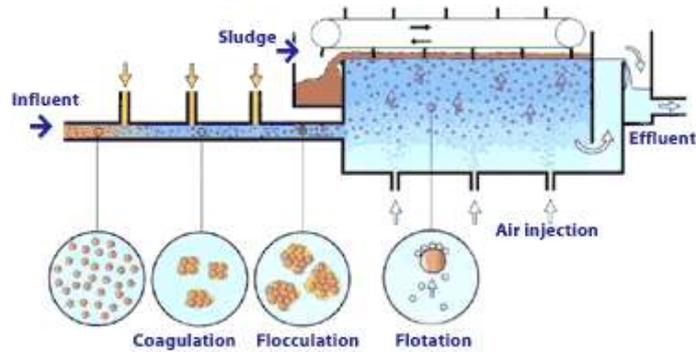


Figura 3.5. Principio de flotación en aguas residuales.

Fuente: Ramírez F., 2016.

3.2.4 Tratamiento por sedimentación.

La sedimentación es otra de las etapas que puede ser aplicada luego de la coagulación-floculación, se basa en la separación del sólido y líquido por medio del principio de la gravedad, los sólidos separados se denominan fangos los cuales pueden recibir un post tratamiento y ser reutilizados como abonos o como fuente de energía mecánica o calorífica. El proceso de sedimentación será más eficaz en cuanto mayor sea el tamaño de partículas y mayor sea su densidad. (Ver figura 3.6).



Figura 3.6. Proceso de sedimentación en aguas residuales.

Fuente: Rodríguez L., 2011.

Los diferentes diseños de sedimentadores dependerán de diferentes características de las partículas a sedimentar como: tamaño, forma, concentración y densidad. Los diferentes tipos de sedimentadores son: Sedimentador rectangular utilizado para separar partículas densas y grandes, sedimentadores circulares en los que se da un flujo de agua circular y sedimentadores lamelares o de placas inclinadas utilizados para pequeñas profundidades.

3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Los diferentes tratamientos secundarios consisten en la implementación de procesos de naturaleza biológicos, estos se caracterizan por la utilización de microorganismos (bacterias) con el fin de eliminar la materia orgánica biodegradable tanto coloidal como disuelta, principalmente aquella con menor tamaño de partícula. Los tratamientos biológicos tienen como objetivo la creación de un sistema que descomponga los residuos orgánicos los cuales puedan ser fácilmente recogidos para su adecuada eliminación. De forma general los dos tipos de tratamiento secundario son tratamientos aeróbicos y tratamientos anaeróbicos.

3.3.1 Tratamiento aerobio.

Procesos en los cuales el oxígeno se encuentra presente, existen diferentes tipos de tratamiento aerobio aplicado a aguas residuales como: lodos activados, zanjas de oxidación, filtros percoladores, lagunaje y digestión aerobia. Es necesario que los tratamientos aerobios cuenten con sistemas de aireación ya que ayudan a que se maximice la transferencia de oxígeno para descomponer las sustancias orgánicas y minimizar los olores a medida que las aguas residuales son tratadas.

3.3.2 Lodos activados.

Proceso biológico que se emplea en el tratamiento de aguas residuales, consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano dispersado en forma de floculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con el agua residual. En dicho proceso dos factores son de suma importancia primero la agitación ya que este evita que se dé la sedimentación y se homogeniza la mezcla de flóculos bacterianos con el agua residual, segundo la aireación ya que suministra el oxígeno necesario tanto para los microorganismos. (Ver figura 3.7).



Figura 3.7. Tratamiento con lodos activados.
Fuente: Berzosa J., 2016.

3.3.3 Tratamiento anaerobio.

Procesos en los cuales el oxígeno está ausente, generalmente utiliza bacterias para ayudar a que el material orgánico se degrade entre los diferentes métodos anaerobios, se pueden mencionar: lagunaje y tanques de digestión anaerobia. Estos procesos son utilizados cuando las aguas residuales contienen una alta carga de contaminantes, estos se descomponen y generan un producto final un gas de alto contenido energético (biogás) que puede ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica.

3.3.4 Lagunaje.

Se lleva a cabo una remoción de contaminantes presentes en el agua residual por medio de procesos de sedimentación de la materia orgánica en suspensión y por oxidación de microorganismos presentes. El lagunaje está constituido por diferentes partes clasificadas como: lagunas anaerobias, laguna facultativa y laguna maduración. (Ver figura 3.8).

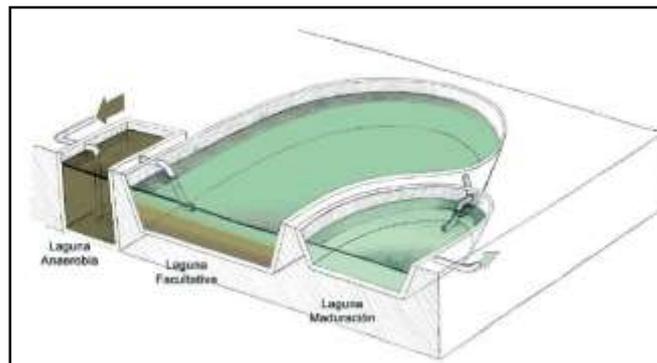


Figura 3.8. Principio de Lagunaje.
Fuente: Galindo Y., 2015.

Laguna anaerobia: primera etapa y recibe el agua residual bruta, se lleva a cabo la mayor parte de la sedimentación de materia orgánica.

Laguna Facultativa: se dan procesos aerobios en la superficie por intercambio de gases, anaerobios en el fondo y facultativos en el centro con microorganismos adecuados a ambas condiciones.

Laguna maduración: poseen poca profundidad y poca demanda de oxígeno, se eliminan patógenos y nutrientes como fósforo y nitrógeno.

3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO.

El tratamiento terciario es un proceso aplicado a aguas residuales que tienen como objetivo pulir o refinar el agua antes de ser reutilizada o descargada a un cuerpo receptor, esta es la etapa final de tratamiento en aguas residuales y se caracteriza por remover sustancias orgánicas e inorgánicas que no lograron ser eliminados en etapas anteriores como: nutrientes, fosfatos y nitratos; que son problemáticos ya que si no son tratados pueden surgir altas floraciones de algas, en esta etapa el agua también puede contener desechos como metales pesados o sólidos disueltos que también deben ser tratados antes de que el agua pueda ser reutilizada o descargada.

Para la remoción de contaminantes se pueden utilizar diferentes procesos o una mezcla de ellos, generalmente se utilizan procesos físico-químicos como: procesos biológicos, filtración, cloración, tratamientos con ozono o radiación ultravioleta. El proceso a utilizar dependerá de las características del efluente a tratar, sin embargo una de las mayores desventajas de los procesos terciarios es su alto costo ya que requiere una alta cantidad de tecnologías, alto nivel de conocimientos técnicos, suministros de energía constante, productos químicos y equipos específicos que no pueden estar fácilmente disponibles.

3.4.1 Resinas de intercambio de iones.

Según las características del agua el proceso de intercambio iónico se utiliza para purificar, separar y descontaminar, se lleva a cabo con ayuda de un material denominado resinas de intercambio iónico que son porosas o en forma gel; estas tienen la capacidad de retener selectivamente los iones disueltos en el agua y los mantiene temporalmente unidos en la superficie. Los intercambiadores de iones pueden ser intercambiadores de carga positiva (catiónicos), intercambiadores de carga negativa (aniónicos) o una mezcla de ellos que intercambian carga positiva como negativa (anfóteros).

De forma general los iones que pueden adherirse a resinas de intercambio iónico son: iones H^+ , iones OH^- , iones monoatómicos Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} e iones poli atómicos SO_4^{2-} y PO_4^{2-} . (Ver figura 3.9).



Figura 3.9. Principio de purificación de agua con resinas de intercambio iónico.
Fuente: Aguapura Fadecen, 2012.

3.4.2 Adsorción en un material granular.

El proceso de adsorción tiene como objetivo la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido, esta es una de las etapas más utilizadas como tratamiento terciario ya que es uno de los más económicos, este proceso consiste en la utilización de diferentes materiales adsorbentes como: arena, carbón activado, zeolita activada o arcilla los cuales tienen la capacidad de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida. En esta etapa se eliminan fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, olor, color y sabor. (Ver figura 3.10).



Figura 3.10. Principio de adsorción con carbón activado
Fuente: Hidrofiltec S.A.C., 2013.

La adsorción en un material granular se puede dar por tres formas diferentes:

- Adsorción por intercambio: en esta forma, el soluto y el adsorbente se atraen por fuerzas electrostáticas. El material adsorbido se encuentra fijo en la superficie del material adsorbente.
- Adsorción por fuerzas de van der Waals: o adsorción física. El material adsorbido tiene movilidad en la interfase y no cambia su naturaleza química.
- Adsorción química: existe interacción química entre material adsorbente y material adsorbido, en donde el material adsorbido sufre una transformación en su naturaleza química.

3.4.3 Ultrafiltración.

Método utilizado para la separación física de un sólido y un líquido por medio de una membrana con tamaño de poro determinado; todo sólido disuelto y microorganismos de tamaño mayor que los poros de la membrana son retenidos en su totalidad.

Existen otros métodos similares a la ultrafiltración como: microfiltración y nanofiltración, sin embargo la diferencia es el tamaño de poro de la membrana permeable; Las membranas utilizadas para ultrafiltración permiten retener moléculas cuyo tamaño oscila entre 0.001 y 0.1 μ m. (Ver figura 3.11).

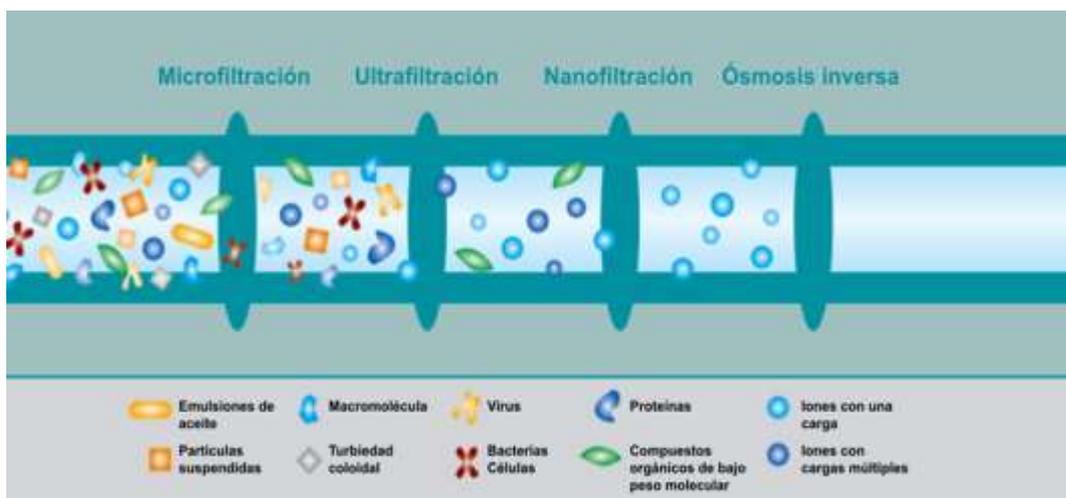


Figura 3.11. Proceso de filtración por membranas permeables.
Fuente: German Technology for water and Energy. 2015.

3.4.4 Ósmosis inversa.

El método de ósmosis inversa consiste en la aplicación de una presión superior a la osmótica, se produce el paso de disolvente o agua desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio, se requiere una membrana la cual es la encargada de retener las sales y los solutos de bajo peso molecular; por lo que este método es utilizado cuando se necesitan agua muy pura. (Ver figura 3.12).

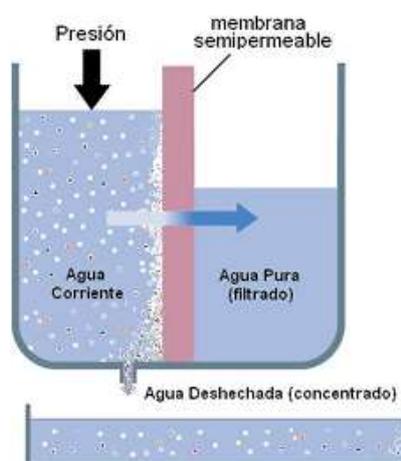


Figura 3.12. Principio de osmosis inversa.
Fuente: Diario de Ciencias, 2016.

3.5 MATERIALES ADSORBENTES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

La adsorción es uno de las etapas aplicadas en el tratamiento terciario a través del cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de diferentes materiales adsorbentes; estos materiales son sólidos pueden ser naturales o sintéticos y se caracterizan por poseer una alta porosidad con el fin de lograr una mayor atracción de partículas.

La tecnología de adsorción se lleva a cabo por medio de un lecho empacado o columnas formadas por gránulos del material adsorbente como: arcillas naturales o modificadas, zeolita, arena, cenizas, turba, quitosano, entre otros. A medida que el agua a tratar fluye a través de la columna los contaminantes se fijan sobre la superficie porosa de los gránulos obteniendo así un efluente libre de contaminantes.

3.5.1 Arena.

Los filtros de arena son utilizados generalmente para separar material sólido suspendido del agua, estos filtros pueden elaborarse de una forma manual o automática, su objetivo principal es remover contaminantes como: hierro y manganeso. Entre sus aplicaciones están: tratamientos de aguas residuales, producción de agua potable, filtración de piscinas, pre filtración para sistemas de membrana o filtración para aguas grises o de superficie.

Son utilizados para aguas con cargas bajas de contaminantes y una de sus grandes ventajas es que una vez el lecho filtrante este cargado de contaminantes puede ser regenerado por medio de procesos de limpieza en contracorriente. (Ver figura 3.13).

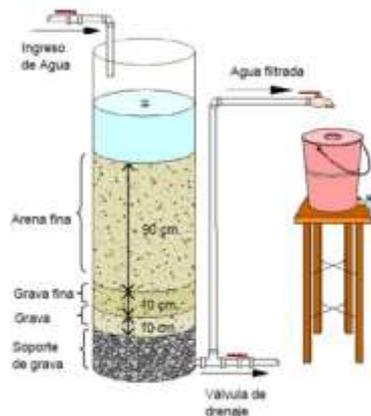


Figura 3.13. Principio de filtración con arena.
Fuente: FUNDESYRAM, 2016.

3.5.2 Carbón activado.

Según la Revista Carbotécnica (2014):

El carbón activado o carbón activo es carbón poroso que atrapa compuestos, principalmente orgánicos, presentes en un gas o en un líquido. Lo hace con tal efectividad, que es el purificante más utilizado por el ser humano.

A la propiedad que tiene un sólido de adherir a sus paredes una molécula que fluye, se le llama “adsorción”. Al sólido se le llama “adsorbente” y a la molécula, “adsorbato”.

Después de la filtración que tiene por objeto retener sólidos presentes en un fluido, no existe un sólo proceso de purificación con más aplicaciones que el carbón activado. Entre ellas están: Potabilización de agua (el carbón retiene plaguicidas, grasas, aceites, detergentes, subproductos de la desinfección, toxinas, compuestos que producen color,

etc.). Refinación de azúcar (el carbón retiene las proteínas que dan color al jugo de caña; el objetivo fundamental de este proceso es evitar que el azúcar fermente y se eche a perder). Decoloración de aceites vegetales (como el de coco), glucosa de maíz y otros líquidos destinados a la alimentación. Decoloración y deodorización de bebidas alcohólicas (como vinos de uva y destilados de cualquier origen) entre otras.

La fuerza con la que el átomo superficial de carbono atrapa a la otra, se llama “Fuerza de London”, que es uno de los siete tipos de “fuerzas de Van der Waals”. Se considera una unión fisicoquímica, suficientemente fuerte para retener al adsorbato, pero no tan fuerte como para considerarla una unión química irreversible que forma una nueva estructura molecular. Por ello, la adsorción es reversible y el carbón activado puede reactivarse para utilizarse de nuevo. Las moléculas que adsorbe el carbón tienden a ser covalentes, no iónicas, pues estas últimas tratarían de robar o de donar electrones a los átomos de carbono. Las uniones entre átomos de carbono e hidrógeno son covalentes, y es por ello que el carbón es un buen adsorbente de moléculas orgánicas.

No todas las moléculas orgánicas tiendan a ser covalentes. Suelen contener átomos de oxígeno, azufre y otros de alta electronegatividad, que dan tendencia iónica a la parte de la molécula que los contiene. Por otro lado, no todas las moléculas inorgánicas tienden a ser iónicas; también las hay de tendencia covalente. Tal es el caso del dicianuro de oro, que hace del carbón activado una parte esencial del proceso de extracción de este metal precioso. El carbón puede producirse en forma de polvo, de gránulos o de pelets cilíndricos. (Ver figura 3.14).



Figura 3.14. Carbón activado granular.
Fuente: Carbotécnia, 2014.

El polvo sólo se aplica en la purificación de líquidos; el carbón se dosifica en un tanque con agitación y luego se separa del líquido por medio de un filtro adecuado para retener partículas pequeñas (como es el filtro prensa). En el caso del carbón granular, se produce en diferentes rangos de partícula y se aplican, tanto en la purificación de líquidos como de gases. Los pelets se aplican normalmente en el tratamiento de gases, ya que su forma cilíndrica produce una menor caída de presión.

La capacidad de un carbón activado para retener una sustancia determinada no sólo está dada por su área superficial, sino por la proporción de poros cuyo tamaño sea el adecuado, es decir, un poro adecuado tiene un diámetro de entre una y cinco veces el tamaño de la molécula que se va a adsorber. Si se cumple esta condición, la capacidad de un carbón activado puede ser de entre el 20% y el 50% de su propio peso.

3.5.3 Zeolita activada.

Las zeolitas son minerales micro porosos formados por la desvitrificación de cenizas volcánicas durante millones de años. Son aluminosilicatos hidratados de Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio y otros minerales alcalinos y alcalinos térreos que se encuentran en forma natural en la tierra. Todas las zeolitas tienen una estructura tridimensional en forma de jaula que contiene canales con un diámetro específico. Este retículo cristalino está formado por tetraedros de SiO_4 y AlO_4 en configuraciones ligeramente diferentes en cada tipo de zeolita. Poseen una estructura cristalina eléctricamente cargada que puede ser utilizada para retener cationes. Esta estructura presenta un arreglo tridimensional de tetraedros. (Gómez, M. J., 2001). (Ver figura 3.15).



Figura 3.15. Zeolita activada.
Fuente: Gómez M. J., 2001.

Las propiedades más relevantes de las zeolitas naturales son: porosidad, adsorción e intercambio iónico. (Curi, et al 2006).

- Porosidad: Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares (3 a 13nm) que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas.

Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. La IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) reconoce tres tipos de poros atendiendo a su tamaño, si son mayores de 50nm se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 2 y 50nm se trata de mesoporos y si son menores de 2nm, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos.

Cuando la distancia entre dos superficies es suficientemente corta, los potenciales de adsorción se suman, de forma que una molécula situada en el interior del poro se ve atraída por toda la superficie del poro aumentando la fuerza con la que se ve atraída. Es decir, a medida que disminuye el tamaño del poro más profundo se hace el pozo de potencial. En el caso de que el poro sea suficientemente ancho las moléculas se irán adsorbiendo formando una monocapa a una distancia determinada de la superficie, y a medida que aumenta la cantidad adsorbida el adsorbato se ordena en capas sucesivas.

- Adsorción: la superficie de los sólidos es una región singular, que es responsable o al menos condiciona muchas de sus propiedades. Los átomos que se encuentran en ella no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos situados en el seno del sólido que es, en definitiva, responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos. A distancias suficientemente grandes, no existe una interacción apreciable entre una molécula acercándose a una superficie, por lo tanto, la energía de este sistema es próxima a cero. A medida que la molécula se acerca a la superficie la energía del sistema comienza a disminuir debido a que las fuerzas de cohesión de los átomos de la superficie empiezan a verse compensadas. En otras palabras, el potencial de adsorción origina una fuerza atractiva que provoca el acercamiento de la molécula a la superficie. Cuando la distancia entre la superficie y la molécula libre comienza a disminuir, las fuerzas de repulsión comienzan a ser importantes. Por lo tanto, existe una distancia para la cual la energía del sistema es

mínima. La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionada a la gran superficie interna que ésta posee. Cuando el tamaño del poro disminuye se produce un incremento significativo del potencial de adsorción, ocasionado por el solapamiento de los potenciales de las paredes del poro. Así, para un mismo adsorbato, la interacción con las paredes del poro es mayor cuanto menor es el tamaño del poro, y por tanto, mejor el confinamiento de la molécula adsorbida.

- Intercambio iónico: se considera una propiedad intrínseca de estos minerales pues es el producto de la sustitución isomórfica de los átomos de silicio de su estructura cristalina por otros átomos. En el caso de las zeolitas esta sustitución ocurre por átomos tetravalentes de aluminio lo que produce una carga neta negativa en la estructura que se compensa por cationes fuera de ella. Estos cationes son intercambiables, de ahí la propiedad intrínseca de intercambio iónico que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa, pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso.

3.5.4 Arcilla.

Las arcillas son los componentes de la fracción inferior a 2 μm de suelos y sedimentos. La mayor parte de ellos son filosilicatos. Poseen la particularidad de retener el agua y otros líquidos polares, así como fijar e intercambiar cationes. (Ver figura 3.16). Emplear arcillas en el tratamiento de aguas es debido a su característica porosa que les da una capacidad grande de absorción utilizándose así en procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos aprovechando la porosidad como una propiedad extensiva de la materia, por ello se utilizan en: procesos de filtración, floculación y clarificación y purificación de productos.



Figura 3.16. Arcilla para filtración
Fuente: Aula Natural, 2016.

4.0 DISEÑO METODOLÓGICO.

Las pruebas para la propuesta de diseño de la planta de tratamientos de aguas se presentan en la siguiente figura. (Ver Figura 4.0.).

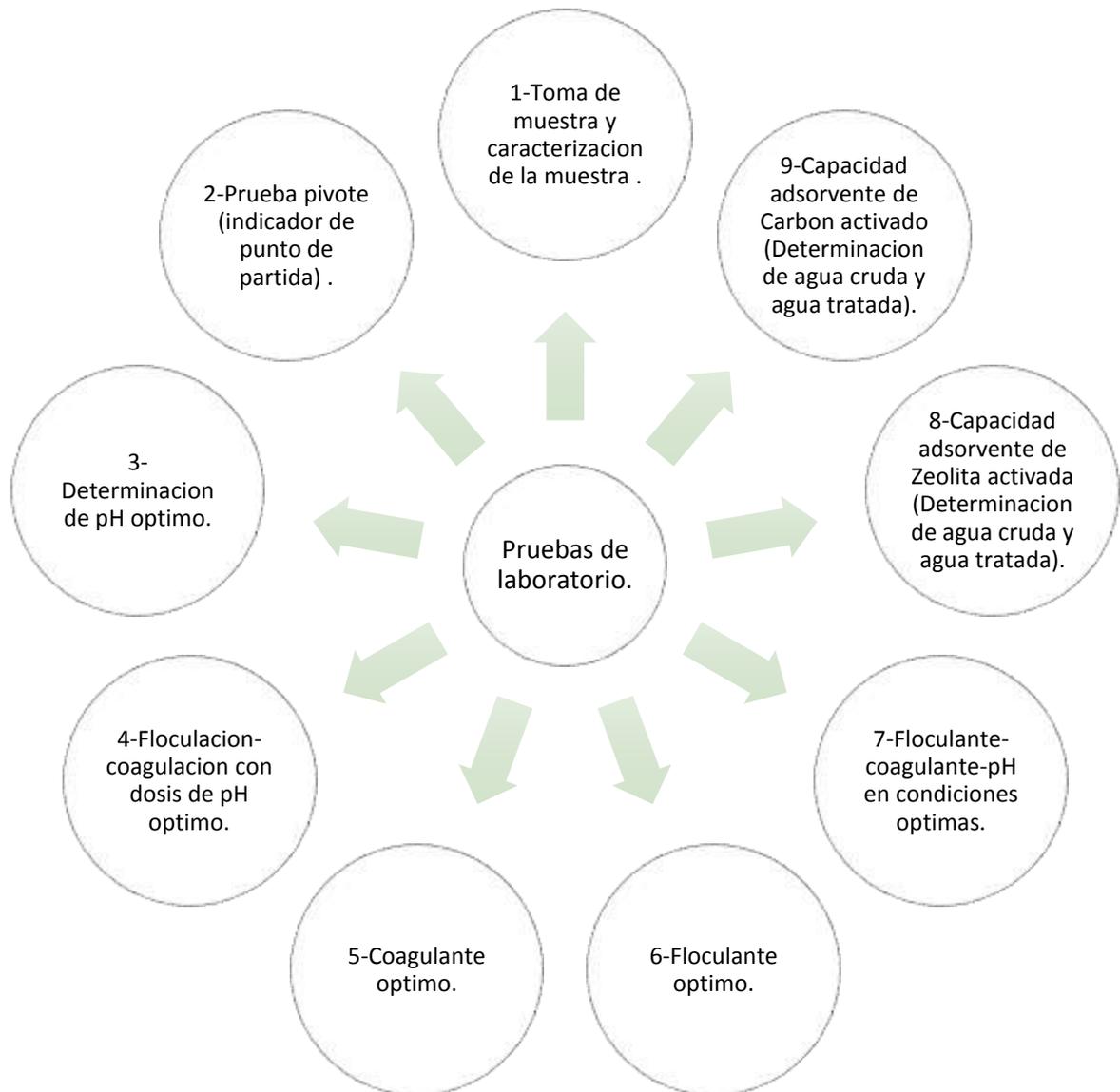


Figura 4.0. Esquema de diseño metodológico.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.1 TOMA DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL.

Las muestras de agua residual de la industria de pinturas base agua han sido tomadas bajo la metodología sugerida en el Anexo B de la Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:06.

- Para análisis físico químico utilizar un frasco, el cual no necesita esterilización, ni protección de papel, con capacidad para 4.0 litros de muestras destinadas a examen físico químico, pueden utilizarse botellas bien grabadas con tapón de corcho nuevo.
- Al quitar el tapón del frasco en que se tomará la muestra debe evitarse el contacto con las manos o cualquier otra cosa que tenga la capacidad de contaminar la muestra, también debe evitarse el contacto con las partes del esmerilado y con la boquilla del frasco pues esto igualmente puede contaminar la muestra. La muestra de agua no debe ponerse en contacto con cosa alguna mientras pasa de la fuente a la botella o frasco.
- No cometer el error de quitar una tira de papel que muchas veces se encuentra debajo del tapón, este papel está estéril y quitarlo podría afectar en los resultados del análisis.
- Nunca se llenarán los frascos completamente, dejar siempre un espacio de aire suficiente cuando haya tomado la muestra.
- Es indispensable llenar completamente la tarjeta de información que va a agregar a estas instrucciones; sus datos ayudarán mucho a la interpretación de los resultados de los análisis.
- No es prudente tomar la muestra cuando hace mucho viento o llueve intensamente, porque ambas cosas aumenta la posibilidad de una contaminación.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.

La caracterización de la muestra se lleva a cabo por medio del Laboratorio Especializado en Control de Calidad (LECC) cuyo alcance de acreditación otorgado por el Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA), cumple con los requisitos para el análisis de aguas en el área de agua residual, salina y superficial. La toma de la muestra se realizó en la trampa 1 en una industria de pinturas base agua. (Ver Figura 4.1)

Los frascos respectivos para la toma de las muestras fueron proporcionados por LECC, para el análisis fisicoquímico que comprende los siguientes análisis:

PRIMERA ETAPA: Caracterización de la Muestra.

- Aceites y Grasas (Gravimétrico)
- Aluminio (Absorción Atómica)
- Cromo Total (Absorción Atómica)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (Titrimétrico)
- Demanda Química de Oxígeno (Espectrofotométrico)
- Plomo (Absorción Atómica)
- Sólidos Suspendedos Totales (Gravimétrico)
- Sólidos Totales (Gravimétrico)



Figura 4.1. Lugar de toma de muestra Trampa 1.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

La toma de las muestras se realizó con el fin de obtener los parámetros de partida para el diseño a proponer para el tratamiento de aguas residuales, de la industria de pinturas base agua.

Se utilizarán los resultados del análisis fisicoquímico para evaluar las propiedades de los materiales adsorbentes propuestos en la parte experimental de la investigación.

El cuadro 4.1 presenta los resultados de análisis fisicoquímicos a la muestra de agua residual proveniente de la trampa 1 de una industria de pinturas base agua.

Cuadro 4.1. Resultados del análisis fisicoquímicos de la muestra de agua residual.

Determinación	Especificación	Resultado
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5,20	100 mg/L	298.3 mg/L
Demanda Química de Oxígeno	300 mg/L	1,519.0 mg/L
Sólidos suspendidos totales	100 mg/L	600.0 mg/L
Aceites y Grasas	30 mg/L	12.2 mg/L
Cromo Total	1 mg/L	0.026 mg/L
Plomo	0.4 mg/L	0.12 mg/L
Aluminio	5 mg/L	5.5 mg/L
Sólidos Totales	No Disponible.	1,512.0 mg/L

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Especificación según: Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09, fabricación pinturas, barnices y lacas.

4.3 PARTE EXPERIMENTAL.

4.3.1 Material y Equipo de Laboratorio.

El cuadro 4.2 establece el material, equipo y reactivos utilizados para llevar a cabo la metodología utilizada a escala de laboratorio.

Cuadro. 4.2. Material y Equipo de Laboratorio.

Material y Equipo de laboratorio			
Cristalería	Cantidad	Cristalería	Cantidad
Beakers 600 ml	3	Agitador de vidrio	1
Beakers 1000 ml	3	Pizeta	1
Erlenmeyer 500ml	3	Embudo de vidrio	3
Erlenmeyer 250 ml	3	Espátula	1
Vidrio reloj	3	Gotero	1
Materiales	Cantidad	Materiales	Cantidad
Sulfato de Aluminio	100 g.	Carbón activado	3 Kg.
Zeolita activada	3 Kg.	Hipoclorito de Calcio	10 g.
Agua destilada	1L	Cloruro Férrico	100 g.
Equipo		Descripción	
1 Agitador de Disco		Longitud del Eje: 29cm Diámetro de Disco: 5.5cm Tipo de Disco: Propela de Pala Rango de RPM: 40-300	
1 Balanza analítica METTLER TOLEDO Classic MS Analyticals		Capacidad Max: 120g Exactitud: $\pm 0.2\text{mg}$	
1 Soporte Universal		-	
Papel Filtro 125mm		-	
1 Tacómetro Óptico PCDE DT62		40-500 RPM	
1 pH-metro		pH: $-2.00/16.00 \pm 0.01$ Temperatura: $0/110^{\circ}\text{C} \pm 1$	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.3.2 Etapa de floculación-coagulación.

Determinar a escala de laboratorio las condiciones recomendadas para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industrias de pintura en las etapas de: Floculación-Coagulación y comparar la capacidad adsorbente de la zeolita activada contra el carbón

activado para la etapa de filtración. El cuadro 4.2 presenta los materiales a utilizar para llevar a cabo el procedimiento experimental.

4.3.2.1 Selección de la muestra.

Se hace toma de la muestra de agua residual a la salida del afluyente de la planta de producción de una Industria de pinturas a base de agua (Ver Figura 4.2), siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

- Para el diseño experimental propuesto para la evaluación de la capacidad adsorbente se requiere una muestra suficientemente grande y representativa en el que se incluya el análisis por triplicado desde la etapa de floculación- coagulación hasta la etapa de adsorción.
- Se utilizan guantes de nitrilo y una espátula de acero inoxidable para mezclar el efluente de agua residual durante 5 minutos hasta homogenizar.
- Se toma la muestra en una cubeta de plástico limpia libre de polvo, grasa y con su tapa incluida y con capacidad para 5 Galones equivalente a 18.75 litros.
- Se registra el peso de la muestra total, etiquetar con fecha y hora de la toma de la muestra.
- Sellar con la tapa hermética, tiempo máximo de almacenaje recomendado para realizar las pruebas: 7 días.
- Tomar nota del peso total de los 5 galones de agua para determinar la densidad del agua cruda.



Figura 4.2. Muestras embotelladas, envases proporcionados por LECC.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.3.2.2 Prueba Pivote.

La muestra de agua residual cuenta con la presencia de materia orgánica tanto sólidos suspendidos como sólidos disueltos, posee un olor característico y una alta coloración que depende exclusivamente de la producción y pigmento utilizado en el proceso de fabricación de la pintura base agua. Dicha muestra se realiza por triplicado. (Ver figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7).



Figura. 4.3. Muestra 1 agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua.

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Figura. 4.4. Proceso de mezclado.
Fuente: elaboración propia, 2016.



Figura. 4.5. Proceso Floculación-Coagulación
Fuente: elaboración propia, 2016.



Figura. 4.6. Proceso de Filtración.
Fuente: elaboración propia, 2016.



Figura. 4.7. Muestra C1, dos días después de la filtración.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

El Cuadro 4.3 presenta los resultados obtenidos en la prueba pivote de coagulación floculación, recopilados a partir de la prueba experimental desarrollada.

Cuadro. 4.3. Resultados obtenidos de la prueba pivote de Coagulación-Floculación.

	A	B	C
pH de Agua Cruda	7.12	7.16	7.08
Peso del Beaker (g)	254	257	257
Peso de Agua (g)	600	600	600
Peso de Floculante (g)	1	3	5
Peso de Coagulante (g)	0.6	0.6	0.6
∑ Peso total	855.6	860.6	862.6
Tiempo de sedimentación (min)	10	10	10
pH final	5.9	4.16	4.13
Peso de agua filtrada +beaker(g)	842.3	831.3	829.4

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.3.2.3 Determinación pH Óptimo.

Las características del agua cruda que influyen en el proceso de coagulación-floculación son: turbidez y pH. Según los datos recolectados en la Tabla 4.3, se puede notar la variación generada por el floculante en las muestras de agua cruda.

De acuerdo a las características visibles de la muestra, aseguramos la influencia que genera la alta turbidez y alcalinidad en la floculación para la acción del sulfato de aluminio; por lo tanto citamos la siguiente clasificación (Ver cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Clasificación del Agua e Influencia de la turbidez y alcalinidad sobre el sulfato de aluminio.

TIPO DE AGUA	SULFATO DE ALUMINIO
TIPO I Alta turbidez- Alta Alcalinidad	*Efectivo a pH 5-7 *No requiere adición de alcalinidad y el coagulante ayuda
TIPO II Alta Turbiedad- Baja Alcalinidad	*Efectivo a pH 5-7 *Puede necesitar adicionar una sustancia para mejorar la alcalinidad si disminuye el pH durante el tratamiento
TIPO III Baja Turbidez- Alta Alcalinidad	*Efectivos en altas dosis *Puede necesitar un coagulante, ayuda a dar peso al flóculo y sedimentar.
TIPO IV Baja Turbidez-Baja Alcalinidad	*Efectivo solo para flóculos de barrido, pero la dosis alta destruye la alcalinidad *Debe adicionarse alcalinidad para producir un tipo III o arcilla para un tipo II.

Fuente: Silicatos y Derivados, S.A. de C.V. México, 2015.

Según los resultados obtenidos en la prueba pivote de floculación-coagulación se considera un efecto pobre de la acción del floculante, debido a esto se requiere agregar una variable a controlar en el proceso, como lo es el pH; buscando las condiciones óptimas para el uso del sulfato de aluminio como floculante y un producto comercial

cuyo principio activo es el sulfato de hierro (III) como coagulante para el proceso requerido con las muestras de agua residual.

A raíz de estos resultados se utilizaron distintas dosis de la solución de hipoclorito de calcio al 1% para obtener un aumento en el pH llamado intermedio que corresponde a la entrada del proceso de floculación; utilizando el tiempo de sedimentación como variable de control.

En función de mejorar la acción del floculante en aguas del TIPO II se plantea la metodología para determinar el pH óptimo de floculación-coagulación; tomando en cuenta que se ha utilizado la misma dosis de floculante para garantizar un mismo efecto de la acción de la sustancia en comparación con el procedimiento experimental anterior; se ha buscado aumentar la alcalinidad con una solución de hipoclorito de calcio 1% p/p según la sugerencia para estas aguas del Cuadro 4.4 de la siguiente manera:

- Se prepara una solución de hipoclorito de calcio al 1% (P/P) con el fin de aumentar la alcalinidad de la muestra.
- Medir 600 gramos de agua cruda de la muestra representativa (S0) en 3 beakers respectivamente, (Ver Figura 4.8).
- Registrar pH del agua cruda de cada beaker.
- Adicionar distintos pesos de la solución preparada de hipoclorito de calcio 1% (P/P) a las muestras de agua cruda de los beakers respectivamente.
- Medir el pH de cada Beaker luego de adicionar hipoclorito de calcio al 1% (P/P).
- Como primer ensayo agregar a cada Beaker 1g de sulfato de aluminio.
- Mezclar cada beaker por 10 minutos a 40RPM.
- Medir pH después de mezclar.
- Dejar reposar y tomar nota del tiempo de sedimentación.
- Como segundo ensayo repetir la metodología pero esta vez agregando 3 g de floculante.
- Como tercer ensayo repetir la metodología pero esta vez agregando 5 g de floculante.



Figura. 4.8. Metodología de determinación de pH óptimo.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.5 presenta los resultados obtenidos respecto a la variación del pH a partir del tiempo de sedimentación establecido.

Cuadro 4.5. Resultados determinación de pH óptimo. Efecto del pH vs tiempo de Sedimentación.

Floculante	pH Inicial	Solución de Hipoclorito de Calcio 1% (g)	pH Intermedio	ETAPA DE FLOCULACIÓN	pH Final	Tiempo de Sedimentación (min)
1g	7.15	30	8.15		5.6	32:25
	7.18	60	8.5		5.48	30:12
	7.11	90	9.21		5.21	35:47
3g	7.16	50	8.43		4.86	08:45
	7.18	70	8.54		5.57	05:15
	7.14	90	9.16		5.22	10:32
5g	7.16	60	8.48	4.32	15:15	
	7.09	70	8.63	4.86	12:35	
	7.13	80	8.92	4.11	13:58	

Fuente: elaboración propia, 2016.

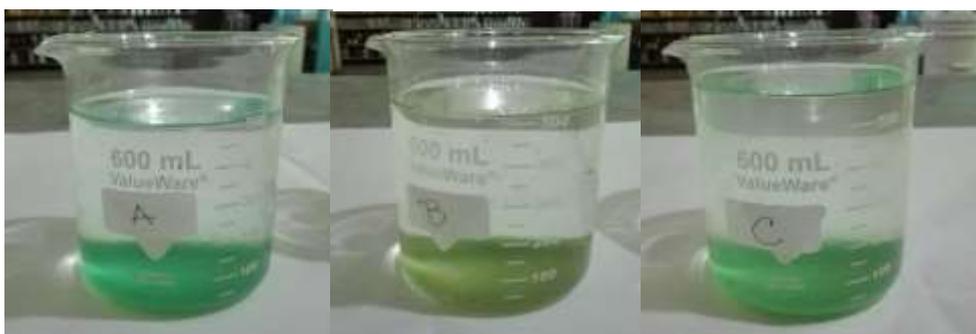


Figura. 4.9. Muestras de agua residual sedimentada con 70 gramos de solución de hipoclorito de calcio al 1% P/P. Fuente: elaboración propia, 2016.

De acuerdo a los resultados mostrados en el cuadro 4.5 se puede observar la variación que tiene el pH con respecto a la cantidad de floculante utilizado; de esta manera podemos afirmar que utilizando un exceso de floculante el pH final se vuelve muy ácido inhibiendo la acción del mismo, mientras que en poca cantidad el tiempo de sedimentación aumenta; por lo tanto bajo este concepto se maneja la relación que se debe mantener entre la cantidad de floculante y el aumento de alcalinidad con un pH que asegure la efectividad del sulfato de aluminio de manera rápida.

Se ha utilizado la variable cualitativa del tiempo de sedimentación más corto como la variable de control para definir los mejores tiempos de sedimentación, utilizando las dosis de 70g de solución de hipoclorito de calcio para garantizar la acción del floculante y garantizando una rápida clarificación del agua. (Ver Figura 4.9).

Al comparar los tiempos de sedimentación y pH de activación del floculante, la variable óptima obtenida de la serie de datos es a un pH final de 5.57 utilizando 70g de solución de hipoclorito de calcio al 1% (P/P) al presentar un tiempo de sedimentación más corto de 5 minutos con 15 segundos.

4.3.2.4 Floculación-Coagulación con dosis de pH óptimo.

La muestra presenta una gran cantidad de sólidos suspendidos de tamaño pequeño, un olor característico y una alta cantidad de pigmento color verde.

El Cuadro 4.6 presenta los resultados obtenidos para la prueba #3 de Coagulación Floculación, utilizando la dosis recomendada de solución de hipoclorito de calcio al 1% (P/P) para garantizar el pH de activación del floculante.

Cuadro 4.6. Datos recolectados del proceso de floculación-coagulación en condiciones de pH óptimo.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254	257	257
Peso de Agua (g)	600	600	600
∑ Peso total	854	857	857
Peso de Floculante (g)	1	3	5
Peso de Coagulante (g)	1.2	1.2	1.2
Peso de hipoclorito de calcio al 1% (P/P) (g)	70	70	70
pH Intermedio	8.74	8.85	8.93
Tiempo de sedimentación (min)	03:30	03:10	02:20
pH Final	5.2	4.3	4.2
Peso agua floculada +beaker (g)	835.3	826.9	824.0

Fuente: Elaboración propia, 2016.

4.3.2.5 Determinación de dosis óptima de coagulante.

Al garantizar el pH óptimo para la floculación se ha mejorado el tiempo de sedimentación y remoción de lodos, sin embargo la consistencia del sedimento dificulta su remoción a la hora de separar la fase líquida, posterior al proceso de sedimentación ya que se requiere una consistencia más compacta de los lodos. Debido a esto se realiza un ensayo de determinación óptima de coagulante para garantizar una mayor consistencia de los lodos generados en el proceso bajo las condiciones en las que se pretende utilizar el coagulante por medio de la siguiente metodología:

- En 3 beakers respectivamente medir 600g de agua cruda, etiquetar y registrar el pH inicial.
- Agregar 70 g de solución de hipoclorito de calcio al 1% P/P a cada beaker.
- Agregar 0.6, 1.2 y 1.8g de coagulante respectivamente en cada uno de los beakers.
- Mezclar por 5 minutos a 30 RPM

- Filtrar el contenido de cada uno de los beakers utilizando un embudo y papel filtro.
- Luego de la etapa de filtración determinar la cantidad de lodos retenidos en el papel filtro. (Ver Figura 4.10).



Figura 4.10. Etapa de filtración para determinar lodos retenidos.
Fuente: elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.7 presenta los resultados obtenidos para la determinación de dosis óptima de coagulante.

Cuadro. 4.7. Resultados de la prueba de determinación de dosis óptima de coagulante.

Coagulante	Floculante (g)	pH Final	Sólidos Retenidos (g)
0.6	1	5.83	13.4
	3	4.37	18.6
	5	4.11	26.1
1.2	1	5.19	21.2
	3	5.36	28.7
	5	4.15	31.9
1.8	1	4.43	31.1
	3	5.41	48.3
	5	4.06	29.2

Fuente: elaboración propia, 2016.



Figura 4.11. Lodos generados con 1.8g de coagulante en el tercer ensayo de coagulación óptima.

Fuente: elaboración propia, 2016.

Como resultado de la remoción de contaminantes del agua residual de la industria de pinturas se obtienen los lodos de la primera etapa de pretratamiento por medio de floculación-coagulación estos ensayos representan la cantidad de reactivos a utilizar en futuras aplicaciones concretas de tratamiento de aguas residuales con etapa de floculación-coagulación. (Ver Figura 4.11).

Durante las pruebas, la reducción de sólidos suspendidos y materia orgánica es visible debido al espesor y consistencia de los aglomerados que se obtienen después de permitir por reposo la sedimentación, por lo que con el proceso de desestabilización de coloides y la formación de partículas coaguladas se logra obtener una cantidad considerable de flóculos. A pesar de precipitar con facilidad existe una cantidad de sólidos dispersos que no sedimentan de la misma manera con la que lo hicieron los aglomerados más densos, por lo que son considerados como coloides desestabilizados de lenta sedimentación.

Debe tomarse en cuenta que el agua cruda posee turbidez y color causado por partículas coloidales que permanecen en suspensión prolongadamente, por lo que la técnica de adición y dispersión de los químicos para lograr la sedimentación de estos lodos ha sido en mezcla lenta. Para favorecer el contacto y aglomeración de flóculos que podrán ser eliminados fácilmente por decantación y otra parte por filtración; y de esta manera se disminuirá también la humedad presente en los lodos. Las partículas más pequeñas tienen un tiempo de sedimentación y caída mayor, por lo que imposibilita la decantación sin la adición de un factor externo como lo será la adsorción con zeolita activada y carbón activado.

4.3.2.6 Determinación de dosis óptima de floculante.

La muestra contiene hojas y materia orgánica suspendida, olor penetrante y un alto tono de coloración verde. También presenta materia orgánica sedimentada. La muestra se realiza por triplicado. (Ver Figuras 4.12 y 4.13).



Figura. 4.12. Muestras de agua residual provenientes de la Industria de pinturas base agua.

Fuente: elaboración propia, 2016.



Figura 4.13. Proceso de agitación, sedimentación y filtración.

Fuente: elaboración propia, 2016.

Con los resultados del cuadro 4.8 se presume detallar los parámetros óptimos marcados de color amarillo para la etapa de floculación-coagulación; por lo que esta prueba se realiza por triplicado para determinar si los parámetros obtenidos corresponden a los valores óptimos para el proceso de floculación-coagulación. (Ver cuadro 4.8).

Cuadro. 4.8. Datos obtenidos de floculación-coagulación.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254	257	257
Peso de Agua (g)	600	600	600
pH inicial	✓ 7.47	✓ 7.60	✓ 7.44
Solución de hipoclorito de calcio (g)	70	70	70
pH intermedio	✓ 8.56	✓ 8.82	✓ 8.83
Temperatura	26.4	26	26.2
Peso de Floculante (g)	1	3	5
Peso de Coagulante (g)	1.8	1.8	1.8
∑ Peso total	926.8	931.8	933.8
Tiempo de sedimentación (min)	08:01	✓ 4:20	07:05
Peso de agua floculada + beaker (g)	816	804.5	828

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Posteriormente se realiza una prueba por triplicado para verificar la estimación de los valores óptimos requeridos en el proceso de floculación-coagulación. (Ver cuadro 4.9).

Cuadro. 4.9. Resultados y verificación de dosis óptima de coagulante y floculante

	A	B	C
Peso de Agua (g)	600	600	600
pH inicial	7.44	7.35	7.39
Solución de hipoclorito de calcio (g)	70	70	70
pH intermedio	8.75	8.89	8.82
Peso de Floculante (g)	3	3	3
Peso de Coagulante (g)	1.8	1.8	1.8
Peso de Agua filtrada (g)	554.7	556.5	553.4
Tiempo de sedimentación (min)	✓ 4:27	✓ 4:23	✓ 4:35
Sólidos removidos (g)	✓ 45.3	✓ 43.5	✓ 46.6
% sólidos removidos	✓ 9.55	✓ 9.25	✓ 8.77
pH Final	✓ 5.43	✓ 5.11	✓ 5.15

Fuente: elaboración propia.

4.3.3 Capacidad adsorbente con zeolita activada.

Los materiales sólidos empleados como adsorbentes buscan, asegurar un gran desarrollo superficial mediante una elevada porosidad. Los adsorbentes naturales: arcillas y zeolitas, tienen pequeñas superficies. Los adsorbentes industriales y los carbones activados de buena calidad pueden llegar a tener entre 1.000 y 1.500 m²/g. (Textos Científicos, 2016).

Entre las características importantes que debe reunir un buen adsorbente son las siguientes:

- Alta capacidad de adsorción. La relación de equilibrio entre las fases influye en la eficacia con que se alcanza la capacidad final y, en muchos casos, controla la capacidad real del soluto.
- Propiedades físicas y tamaño de partícula adecuados para garantizar la necesaria resistencia mecánica y facilidad de manejo, produciendo la menor pérdida de carga posible tanto en lechos fijos como en los móviles o fluidizados.
- Coste bajo, tanto como materia prima como en el proceso de fabricación.
- Fácil regeneración; por desorción, especialmente en el caso de los procesos continuos.

4.3.3.1 Selección de la muestra.

Se hace toma de la muestra de agua residual a la salida del efluente de la planta de producción de una Industria de pinturas a base de agua, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

- Para el diseño experimental propuesto para la evaluación de la capacidad adsorbente de la zeolita activada se requiere una muestra suficientemente grande y representativa en el que se incluya el análisis por triplicado con agua cruda y una segunda con agua tratada proveniente de la etapa de floculación- coagulación.
- Se utilizan guantes de nitrilo y una espátula de acero inoxidable para mezclar el efluente de agua residual durante 5 minutos hasta homogenizar.
- Se toma la muestra en una cubeta de plástico; limpia libre de polvo, grasa y con su tapa incluida con capacidad para 5 Galones equivalente a 18.75 litros.
- Se registra el peso de la muestra total, etiquetar como S1 con fecha y hora de la toma de la muestra.
- Sellar con la tapa hermética, tiempo máximo de almacenaje recomendado para realizar las pruebas: 7 días.

4.3.3.2 Capacidad adsorbente de zeolita activada con agua cruda.

- Homogenizar la muestra representativa (S1) y tomar un beaker de 1000ml, limpio y enjuagado con agua destilada.
- Distribuir 600g de la muestra de S0 en tres beakers y etiquetar como A, B y C.
- Agregar 20, 30 y 40g de zeolita activada en cada uno de los beakers previamente etiquetados.
- Mezclar la zeolita y el agua cruda en cada una de las muestras por 15 minutos a 40RPM.
- Dejar reposar por 20 minutos luego de la mezcla y separar la fase líquida utilizando una malla 80 mesh.
- Registrar el peso neto obtenido del agua por diferencia con el peso utilizado del material adsorbente y el peso de la muestra de agua cruda. Realizar este procedimiento por triplicado.

Por medio del procedimiento planteado, se asegura controlar la variable de peso del material adsorbente, con una muestra de agua de peso conocido para obtener un dato objetivo de la remoción de sólidos netos de la muestra de agua cruda; de esta manera se obtendrá un porcentaje mínimo de remoción de sólidos esperados con respecto a la adsorción en agua tratada. (Ver Figura 4.14).



Figura 4.14. Proceso de adsorción de zeolita activada con agua cruda.
Fuente: elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.10 establece los resultados obtenidos para la capacidad adsorbente de zeolita activada con agua cruda.

Cuadro. 4.10. Resultados de capacidad adsorbente de zeolita activada con agua cruda.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254.6	256	256.6
Peso de Beaker + Agua (g)	854.6	856	856.6
pH inicial	7.78	7.73	7.75
Peso de Zeolita	20	30	40
Peso Neto de Agua Filtrada (g)	560.5	556.5	545.5
pH Final	7.95	7.86	8.13

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.3 Capacidad adsorbente de zeolita con agua tratada.

- Tratar 2Kg de agua cruda con las dosis óptimas determinadas en la etapa de floculación-sedimentación. Registrar pH inicial, final y dosis de coagulante-floculante utilizada.
- Tomar una muestra representativa de agua generada en el punto anterior procedente de la etapa de floculación-sedimentación.
- Pesar en 3 beakers respectivamente 500g de agua tratada.
- Debe realizarse el acondicionamiento del pH al agua en los beakers agregando 10g de solución de hipoclorito de calcio al 1% P/P en cada uno.
- Agregar 20, 30 y 40gramos de zeolita activada respectivamente a los beakers que contienen el agua tratada.
- Mezclar la zeolita y el agua tratada en cada una de las muestras por 15 minutos a 40RPM.
- Dejar reposar por 20 minutos luego de la mezcla y separar la fase líquida utilizando una malla 80 mesh.

- Registrar el peso neto obtenido del agua. Realizar este procedimiento por triplicado. (Ver Figura 4.15).



Figura 4.15. Proceso de adsorción de zeolita activada con agua tratada.
Fuente: elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.11 establece los resultados obtenidos para la capacidad adsorbente de zeolita activada con agua tratada, utilizando para el tratamiento los parámetros óptimos determinados en la etapa de floculación-coagulación, cuya única variación de los ensayos presentados corresponde a la cantidad de material adsorbente utilizado.

Cuadro. 4.11. Resultados de capacidad adsorbente de zeolita activada con agua tratada.

FLOCULACIÓN- SEDIMENTACIÓN			
	A	B	C
pH Inicial	7.39		
Dosis de Hipoclorito de Calcio 1%(g)	70		
Dosis de Coagulante (g)	1.8		
Dosis de Floculante (g)	3		
pH Intermedio	5.23		
ADSORCIÓN- FILTRACIÓN			
Peso de Zeolita Activada (g)	20	30	40
Peso Neto de Agua Filtrada (g)	450.5	441.5	427.5

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Capacidad adsorbente con carbón activado.

El carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte.

Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son de transporte, y tienen un rango muy amplio de tamaño, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista, y que corresponde a 0.1mm.

4.3.4.1 Selección de la muestra.

Se hace toma de la muestra de agua residual a la salida del efluente de la planta de producción de una Industria de pinturas a base de agua, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

- Para el diseño experimental propuesto para la evaluación de la capacidad adsorbente del carbón activado se requiere una muestra suficientemente grande y representativa en el que se incluya el análisis por triplicado con agua cruda y una segunda con agua tratada proveniente de la etapa de floculación- coagulación.
- Se utilizan guantes de nitrilo y una espátula de acero inoxidable para mezclar el efluente de agua residual durante 5 minutos hasta homogenizar.
- Se toma la muestra en una cubeta de plástico, limpia, libre de polvo, grasa y con su tapa incluida; con capacidad para 5 Galones equivalente a 18.75 litros.
- Se registra el peso de la muestra total, etiquetar como S1 con fecha y hora de la toma de la muestra.
- Sellar con la tapa hermética, tiempo máximo de almacenaje recomendado para realizar las pruebas: 7 días.

4.3.4.2 Capacidad adsorbente de carbón activado con agua cruda.

- Homogenizar la muestra representativa (S1) y tomar un beaker de 1000ml, limpio y enjuagado con agua destilada. Tomar nota de pH inicial.
- Distribuir 600g de la muestra de S1 en tres beakers y etiquetar como A, B y C.

- Agregar 20, 30 y 40g de carbón activado en cada uno de los beakers previamente etiquetados.
- Mezclar el carbón activado y el agua cruda en cada una de las muestras por 15 minutos a 40RPM.
- Dejar reposar por 20 minutos luego de la mezcla y separar la fase líquida utilizando una malla 80 mesh.
- Registrar el peso neto obtenido del agua por diferencia con el peso utilizado del material adsorbente y el peso de la muestra de agua cruda. Realizar este procedimiento por triplicado.

De la misma forma que para la zeolita activada, se realizó el procedimiento por triplicado utilizando las mismas cantidades de carbón activado, para ser comparados objetivamente y de esta manera el material adsorbente no altera el porcentaje de remoción de sólidos. (Ver Figura 4.16).



Figura 4.16. Proceso de adsorción de carbón activado con agua cruda.

Fuente: elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.12 presenta los resultados obtenidos de la capacidad adsorbente del carbón activado con agua cruda.

Cuadro. 4.12. Resultados de capacidad adsorbente del carbón activado con agua cruda.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254.6	256	256.6
Peso de Beaker + Agua (g)	854.6	856	856.6
pH inicial	7.78	7.73	7.75
Peso de Carbón Activado	20.0	30.0	40.0
Peso Neto de Agua Filtrada (g)	561.6	541.4	531
pH Final	7.95	7.86	8.13

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.3 Capacidad adsorbente de carbón activado con agua tratada.

- Tratar 2Kg de agua cruda con las dosis óptimas determinadas en la etapa de floculación-sedimentación. Registrar pH inicial, final y dosis de coagulante-floculante utilizada.
- Tomar una muestra representativa de agua generada en el punto anterior procedente de la etapa de floculación-sedimentación.
- Pesar en 3 beakers respectivamente 500g de agua tratada.
- Debe realizarse el acondicionamiento del pH al agua en los beakers agregando 10g de solución de hipoclorito de calcio al 1% P/P en cada uno.
- Agregar 20, 30 y 40gramos de carbón activado respectivamente a los beakers que contienen el agua tratada.
- Mezclar el carbón activado y el agua tratada en cada una de las muestras por 15 minutos a 40RPM.
- Dejar reposar por 20 minutos luego de la mezcla y separar la fase líquida utilizando una malla 80 mesh.
- Registrar el peso neto obtenido del agua. Realizar este procedimiento por triplicado. (Ver Figura 4.17).



Figura 4.17. Proceso de adsorción de carbón activado con agua tratada.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El cuadro 4.13 presenta los resultados obtenidos de la capacidad adsorbente de carbón activado con agua tratada.

Cuadro. 4.13. Resultados de capacidad adsorbente de carbón activado con agua tratada.

FLOCULACIÓN- SEDIMENTACIÓN			
	A	B	C
pH Inicial	7.24		
Dosis de Hipoclorito de Calcio 1% (g)	70		
Dosis de Coagulante (g)	1.8		
Dosis de Floculante (g)	3		
pH Intermedio	5.38		
ADSORCIÓN- FILTRACIÓN			
Peso de Carbón Activado (g)	20.0	30.0	40.0
Peso Neto de Agua Filtrada (g)	436.5	425.3	406.0

Fuente: elaboración propia, 2016.

5.0 ANALISIS DE RESULTADOS.

5.1 RESULTADOS DE LA ETAPA FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la etapa de floculación-coagulación, en el que se incluyen los pesos de agua cruda, agua filtrada y por diferencia de pesos el cálculo de los sólidos retenidos, como también un porcentaje de remoción de sólidos obtenido en función del peso total de la muestra.

El análisis de porcentajes de remoción de sólidos se ha evaluado únicamente en función de las muestras utilizadas en cada una de las etapas.

5.1.1 Análisis de resultados prueba pivote.

El cuadro 5.1 presenta los resultados obtenidos de la etapa de floculación-coagulación pivote con sulfato de aluminio.

Cuadro. 5.1. Resultados de la floculación-coagulación pivote con sulfato de aluminio.

	A	B	C
pH de Agua Cruda	7.12	7.16	7.08
Peso del Beaker (g)	254	257	257
Peso de Agua (g)	600	600	600
Peso de Floculante (g)	1	3	5
Peso de Coagulante (g)	0.6	0.6	0.6
∑ Peso total	855.6	860.6	862.6
Peso Neto de Agua (g)	601.6	603.6	605.6
pH final	5.9	4.16	4.13
Peso de agua floculada +beaker(g)	842.3	831.3	829.4
Peso de Agua floculada (g)	588.3	574.3	572.4
Sólidos removidos (g)	13.3	29.3	33.2
% sólidos removidos	2.2	4.9	5.5

Fuente: elaboración propia, 2016.

Análisis Cualitativo: La primera prueba realizada por triplicado indica cantidades variables de floculante 1, 3 y 5 gramos respectivamente. Según lo observado los tres datos son válidos ya que se llevó a cabo la formación efectiva de sedimentos o sólidos disueltos en el agua residual; por lo que se mantuvo los parámetros de floculante para las pruebas posteriores con la finalidad de determinar la óptima de dichas tres pruebas. La cantidad de 0.6 gramos de coagulante resultó ser muy baja ya que la formación de coágulos era mínima lo que significó una pobre atracción entre las moléculas suspendidas, formando así un sedimento muy fino difícilmente separable.

El tiempo de sedimentación fue de diez minutos por prueba, registrando valores de pH entre 4-6. Sin embargo el pH de activación del floculante debe estar arriba de 5, por lo tanto el único dato aceptable es la prueba A.

Finalmente se muestran el porcentaje de sólidos removidos por diferencia de pesos 2.2% para la prueba A, 4.9% para la prueba B y 5.5% para la prueba C; resultando como la más efectiva la prueba C. Sin embargo es necesario realizar las pruebas necesarias para lograr definir variables óptimas del proceso.

La muestra de agua cruda recolectada para la Prueba #1 presenta un pH promedio de 7.12 cuyo valor representa para efectos de esta clasificación de baja alcalinidad y debido a la nula transparencia que se percibe en la muestra posee una alta turbidez; por lo tanto se califica como agua de TIPO II, de acuerdo al cuadro 4.4.

5.1.2 Análisis de resultado pH óptimo.

Se utilizaron los datos cuyos tiempos de sedimentación son más bajos en la serie de repeticiones por triplicado del ensayo para determinar pH óptimo, para garantizar un margen amplio de la acción del floculante. El cuadro 5.2 presenta los resultados obtenidos de la determinación de pH óptimo en función del tiempo de sedimentación.

En el cuadro 5.2 se presentan los tiempos de sedimentación más bajos de una serie de tres datos que cubren distintos rangos de adición de la solución de hipoclorito de calcio al 1% (P/P) para dosis de 1, 3 y 5g de floculante; con el fin de acotar el efecto que tiene el cambio de pH sobre el tiempo de sedimentación y por ende el efecto del floculante.

Cuadro. 5.2. Resultados de la determinación de pH óptimo en función del tiempo de sedimentación.

Floculante	pH Inicial	Solución de Hipoclorito de Calcio 1% (g)	pH Intermedio	pH Final	Tiempo de Sedimentación (min)
1g	7.18	60	8.5	5.48	30:12
3g	7.18	70	8.54	5.57	5:15
5g	7.09	70	8.63	4.86	12:35

Fuente: elaboración propia, 2016.

Para la serie de datos con 1g de floculante, se utilizó un rango de 30g de solución de hipoclorito de calcio, los tiempos de sedimentación superan los 30 minutos y con valores de pH superior a 5.0; sin embargo la cantidad de floculante es muy pobre comparado con el tamaño de la muestra de agua residual. El tiempo de sedimentación más bajo para esta dosis de floculante es de 30 minutos con 12 segundos.

La serie de datos de 3g de floculante arrojan resultados muy superiores a la primera prueba, con tiempos de sedimentación menores a 11 minutos, con valores de pH superiores a 5 con dosis de 70 a 90g de solución de hipoclorito de calcio (utilizando rangos de 20 gramos de la solución) obteniendo un tiempo de sedimentación óptimo de 5 minutos con 15 segundos y un pH final de 5.57.

Finalmente la serie de 5g de floculante con un rango de solución alcalina de 10g generan valores de pH muy bajos, debido al exceso del floculante en la muestra de agua cruda, obteniendo tiempos de sedimentación más altos que la prueba anterior.

Con la recolección de datos experimentales de pH óptimo se presenta el gráfico (Ver figura 5.1) en que se visualizan los ensayos con el mejor tiempo de sedimentación para el acondicionamiento del agua residual que cumplen con el rango de pH para aguas del tipo II en el rango de activación del floculante y coagulante, en el gráfico se visualizan de igual forma los ensayos que no cumplen las condiciones de pH que se desean alcanzar para acondicionar el agua abajo del rango de activación de floculante y coagulante, por lo que el proceso de sedimentación se da de manera lenta aumentando el tiempo.

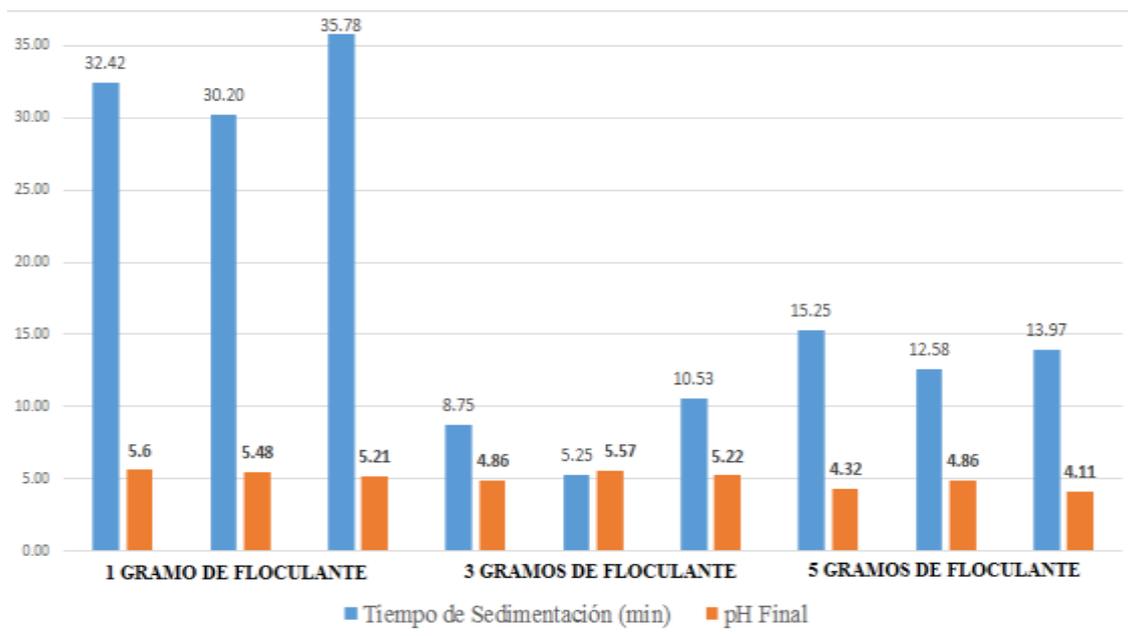


Figura 5.1. Gráfico comparativo de pH final vs Tiempo de Sedimentación.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.1.3 Análisis de resultados floculación-coagulación con pH óptimo.

El cuadro 5.3 presenta los resultados obtenidos de remoción de sólidos en el proceso de floculación-coagulación en condiciones de pH óptimo.

Cuadro. 5.3. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación coagulación en condiciones de pH óptimo.

	A	B	C
∑ Peso total	926.2	931.2	933.2
Peso Neto de Agua (g)	672.2	674.2	676.2
Tiempo de sedimentación (min)	3:30	3:10	2:20
pH Final	5.2	5.3	4.2
Peso agua filtrada + beaker (g)	835.3	826.9	824.0
Peso neto de Agua Filtrada (g)	581.3	569.9	567
Sólidos removidos (g)	90.9	104.3	109.2
% sólidos removidos	13.52	15.47	16.15

Fuente: elaboración propia, 2016.

Análisis Cualitativo: se validan las cantidades establecidas para floculante ya que se observó presencia de sólidos sedimentables en las tres pruebas, la nueva prueba con 1.2 gramos de coagulante presenta un proceso efectivo de formación de coágulos ya que se observó un tiempo de sedimentación menor que los de la prueba #1 lo que significa que el tamaño de los coágulos ha aumentado; sin embargo, no es suficiente ya que el sedimento es muy fino y no se logra una separación completa, es recomendable aumentar la dosis a agregar de coagulante.

Se presentan porcentajes más altos de remoción de sólidos lo cual confirma una buena tendencia para los datos presentados en el cuadro 5.3. Para la muestra C se ha registrado un pH por debajo de lo esperado debido a la cantidad de floculante agregado, a pesar de tener un porcentaje de remoción de sólidos de 16.15%, el sedimento no tiene características visuales de lo esperado para facilitar su respectiva remoción. Se requiere de un análisis adicional de la dosis de coagulante a utilizar en las condiciones de pH para mejorar la consistencia de los lodos obtenidos en este procedimiento.

Los resultados presentados demuestran el equilibrio que debe generarse entre las dosis de floculante-coagulante y el pH final aumenta el porcentaje de sólidos removidos por medio de las operaciones convencionales como decantación o filtración.

Utilizando las condiciones previamente determinadas para garantizar el pH de activación del floculante, se ha utilizado el mismo procedimiento para evaluar el desempeño del coagulante a distintas dosis de floculante utilizando como variable de control el porcentaje de sólidos retenidos en una malla #230.

5.1.4 Análisis de resultados dosis óptima de coagulante.

Para la serie de datos correspondiente a la dosis de coagulante de 0.6g las mediciones en las muestras de agua representan una tendencia opuesta al comportamiento esperado; reflejando un dato con mayor pH de la serie la muestra que menor porcentaje de sólidos ha retenido por lo tanto se declina la dosis de 0.6g de coagulante debido a que los flóculos no logran la consistencia y tamaño suficiente como para ser separado por medio de la malla utilizada. (Ver cuadro 5.4).

El cuadro 5.4 presenta los resultados obtenidos de la remoción de sólidos en el proceso de floculación-coagulación a distintas dosis de coagulante.

Cuadro. 5.4. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación-coagulación a distintas dosis de coagulante.

Coagulante (g)	pH Inicial	Floculante (g)	Peso Neto de Agua (g)	pH Final	Sólidos Retenidos (g)	Porcentaje de Sólidos Retenidos (%)
0.6	7.15	1	671.6	5.83	13.4	2.00
	7.18	3	673.6	4.37	18.6	2.76
	7.11	5	675.6	4.11	26.1	3.86
1.2	7.16	1	672.2	5.19	21.2	3.15
	7.18	3	674.2	5.36	28.7	4.26
	7.14	5	676.2	4.15	31.9	4.72
1.8	7.16	1	672.8	4.43	31.1	4.62
	7.15	3	674.8	5.41	48.3	7.16
	7.13	5	676.8	4.06	29.2	4.31

Fuente: elaboración propia, 2016.

Por otra parte se considera también las dosis de floculante utilizadas, repetitivamente en la parte experimental cuyo rango va desde 1 hasta 5 gramos de floculante, bajo la consideración previamente señalada de como un exceso de floculante genera un pH demasiado ácido que no permite realizar correctamente la floculación, y en caso contrario al utilizar una dosis baja de 1g podría de acuerdo a los resultados de la prueba #1, dar una floculación pobre. Se han sombreado los datos correspondientes a un pH superior a 5 para garantizar la activación del floculante y con mayor porcentaje de sólidos retenidos de la serie para los datos de 1.2 y 1.8g de coagulante; a raíz de este resultado podemos observar que la dosis tolerable de coagulante va de 1.2 a 1.8g con 3g de floculante que registran un pH final recomendado.

5.1.5 Análisis de resultados dosis óptima de floculante.

De la prueba para la determinación de floculante óptimo los resultados reflejan que en el ensayo B con una dosis de 3g de sulfato de aluminio como floculante, el pH obtenido entra en el rango que el cuadro 4.4 sugiere para aguas del Tipo II (5-7 pH) y garantizar la activación del sulfato de aluminio; esta serie muestra también el mayor porcentaje de sólidos removidos en la prueba generando una alta cantidad de flóculos estabilizados y

sedimentando en el menor tiempo, a raíz de este resultado podemos observar que la dosis admisible según datos experimentales es 3g. (Ver cuadro 5.5).

El cuadro 5.5 presenta los resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación-coagulación bajo condiciones óptimas de pH y coagulante.

Cuadro. 5.5. Resultados de la remoción de sólidos en el proceso de floculación-coagulación bajo condiciones óptimas de pH y coagulante.

	A	B	C
pH inicial	✓ 7.47	✓ 7.60	✓ 7.44
Peso de floculante (g)	1	3	5
∑ Peso total	926.8	931.8	933.8
Tiempo de sedimentación (min)	8:01	✓ 4:20	7:05
Peso Neto de Agua (g)	672.8	674.8	676.8
Peso Neto de Agua Floculada (g)	562	547.5	571
Sólidos removidos (g)	110.8	127.3	105.8
% sólidos removidos	16.47	18.86	15.63
pH Final	4.38	✓ 5.35	4.1

Fuente: elaboración propia, 2016.

5.1.6 Análisis Estadístico de Resultados Etapa de Floculación-Coagulación

Debido a la variedad de resultados obtenidos en el proceso de floculación-coagulación se plantea generar una medición estadística de los rangos posibles manejados a nivel experimental, cuyas variables de importancia son el número de repeticiones experimentales y los gramos de sólidos retenidos y removidos experimentalmente de la muestra de agua cruda exclusivamente para la etapa de coagulación-floculación.

Según la revista de Innovación e Investigación para la educación, una de las aplicaciones de la estadística es extraer inferencias en poblaciones a partir del estudio de muestras. Este proceso recibe el nombre de Estadística Inferencial y sus estudios pretenden deducir (inferir) propiedades o características de una población a partir de una muestra representativa. (Universidad de Barcelona, 2010).

Otro de los aspectos que permite hacer la inferencia es determinar si existe o no asociación entre diferentes variables. Para realizar este proceso se suele partir de hipótesis, es decir, de unas suposiciones cuya validez cabe confirmar o rechazar.

Y para llevar a cabo esta comprobación aplicamos unas pruebas estadísticas o tests, que permiten contrastar la veracidad o falsedad de las hipótesis enunciadas desde el punto de vista estadístico. Por lo tanto es necesario utilizar un tipo de pruebas de significación estadística que cuantifique la asociación o independencia de una variable cuantitativa.

Tomando en cuenta dicha definición se utiliza la distribución t de Student para la estimación de una media poblacional partiendo de una muestra pequeña (n menor a 30) con el fin de estimar y comprobar la hipótesis que debe ser planteada previamente.

Para efectos de esta investigación se presume que la distribución de los datos corresponde de manera equivalente a la distribución t de forma acampanada y perfectamente simétrica con respecto a $t=0$. Sin embargo se recalca que la distribución t tiene una dispersión mayor, la cual se hace más grande a medida que el tamaño de la muestra disminuye. (Bonilla, 1992).

Entre las variables a manejar para la aplicación de esta herramienta se encuentran las siguientes:

- La hipótesis nula (H_0) es una afirmación que no se rechaza a menos que los datos de la muestra parezcan evidenciar que es falsa; una hipótesis nula es una hipótesis construida para refutar, con el objetivo de apoyar una hipótesis alternativa (H_1); siempre existe una hipótesis que se supone cierta, por experiencias pasadas o por interés.
- Las distintas distribuciones están asociadas a los denominados grados de libertad (v) que se definen como el número de observaciones menos uno.

$$v = n - 1$$

- La media aritmética de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- La desviación típica muestral (S) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Valor Estadístico (t) utilizado como parámetro de comparación contra el valor crítico; si el valor del estadístico es menor que el valor crítico, por consiguiente se acepta la hipótesis nula, en caso contrario la hipótesis nula se rechaza. Planteada la hipótesis nula se utiliza en la siguiente expresión.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n - 1}}}$$

- El coeficiente de confianza se indica por $1 - \alpha$ y habitualmente se da en porcentaje. Hablamos de coeficiente de confianza y no de probabilidad (la probabilidad implica eventos aleatorios) ya que una vez extraída la muestra, el intervalo de confianza estará definido y solo se confía si contendrá al verdadero valor del parámetro o no, lo que si conlleva una probabilidad es que si repetimos el proceso con muchas medias muestrales podríamos afirmar que el $(1 - \alpha)$ % de los intervalos así contruidos contendría al verdadero valor del parámetro. Se utiliza para determinar valores en las tablas de distribución t de Student. (Bonilla, 1992).

$$t_{*} = \frac{1 - \alpha}{2}$$

- Utilizando la tabla de distribuciones de t de Student (Ver figura. 5.2) para determinar el valor t^* (llamado valor crítico) con el coeficiente de confianza y los grados de libertad. En general para determinar la media poblacional en cualquier intervalo de confianza utilizamos la siguiente relación. (Bonilla, 1992).

$$\bar{X} \pm t_{*} \frac{S}{\sqrt{n - 1}}$$

v	t _{.45}	t _{.40}	t _{.30}	t _{.25}	t _{.20}	t _{.10}	t _{.05}	t _{.025}	t _{.01}	t _{.005}
1	.158	.325	.727	1.000	1.376	3.08	6.31	12.71	31.82	63.66
2	.142	.289	.617	.816	1.061	1.89	2.92	4.30	6.96	9.92
3	.137	.277	.584	.765	.978	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	.134	.271	.569	.741	.941	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60
5	.132	.267	.559	.727	.920	1.48	2.02	2.57	3.36	4.03
6	.131	.265	.553	.718	.906	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71
7	.130	.263	.549	.711	.896	1.42	1.90	2.36	3.00	3.50
8	.130	.261	.546	.706	.889	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36
9	.129	.261	.543	.703	.883	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	.129	.260	.542	.700	.879	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17
11	.129	.260	.540	.697	.876	1.36	1.80	2.20	2.72	3.11
12	.128	.259	.539	.695	.873	1.36	1.78	2.18	2.68	3.06
13	.128	.259	.538	.694	.870	1.35	1.77	2.16	2.65	3.01
14	.128	.258	.537	.692	.868	1.34	1.76	2.14	2.62	2.98
15	.128	.258	.536	.691	.866	1.34	1.75	2.13	2.60	2.95
16	.128	.258	.535	.690	.865	1.34	1.75	2.12	2.58	2.92
17	.128	.257	.534	.689	.863	1.33	1.74	2.11	2.57	2.90
18	.127	.257	.534	.688	.862	1.33	1.73	2.10	2.55	2.88
19	.127	.257	.533	.688	.861	1.33	1.73	2.09	2.54	2.86
20	.127	.257	.533	.687	.860	1.32	1.72	2.09	2.53	2.84
21	.127	.257	.532	.686	.859	1.32	1.72	2.08	2.52	2.83
22	.127	.256	.532	.686	.858	1.32	1.72	2.07	2.51	2.82
23	.127	.256	.532	.685	.858	1.32	1.71	2.07	2.50	2.81
24	.127	.256	.531	.685	.857	1.32	1.71	2.06	2.49	2.80
25	.127	.256	.531	.684	.856	1.32	1.71	2.06	2.48	2.79
26	.127	.256	.531	.684	.856	1.32	1.71	2.06	2.48	2.78
27	.127	.256	.531	.684	.855	1.31	1.70	2.05	2.47	2.77
28	.127	.256	.530	.683	.855	1.31	1.70	2.05	2.47	2.76
29	.127	.256	.530	.683	.854	1.31	1.70	2.04	2.46	2.76
30	.127	.256	.530	.683	.854	1.31	1.70	2.04	2.46	2.75
40	.126	.255	.529	.681	.851	1.30	1.68	2.02	2.42	2.70
60	.126	.254	.527	.679	.848	1.30	1.67	2.00	2.39	2.66
120	.126	.254	.526	.677	.845	1.29	1.66	1.98	2.36	2.62
∞	.126	.253	.524	.674	.842	1.28	1.645	1.96	2.33	2.58

Figura 5.2. Tabla de Distribución t de Student con v grados de libertad.

Fuente: Estadística II, Editorial UCA, 1992.

La matriz de datos debe estar configurada como es habitual, es decir, existe una columna para los datos de la variable de interés y una segunda columna con los códigos que definen las poblaciones objeto de comparación. La prueba calcula estadísticos descriptivos para cada grupo y el intervalo de confianza del 95% para la diferencia de medias.

Para la aplicación de esta herramienta se utilizan los datos de gramos de sólidos removidos, obtenidos en las distintas pruebas en la etapa de floculación-coagulación para cada muestra, refiérase A, B y C donde la cantidad de floculante no fue alterada a los largo de todo el procedimiento experimental.

De acuerdo a esto se procede a plantear la hipótesis nula y alternativa respectivamente:

Hipótesis nula (H_0): La remoción promedio de sólidos (μ) en el proceso de floculación es de 40gramos.

$$H_0: \mu = 40$$

Hipótesis alternativa (H_1): La remoción promedio de sólidos en el proceso de floculación es mayor de 40gramos.

$$H_1: \mu > 40$$

El cuadro 5.6 presenta los datos recolectados de gramos retenidos por muestra a lo largo del proceso de floculación-coagulación.

Cuadro 5.6 Datos recolectados de gramos retenidos por muestra a lo largo del proceso de floculación-coagulación.

	1	2	3	4	5	6
MUESTRA A	13.3	90.9	110.8	13.4	21.2	31.1
MUESTRA B	29.3	104.3	127.3	18.6	28.7	48.3
MUESTRA C	33.2	109.2	105.8	26.1	31.9	29.2

Fuente: Elaboración propia, 2016.

De acuerdo a estos datos, se utiliza la herramienta t de Student a cada muestra para determinar el intervalo de confianza de los resultados obtenidos bajo un coeficiente de confianza del 95% y utilizando la misma hipótesis nula e hipótesis alternativa planteada previamente.

MUESTRA A

EJEMPLO DE CÁLCULO

- Grados de Libertad

$$v = n - 1$$

$$v = 5$$

- Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{6} * 280.7$$

$$\bar{X} = 46.786$$

El cuadro 5.7 presenta los datos de la muestra A requerida para el cálculo de la varianza.

Cuadro 5.7. Tabla de datos de la muestra A requerida para el cálculo de la varianza.

REPETICIÓN	SÓLIDOS REMOVIDOS (g)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	13.3	-33.48333333	1121.133611
2	90.9	44.11666667	1946.280278
3	110.8	64.01666667	4098.133611
4	13.4	-33.38333333	1114.446944
5	21.2	-25.58333333	654.5069444
6	31.1	-15.68333333	245.9669444
Σ	280.7	-	9180.468333

Elaboración: Fuente propia, 2016.

- Desviación Típica Muestral.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{9180.4683}{6 - 1}} = 17.49$$

- Valor Estadístico

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n - 1}}} = \frac{46.786 - 40}{\frac{17.49}{\sqrt{6 - 1}}} = 0.8675$$

- Coeficiente de Confianza

$$t_{*} = \frac{1 - 0.95}{2} = 0.025$$

- Ubicación del valor de t con 95% de intervalo de confianza y 5 grados de libertad. Utilizando la Figura 5.2.

v	$t_{.45}$	$t_{.40}$	$t_{.30}$	$t_{.25}$	$t_{.20}$	$t_{.10}$	$t_{.05}$	$t_{.025}$	$t_{.01}$	$t_{.005}$
1	.158	.325	.727	1.000	1.376	3.08	6.31	12.71	31.82	63.66
2	.142	.289	.617	.816	1.061	1.89	2.92	4.30	6.96	9.92
3	.137	.277	.584	.765	.978	1.64	2.35	3.18	4.54	5.84
4	.134	.271	.569	.741	.941	1.53	2.13	2.78	3.75	4.60
5	.132	.267	.559	.727	.920	1.48	2.02	2.57	3.36	4.03
6	.131	.265	.553	.718	.906	1.44	1.94	2.45	3.14	3.71
7	.130	.263	.549	.711	.896	1.42	1.90	2.36	3.00	3.50
8	.130	.261	.546	.706	.889	1.40	1.86	2.31	2.90	3.36
9	.129	.261	.543	.703	.883	1.38	1.83	2.26	2.82	3.25
10	.129	.260	.542	.700	.879	1.37	1.81	2.23	2.76	3.17

El valor crítico obtenido t^* es de 2.57.

- Intervalo de Confianza

$$\bar{X} \pm t_{*} \frac{S}{\sqrt{n-1}} = 46.786 \pm 2.57 \frac{17.49}{\sqrt{6-1}}$$

$$46.8 \pm 46$$

$$t_{*} = 2.57 \text{ (Valor Crítico)} \quad t = 0.867 \text{ (Valor Estadístico)}$$

Si: $\text{Valor Crítico} < \text{Valor Estadístico}$ H_0 Se acepta. $\mu = 40$

$\text{Valor Crítico} > \text{Valor Estadístico}$ H_0 Se rechaza. $\mu = 40$

RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS

El intervalo de confianza para la muestra de A con un coeficiente de confianza del 95% y 5 grados de libertad es de 0.8 a 92.8gramos de sólidos removidos. (Ver cuadro 5.8).

El valor crítico es mayor que el valor estadístico, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Donde la interpretación de este resultado nos afirma que con un 95% de confianza el promedio de remoción de sólidos de la muestra A es mayor a 40g.

El cuadro 5.8 presenta la tabla resumen de intervalos de confianza de la muestra A.

Cuadro 5.8. Tabla resumen de intervalos de confianza de la muestra A.

X	46.78
S	17.49
t crítica	2.57
t estadística	0.867
INTERVALO	45.0
MINIMO	1.8
MAXIMO	91.7

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El cuadro 5.9 presenta los datos de la muestra B requerida para el cálculo de la varianza.

Cuadro 5.9. Tabla de datos de la muestra B requerida para el cálculo de la varianza.

REPETICIÓN	SÓLIDOS REMOVIDOS (g)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	29.3	-30.11666667	907.0136111
2	104.3	44.88333333	2014.513611
3	127.3	67.88333333	4608.146944
4	18.6	-40.81666667	1666.000278
5	28.7	-30.71666667	943.5136111
6	48.3	-11.11666667	123.5802778
Σ	356.5		10262.76833

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El intervalo de confianza para la muestra de B con un coeficiente de confianza del 95% y 5 grados de libertad es de 11.9 a 107.0 gramos de sólidos removidos. (Ver cuadro 5.9).

Para la muestra B el valor crítico es mayor que el valor estadístico, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Donde la interpretación de este resultado nos afirma que con un 95% de confianza el promedio de remoción de sólidos de la muestra B es mayor a 40g. Con un intervalo de confianza de 11.9 a 107.0 gramos.

El cuadro 5.10 presenta los datos resumen del intervalo de confianza de la muestra B.

Cuadro 5.10. Tabla de datos resumen del intervalo de confianza de la muestra B.

X	59.42
S	18.50
t crítico	2.57
t estadístico	2.35
INTERVALO	47.5
MINIMO	11.9
MAXIMO	107.0

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El cuadro 5.11 presenta los datos de la muestra C requerida para el cálculo de la varianza.

Cuadro 5.11 Tabla de datos de la muestra C requerida para el cálculo de la varianza.

REPETICIÓN	SÓLIDOS REMOVIDOS (g)	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	33.2	-22.7	515.29
2	109.2	49.78333333	2478.380278
3	105.8	46.38333333	2151.413611
4	26.1	-33.31666667	1110.000278
5	31.9	-27.51666667	757.1669444
6	29.2	-30.21666667	913.0469444
	335.4		7925.298056

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El intervalo de confianza para la muestra de C con un coeficiente de confianza del 95% y 5 grados de libertad es de 14.1 a 97.7gramos de sólidos removidos. Para la muestra C el valor crítico es mayor que el valor estadístico, por consiguiente se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Cuya interpretación corresponde a determinar el promedio de remoción de sólidos de la muestra C es mayor a 40g. (Ver cuadro 5.12).

El cuadro 5.12 presenta los datos resumen del intervalo de confianza de la muestra C.

Cuadro 5.12 Tabla de datos resumen del intervalo de confianza de la muestra C.

X	55.90
S	16.25
t crítico	2.57
t estadístico	2.19
INTERVALO	41.8
MINIMO	14.1
MAXIMO	97.7

Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.2 RESULTADOS DE LA ETAPA ADSORCIÓN-FILTRACIÓN.

De acuerdo a las especificaciones bibliográficas, las propiedades de ambos materiales en estudio, tanto zeolita activada como carbón activado con sus superficies específicas, adsorbieron las sustancias coloidales dispersas en el agua residual y con el uso de estos materiales altamente porosos los resultados esperados cumplen con el requerimiento de remoción de sólidos.

La propiedad de atraer y atrapar sustancias coloidales predominó en carbón activado pues es la sustancia que mayor porcentaje de sólidos removidos arroja en las pruebas; no obstante la cantidad de sólidos removidos por la zeolita activada es considerable y demuestra que como material con propiedades adsorbentes puede ser efectivo en procesos de tratamiento de aguas residuales. Los resultados de las pruebas de comparación son descritos a continuación de la presente sección.

5.2.1 Análisis de la capacidad adsorbente de la Zeolita activada.

Se realizaron dos pruebas para determinar la capacidad adsorbente con zeolita activada una con agua cruda es decir agua residual proveniente de una industria de pinturas base agua sin ningún tratamiento posterior a la toma de muestra. Se realiza una segunda prueba con agua tratada, agua residual proveniente de una industria de pinturas base agua que posterior a su muestreo es tratada por medio de la etapa de floculación-coagulación.

Dichas pruebas se realizan con el fin de establecer un valor límite de la capacidad adsorbente de zeolita activada y la cantidad máxima de sólidos removidos.

5.2.1.1 Adsorción en Agua cruda.

El cuadro 5.13 presenta los resultados obtenidos en la prueba de adsorción con zeolita activada utilizando como muestra agua cruda.

Cuadro. 5.13. Resultados adsorción con zeolita en agua cruda.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254,6	256	256,6
pH inicial	7,78	7,73	7,75
Peso de Zeolita	20	30	40
Peso de Filtrado (g)	560,5	556,5	545,5
Sólidos retenidos (g)	39,5	43,5	54,5
% sólidos retenidos	6,58	7,25	9,08
pH final	7.48	7.14	7.25

Fuente: elaboración propia, 2016.

Se determinó a través de la prueba con zeolita activada en agua cruda la cantidad mínima de sólidos removidos, la prueba se realizó por triplicado para valores de 20, 30 y 40 gramos agregados a la muestra, obteniendo así un porcentaje de sólidos removidos de 6.58, 7.25 y 9.08% respectivamente; los valores adquiridos de la prueba con agua cruda se denominan valores mínimos de sólidos removidos ya que es un agua sin un previo tratamiento. Se observan según los resultados en escala ascendente de gramos de zeolita activada agregada versus % de sólidos retenidos, por lo que dichas variables serán directamente proporcionales en la escala.

5.2.1.2 Adsorción en Agua tratada.

El cuadro 5.14 presenta los resultados obtenidos en la prueba de adsorción con zeolita activada utilizando como muestra agua tratada por medio de la etapa de floculación-coagulación.

Los resultados presentados en la segunda prueba de adsorción con agua tratada y las mismas cantidades de zeolita activada, muestran una disminución en la cantidad de agua

final filtrada lo cual significa que la cantidad removida de sólidos disueltos aumentó, como se observa en el cuadro 5.14 para pesos de zeolita activada de 20, 30 y 40 gramos agregados a la muestra de agua tratada se tiene un porcentaje de sólidos removidos de 9.9, 11.7 y 14.5% respectivamente, mostrando un incremento en los porcentajes comparados con los mostrados en el cuadro 5.13, lo que significa que realizar el proceso de floculación-coagulación al agua cruda es efectivo para disminuir los contaminantes existentes en el agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua.

Cuadro. 5.14. Resultados adsorción con zeolita en agua tratada.

ADSORCIÓN- FILTRACIÓN			
Peso de Agua Tratada (g)	500		
Peso de Zeolita Activada (g)	20	30	40
Peso de Agua Filtrada (g)	450,5	441,5	427,5
Sólidos Disueltos removidos (g)	49,5	58,5	72,5
% Sólidos removidos	9,9	11,7	14,5
pH Final	4,63	4,65	4,68

Fuente: elaboración propia, 2016.

5.2.2 Análisis de la capacidad adsorbente del Carbón activado.

Se realizaron dos pruebas para determinar la capacidad adsorbente con carbón activado una con agua cruda es decir agua residual proveniente de una industria de pinturas base agua sin ningún tratamiento posterior a la toma de muestra. Se realiza una segunda prueba con agua tratada, agua residual proveniente de una industria de pinturas base agua que posterior a su muestreo es tratada por medio de la etapa de floculación-coagulación.

Dichas pruebas se realizan con el fin de establecer un valor límite de la capacidad adsorbente del carbón activado y la cantidad máxima de sólidos removidos.

5.2.2.1 Adsorción en Agua cruda.

El cuadro 5.15 presenta los resultados obtenidos en la prueba de adsorción con carbón activado utilizando como muestra agua cruda.

Cuadro. 5.15. Resultados adsorción con carbón activado en agua cruda.

	A	B	C
Peso del Beaker (g)	254,6	256	256,6
pH inicial	8,20	8,19	8,16
Peso de Carbón Activado (g)	20,0	30,0	40,0
Peso de Agua Filtrada (g)	561,6	541,4	531
Sólidos retenidos (g)	38,4	58,6	69,0
% sólidos retenidos	6,40	9,77	11,50
pH Final	7,95	7,86	8,13

Fuente: elaboración propia, 2016.

Se determinó a través de la prueba con carbón activado en agua cruda la cantidad mínima de sólidos removidos, la prueba se realizó por triplicado para valores de 20, 30 y 40 gramos agregados a la muestra, obteniendo así un porcentaje de sólidos removidos de 6.40, 9.77 y 11.50% respectivamente; los valores adquiridos de la prueba con agua cruda se denominan valores mínimos de sólidos removidos ya que es un agua sin un previo tratamiento.

Se observan según los resultados en escala ascendente de gramos de carbón activado agregado versus % de sólidos retenidos, por lo que dichas variables serán directamente proporcionales en la escala.

5.2.2.2 Adsorción en Agua tratada.

El cuadro 5.16 presenta los resultados obtenidos en la prueba de adsorción con carbón activado utilizando como muestra agua tratada por medio de la etapa de floculación-coagulación.

Cuadro. 5.16. Resultados adsorción con carbón activado en agua tratada.

ADSORCIÓN- FILTRACIÓN			
Peso de Agua Tratada (g)	500		
Peso de Carbón Activado (g)	20,0	30,0	40,0
Peso de Agua Filtrada (g)	436,5	425,3	406,0
Sólidos Disueltos removidos (g)	63,5	74,7	94,0
% Sólidos Removidos	12,7	14,94	18,8
pH Final	4,63	4,65	4,68

Fuente: elaboración propia, 2016.

Los resultados presentados en la segunda prueba de adsorción con agua tratada y las mismas cantidades de carbón activado, muestran una disminución en la cantidad de agua final filtrada lo cual significa que la cantidad removida de sólidos disueltos aumentó.

Como se observa en el cuadro 5.16 para pesos de carbón activado de 20, 30 y 40 gramos agregados a la muestra de agua tratada se tiene un porcentaje de sólidos removidos de 12.7, 14.94 y 18.8% respectivamente, mostrando un incremento en los porcentajes comparados con los mostrados en el cuadro 5.15, lo que significa que realizar el proceso de floculación-coagulación al agua cruda es efectivo para disminuir los contaminantes existentes en el agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua.

5.3 COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD ADSORBENTE DE ZEOLITA ACTIVADA CONTRA CARBÓN ACTIVADO.

El cuadro 5.17 presenta la comparación de datos reflejados de sólidos removidos tanto para agua cruda como para agua tratada en zeolita activada y carbón activado.

Cuadro. 5.17. Comparación de sólidos removidos zeolita activada versus carbón activado en agua cruda.

AGUA CRUDA			
Gramos de adsorbente	Cantidad de sólidos removidos	Zeolita Activada	Carbón Activado
20	A	39.5	38.4
30	B	43.5	58.6
40	C	54.5	69
gramos sol removidos / gramos de adsorbente (En cada ensayo)		1.97	1.92
		1.45	1.95
		1.36	1.73
Promedio		1.60	✓ 1.87

Fuente: elaboración propia, 2016.

Ejemplo de Cálculo:

Para A en agua cruda:

$$\frac{\text{Gramos de sólidos removidos}}{\text{Gramos de adsorbente}} = \frac{39.5}{20} = \frac{1.97 \text{ g de sólidos removidos}}{\text{g de adsorbente.}}$$

Los resultados obtenidos según cuadro 5.17, el carbón activado presenta un mayor rendimiento de remoción con 1.87 g removidos/ g de adsorbente.

Los resultados obtenidos según cuadro 5.18, el carbón activado presenta un mayor rendimiento de remoción con 2.68 g removidos/ g de adsorbente. (Ver cuadro 5.18).

Comparando los datos establecidos en cuadro 5.17 se observa mayor rendimiento de remoción por parte del carbón activado en agua tratada lo que significa que llevar a cabo la etapa de floculación- coagulación a la muestra de agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua, es efectivo ya que se logra aumentar la remoción de 1.87 gramos a 2.68 gramos.

El cuadro 5.18 presenta la comparación de datos reflejados de sólidos removidos tanto para agua tratada como para agua tratada en zeolita activada y carbón activado.

Cuadro. 5.18. Comparación de sólidos removidos zeolita activada versus carbón activado en agua tratada.

AGUA TRATADA			
Gramos de adsorbente	Cantidad de sólidos removidos	Zeolita Activada	Carbón Activado
20	A	49.5	63.5
30	B	58.5	74.7
40	C	72.5	94
gramos sol removidos / gramos de adsorbente (En cada ensayo)		2.48	3.18
		1.95	2.49
		1.81	2.35
Promedio		2.08	✓ 2.68

Fuente: elaboración propia, 2016.

Ejemplo de Cálculo:

Para A en agua tratada:

$$\frac{\text{Gramos de sólidos removidos}}{\text{Gramos de adsorbente}} = \frac{49.5}{20} = \frac{2.48 \text{ g de sólidos removidos}}{\text{g de adsorbente.}}$$

El cuadro 5.19 presenta la eficiencia de zeolita en agua cruda versus agua tratada y carbón activado en agua cruda versus agua tratada.

Cuadro 5.19. Eficiencia presenciada en zeolita y carbón activado.

ZEOLITA ACTIVADA				CARBÓN ACTIVADO		
Sólidos Removidos	Agua Cruda	Agua Tratada	Eficiencia	Agua Cruda	Agua Tratada	Eficiencia
A	39.5	49.5	25.31%	38.4	63.5	65.36%
B	43.5	58.5	34.48%	58.6	74.7	27.47%
C	54.5	72.5	33.0%	69.0	94	37.23%

Fuente: elaboración propia, 2016.

- Cálculos eficiencia para Zeolita activada:

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{49.5}{39.5} \right) - 1 \right] \times 100 = 25.31\%$$

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{58.5}{43.5} \right) - 1 \right] \times 100 = 34.48\%$$

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{72.5}{54.5} \right) - 1 \right] \times 100 = 33.0\%$$

Los resultados establecidos en el cuadro 5.19 presentan la eficiencia o porcentajes de mejora de retención de sólidos en agua tratada respecto al agua cruda, obteniendo un mejor resultado para la prueba B con 34.48%.

Ejemplo de cálculo:

- Cálculos eficiencia para Carbón activado:

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{63.5}{38.4} \right) - 1 \right] \times 100 = 65.36\%$$

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{74.7}{58.6} \right) - 1 \right] \times 100 = 27.47\%$$

$$Eficiencia = \frac{Sólidos Retenidos en Agua Tratada}{Sólidos Retenidos en Agua Cruda} = \left[\left(\frac{94.0}{69.0} \right) - 1 \right] \times 100 = 36.23\%$$

Los resultados establecidos en el cuadro 5.19 presentan la eficiencia o porcentajes de mejora de retención de sólidos en agua tratada respecto al agua cruda, obteniendo un mejor resultado para la prueba A con 65.36%.

La cantidad de sólidos removidos y lodos provenientes del tratamiento influyen considerablemente en los parámetros fisicoquímicos DQO y DBO aumentándolo o disminuyéndolo según sea el caso, la purga de lodos deberá realizarse periódicamente por influencia de la gravedad en la sedimentación, esta remoción periódica dependerá del tiempo de residencia recomendado en la propuesta de diseño de planta de tratamiento de la sección 6.0 y que involucra la separación intermitente entre lodo y agua a descargar.

Según los datos obtenidos en esta prueba, el ensayo B para zeolita activada con 34.48% y el ensayo A para carbón activado con 65.36% presentan la mayor eficiencia; que demuestran que una mayor parte de las partículas de lodo han quedado sedimentadas debido a la fuerza de arrastre de la gravedad en el agua, y a la mezcla con disco de propela de pala produciendo la turbulencia necesaria para mantener una proporción mayor de sólidos sedimentables al agregar 1.8g de coagulante y 3.0g de floculante como los óptimos (ver cuadro 4.9).

Es decir que entre mayor sea el porcentaje mayor es el tamaño del manto de lodos sedimentados y mayor es la remoción de turbiedad, contrario a los datos que arrojan los ensayos A y C para zeolita activa y a los ensayos B y C para carbón activado, que con menor porcentaje indican menor remoción de sólidos sedimentables y mayor es la proporción de sólidos suspendidos aumentando la turbiedad del agua tratada, que para esta prueba dependerá en gran parte del tiempo de residencia con que se mantenga el agua en el tanque sedimentador.

5.4 CUMPLIMIENTO DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01:09 PARA LA INDUSTRIA DE PINTURAS, BARNICES Y LACAS.

La Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09 establece los parámetros fisicoquímicos con lo que el efluente de agua residual proveniente de las Industrias productoras de pinturas base agua de El Salvador deben cumplir para ser descargados. Entre los diferentes parámetros se analizan sólidos suspendidos totales, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Turbidez y Sólidos Totales. Los resultados obtenidos son proporcionados por el Laboratorio Especializado en Control de Calidad (LECC) de El Salvador.

5.4.1 Resultados de parámetros fisicoquímicos bajo el tratamiento con zeolita activada y Carbón Activado.

El Cuadro 5.20 presenta los resultados fisicoquímicos con zeolita activada establecidos por el Laboratorio Especializado en Control de Calidad, LECC.

Cuadro 5.20. Resultados fisicoquímicos con Zeolita activada.

Zeolita Activada		
Determinación	Especificación (Límite máximo permisible)	Resultado
Sólidos suspendidos totales.	100 mg/L	1768.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	300 mg/L	75.1 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100 mg/L	22.2 mg/L
Turbidez	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	Mayor a 1000 UNT
Sólidos Totales	No disponible.	6344.0 mg/L

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El Cuadro 5.21 presenta los resultados fisicoquímicos con Carbón Activado establecidos por el Laboratorio Especializado en Control de Calidad, LECC.

Cuadro 5.21. Resultados fisicoquímicos con Carbón Activado.

Carbón Activado		
Determinación	Especificación (Límite máximo permisible)	Resultado
Sólidos suspendidos totales.	100 mg/L	552.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	300 mg/L	383.4 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100 mg/L	111.7 mg/L
Turbidez	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	40 UNT
Sólidos Totales	No disponible.	5612.0 mg/L

Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.4.2 Comparación de resultados globales según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.

Según el cuadro 5.22 el carbón activado es la sustancia adsorbente que sobrepasa los límites máximos permisibles especificados por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO13.49.01.09 tal como se demuestra en los análisis proporcionados por el Laboratorio Especializado en Control de Calidad incumpliendo dicha norma.

Los resultados de la zeolita activada reflejan que es esta sustancia que cumple los parámetros establecidos por la norma salvadoreña cumpliendo los límites máximos permisibles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda química de Oxígeno (DQO).

Cuadro 5.22. Comparación de resultados globales según Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09.

Determinación	Especificación (Límite máximo permisible)	Resultado Zeolita Activada	Resultado Carbón Activado
Sólidos suspendidos totales.	100 mg/L	1768.0 mg/L	552.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	300 mg/L	75.1 mg/L	383.4 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100 mg/L	22.2 mg/L	111.7 mg/L
Turbidez	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	Mayor a 1000 UNT	40 UNT
Sólidos Totales	No disponible.	6344.0 mg/L	5612.0 mg/L

Fuente: Elaboración propia, 2016.

5.4.3 Selección del material adsorbente para el escalamiento final

Según los resultados obtenidos el material adsorbente que hace cumplir los parámetros fisicoquímicos establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09 para aguas residuales proveniente de la Industria de Pinturas base agua, es la zeolita activada. A pesar que el costo de este material es mayor las pruebas realizadas muestran ventajas de la zeolita activada sobre el carbón activado como es la utilización de este material en menor cantidad en comparación al carbón activado y una buena disponibilidad en el mercado de este material, cuatro de los cinco parámetros están dentro del límite permisible por la norma por lo que se selecciona como el material adsorbente factible en

el tratamiento de aguas residuales de la industria de pinturas base agua para el escalamiento final de una planta de tratamiento de aguas residuales.

6.0 PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES PARA INDUSTRIA DE PINTURAS BASE AGUA.

Utilizando sistemas de adsorción básicos con el fin de remover sólidos se pueden alcanzar niveles de purificación bastante notables y con esto no solo se logra la remoción de sólidos, sino también la eliminación de algunos metales pesados. De la misma forma el incremento en la actividad biológica, aumenta la utilización de los nutrientes y del oxígeno y se mejora notablemente la estabilidad de los lodos, gracias a la formulación de flóculos alrededor de las partículas del material adsorbente.

La calidad de aguas trabajadas bajo estos sistemas de tratamiento, han sido determinadas mediante pruebas específicas tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), pH, turbidez y color.

6.1 ESTIMACIONES DE FLUJOS DE AGUA PROVENIENTES DEL PROCESO DE LAVADO DE TANQUES EN LA PRODUCCIÓN DE PINTURAS.

Por lo tanto es necesario iniciar con una serie de datos representativos suficientes para estimar los flujos de agua residual generados de la producción de pintura para posteriormente determinar las etapas de un sistema de tratamiento de aguas acorde a las necesidades de la producción. Para definir un proceso de depuración adecuado es imprescindible la caracterización de los efluentes para que posteriormente se tome en cuenta el volumen de agua residual diario, los caudales diarios (máximos y mínimos), la composición del agua de aportación a la fábrica, si el proceso de fabricación se realiza de forma continua o discontinua; entre otros.

Debido a que no se cuenta con registros por parte de las industrias fabricantes de pinturas base agua, se toman datos de cantidad de agua utilizada para la producción durante 1 mes, con la finalidad de obtener un flujo aproximado de la cantidad de agua utilizada en este proceso. El cuadro 6.1 presenta los datos obtenidos durante parte del mes de enero y parte del mes de febrero de la cantidad de agua utilizada en el proceso de producción de pintura base agua.

Cuadro 6.1. Cantidad de agua registrada en el mes de enero y febrero, 2016 para la producción de pintura base agua.

Día	Cantidad de Carros
15/01/2016	3 tanques grandes
18/01/2016	4 tanques grande
19/01/2016	1 tanque grande
20/01/2016	1 tanque grande
21/01/2016	2 cubetas
22/01/2016	2 cubetas + 1 tanques pequeño
25/01/2016	1 tanque grande
26/01/2016	2 tanques pequeños
27/01/2016	-
28/01/2016	1 tanque grande
29/01/2016	4 tanques pequeños
3/02/2016	3 tanque grandes + 1 tanque pequeño
4/02/2016	4 tanques grandes
5/02/2016	2 tanques grandes + 1 tanque pequeño
6/02/2016	-
8/02/2016	1 tanque grande
9/02/2016	2 cubetas + 1 tanque pequeño
10/02/2016	2 cubetas + 2 tanques pequeños
11/02/2016	5 tanques pequeños + 2 cubetas
15/02/2016	2 tanques pequeños + 2 cubetas

Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL A TRATAR

El cuadro 6.2 presenta los datos de volumen utilizados en la etapa de lavado proveniente de la producción de pintura base agua.

Cuadro 6.2 Equivalencia de volumen de agua utilizada en etapa de lavado proveniente de la producción de pintura base agua.

UNIDAD LAVADA	GALONES
TANQUE GRANDE	20
TANQUE PEQUEÑO	10
CUBETAS	5
CONSUMO DIARIO (Gal)	
1	60
2	80
3	20
4	20
5	10
6	30
7	20
8	40
9	20
10	40
11	70
12	80
13	50
14	20
15	20
16	30
17	60
18	30
Gal/Mes	700

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Volumen de agua residual generada mensualmente= Σ Volúmenes=700 Gal/mes

$$Volumen\ Mensual = 700 \frac{Gal}{mes} = 2649.79 \frac{Litros}{mes}$$

Las mediciones realizadas corresponden a la temporada alta de la producción de pinturas base agua en la industria seleccionada para esta investigación. Para asegurar un proceso continuo en el sistema de tratamiento de aguas a sugerir se pretende utilizar un tanque de recolección dimensionado para el volumen mensual generado de aguas residuales; debido a la fluctuante producción y generación de agua residual no se recomienda realizar la evaluación semanal del proceso. En el dimensionamiento del tanque recolector se ha recomendado un porcentaje extra de seguridad del 20% para el dimensionamiento del tanque a partir del volumen mensual de agua residual obtenido.

$$Volumen\ Recomendado = 1.2 * Volumen\ Mensual$$

$$Volumen\ Recomendado = 1.2 * 2649.79 \frac{Litros}{mes} = 3179.748 \frac{Litros}{mes} \approx 3200 \frac{Litros}{mes}$$

Sin embargo el dato anterior se ha utilizado únicamente para el dimensionamiento del tanque recolector, posterior a este análisis se ha utilizado únicamente el balance de masa global de agua residual para dimensionar las cantidades de reactivos necesarios y agua tratada obteniendo el siguiente resultado:

$$\rho_{AGUA\ CRUDA} = 0.923 \frac{Kg}{L}$$

$$Agua\ Cruda\ Total = 0.923 \frac{Kg}{L} * 2649.79 \frac{L}{mes} = 2445.76 \frac{Kg\ de\ Agua\ Cruda}{mes}$$

$$Agua\ Cruda\ Total \approx 2450 \frac{Kg\ de\ Agua\ Cruda}{mes}$$

De acuerdo al análisis de resultados el material adsorbente seleccionado para el tratamiento de aguas residuales es la zeolita activada, ya que presenta parámetros aceptados según la norma NSO 13.49.01.09 como lo es DQO y DBO₅ mientras que para el parámetro de sólidos suspendidos totales se requiere un tratamiento más específico de floculación-coagulación.

6.3 ESCALAMIENTO DE ETAPAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Una planta de tratamiento de agua residual utilizando zeolita activada como purificador puede ser seccionada en dos etapas acondicionando dos objetivos principales, una primer etapa para disminución de sólidos suspendidos y una segunda etapa para purificación de ésta a los límites establecidos por la norma NSO 13.49.01.09 vigente actualmente. Para efectos del escalamiento a nivel de planta se proporcionarán únicamente parámetros de operación necesarios para una producción máxima de generación de aguas residuales, que en términos generales se describe a continuación.

6.3.1 Pretratamiento.

Para la corriente de descarga proveniente del drenaje de la sección de lavado en la producción de pinturas base agua se hace pasar por una serie de tres trampas con rejillas de acero inoxidable, con separación entre barras de 2.5cm y un espesor de 1.0cm para cada barra; cuya función principal es eliminar objetos superior a los 2.5cm para retención de material suspendido grande que se arrastre como desecho en la sección de lavado o material ajeno ingresado por factores fuera del proceso como basura, hojas, material de empaque, etc.

Luego se colecta el volumen de agua cruda en un contenedor cuya capacidad máxima es de 3200 litros para asegurar un proceso continuo con un volumen controlado de tratamiento de agua residual, debido a las variaciones de volumen de agua diaria utilizada en la producción de pintura base agua. A partir de este punto el análisis será estrictamente basado en el balance de materia generado al mes de acuerdo al volumen de agua calculado. (Ver Figura 6.1).

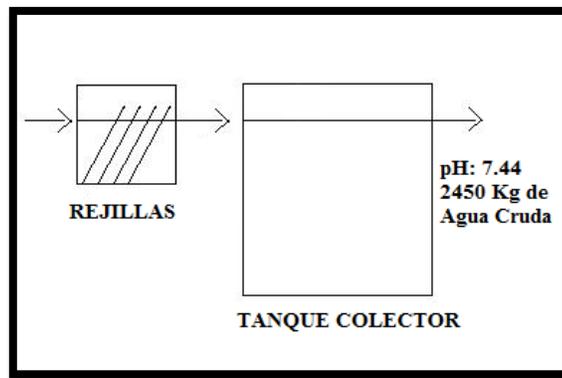


Figura 6.1 Diagrama de la etapa de Pretratamiento
Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.3.2 Tratamiento primario.

Luego de la recolección del agua cruda ésta debe ser enviada hacia una pila de agitación, la cual está comprendida de agitadores para proporcionar homogenización de dicha agua, se recomienda un tiempo de mezcla de 30 a 45 minutos a no más de 40RPM; a la entrada de esta pila se encuentra un depósito para adicionar reactivos para ser sometido al tratamiento primario.

Este depósito tiene la función de agregar reactivos al agua para acondicionamiento de pH y eliminación de sólidos totales. Las sustancias utilizadas en esta etapa se han calculado de acuerdo a las dosis óptimas obtenidas en las pruebas experimentales. (Ver cuadro 4.9).

Utilizando las dosis óptimas de reactivos se genera un factor de conversión de consumo mensual máximo de reactivos para el funcionamiento de la etapa de floculación-coagulación. Calculando las dosis como se describe a continuación:

Acondicionante de pH

$$\begin{aligned} &= 2450 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * \frac{0.07 \text{ Kg de Solución } 1\% \frac{P}{P} \text{ de Hipoclorito de Calcio}}{0.6 \text{ Kg de Agua Cruda}} \\ &= 285.83 \frac{\text{Kg de Solución } 1\% \frac{P}{P} \text{ de Hipoclorito de Calcio}}{\text{Mes}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Floculante} &= 2450 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * \frac{0.003 \text{ Kg de Sulfato de Aluminio}}{0.67 \text{ Kg de Agua Cruda}} \\ &= 10.97 \frac{\text{Kg de Sulfato de Aluminio}}{\text{Mes}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coagulante} &= 2450 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * \frac{0.0018 \text{ Kg de Hipoclorito de Calcio}}{0.67 \text{ Kg de Agua Cruda}} \\ &= 6.58 \frac{\text{Kg de Sulfato de Hierro III}}{\text{Mes}} \end{aligned}$$

El cuadro 6.3 presenta la cantidad de reactivos máximos a utilizar en la etapa de floculación-coagulación.

Cuadro 6.3 Consumo de reactivos máximos en la etapa de coagulación-floculación mensual.

Cantidad Max. De Agua Cruda	2450Kg
Densidad del Agua Cruda	0.923 Kg/L
Solución de Hipoclorito de Calcio 1% P/P	285.83 Kg
Sulfato de Aluminio Pureza 17.29%	10.97 Kg
Coagulante Comercial Principio Activo: Sulfato de Hierro III	6.58 Kg

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Continuando el proceso a la salida de la pila de agitación el agua ya acondicionada y con las dosis exactas de reactivos previamente homogenizados llegan al tanque de sedimentación y comienza el proceso de floculación-coagulación. Por efecto de la gravedad la mayor parte de sólidos sedimentables van al fondo del tanque, generando una capa de lodos obteniendo un nivel de clarificación notable en el agua residual. El tiempo de residencia recomendado es de 3 horas para obtener clarificación total de agua, posteriormente ésta se decanta hasta la siguiente etapa para recolectar los lodos generados remanentes. (Ver Figura 6.2).

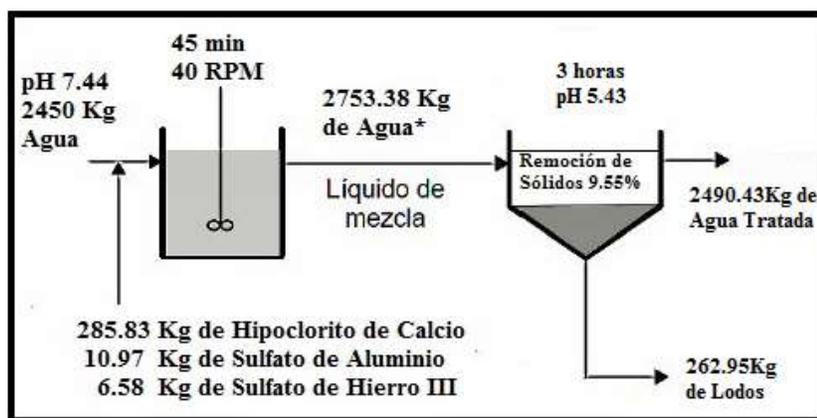


Figura 6.2 Diagrama de la etapa de Floculación-Coagulación.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

6.3.3 Tratamiento secundario.

En esta segunda etapa del tratamiento, en la cual se incluye una fosa recibiendo el agua clarificada, una cama de zeolita activada es utilizada para disminuir la turbidez y el mal olor del agua, el tiempo de residencia mínimo es de 4 horas. Garantizando el potencial adsorbente de las zeolitas activadas el agua generada en esta etapa ya puede ser enviada por medio de decantación a un tanque final de recolección de agua tratada; la cual bajo los resultados obtenidos los parámetros de DBO y DQO son aceptables y dentro de los límites permisibles normados.

De acuerdo al uso que se requiera se debe acondicionar el pH de salida de la planta de tratamiento de agua ya que ronda entre valores de 5 a 6 a la salida del tratamiento con la zeolita. El consumo mensual del material adsorbente está determinado teóricamente en base al escalamiento realizado para respetar el porcentaje de remoción mostrado en la etapa experimental ya que la capacidad adsorbente va en función del volumen de agua a tratar.

Según la propuesta de diseño de la planta y para efectos funcionales la cama de zeolita activada por referencia, tiene una capacidad de tratamiento de 1.33L/hora por Kg de adsorbente. (Las Zeolitas en el tratamiento de Aguas, 2014).

De acuerdo a este factor se inicia con el cálculo para complementar el balance de masa para la etapa de adsorción filtración, como se muestra a continuación.

$$\rho_{\text{Agua Tratada}} = 0.909 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}$$
$$\text{Volumen de Agua Tratada} = \frac{2490.43 \text{Kg}}{0.909 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}} = 2739.75 \text{L}$$

En la propuesta del diseño se establece la cantidad de zeolita activada a utilizar de manera que se pretende definir la capacidad máxima y tiempo que podrá ser utilizada una sola carga de zeolita, definida con el fin de respetar la proporción de sólidos retenido se realizan los cálculos posteriores para una cantidad de 40Kg de zeolita activada.

Según el diagrama de salida de la etapa de floculación-coagulación (Ver figura 6.2) la cantidad de agua que sale de dicha etapa, a la que se le ha denominado agua tratada en el procedimiento experimental, corresponde a la misma que entra para el proceso de adsorción-filtración. A continuación se estiman las cantidades de sólidos retenidos utilizando los datos obtenidos en la etapa experimental para generar un factor para determinar adecuadamente el balance de masa de la siguiente manera:

Cantidad de Adsorbente: 40Kg Factor de Remoción de Sólidos: 14.5%

$$\text{Agua Tratada} = 2490.43\text{Kg}$$

$$\text{Lodos Generados} = 2490.43\text{Kg Agua Tratada} * \frac{14.5}{100} = 361.11\text{Kg de Lodos}$$

$$\text{Agua Filtrada} = 2490.43 - 361.11 = 2129.32\text{Kg de Agua Filtrada}$$

Realizando de esta manera el escalamiento utilizando una cama de zeolita de 40Kg para la generación mensual de aguas residuales, se obtiene el diagrama del proceso como se muestra en la Figura 6.3.

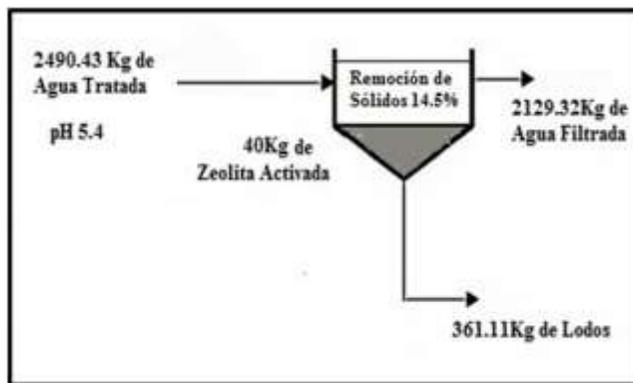


Figura 6.3 Diagrama de la etapa de Adsorción-Filtración.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

Si bien se ha obtenido el diagrama completo del proceso del tratamiento de aguas y la remoción de lodos para la generación mensual de aguas residuales provenientes de la industria de pinturas base agua, se requiere determinar la cantidad de cargas disponibles hasta agotar la capacidad adsorbente de la cantidad de zeolita propuesta; por lo tanto el cálculo requerido se muestra a continuación.

Volumen de Agua Tratada Incluida en el proceso: 2739.75 L/mes

Capacidad de Tratamiento por Kg de Zeolita Activada = 1.33 $\frac{L}{h}$

Tomando en cuenta el análisis realizado para la cantidad de agua generada que equivale al tratamiento mensual, de manera teórica se ha calculado en base a requerimientos máximos, utilizar la capacidad de tratamiento por Kg de zeolita activada para determinar el número de lotes soportados hasta agotar la capacidad adsorbente.

$$\text{Capacidad Máxima de Tratamiento} = 40\text{Kg} * 1.33 \frac{L}{h} / \text{Kg} * 24 \frac{h}{\text{día}} * 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

$$\text{Capacidad Máxima de Tratamiento} = 38304 \frac{L}{\text{mes}}$$

$$\text{Número de Lotes para Agotar la Capacidad Adsorbente} = \frac{38304 \frac{L}{\text{mes}}}{2739.75 \frac{L}{\text{mes}}} = 13.98$$

Número de Lotes para Agotar la Capacidad Adsorbente \approx 14 Lotes

La interpretación del dato obtenido nos muestra que para cargas mensuales equivalentes a una producción máxima de agua residual, la cantidad de zeolita activada propuesta agotaría su capacidad adsorbente después de aproximadamente 14 veces realizado el proceso diseñado. Este parámetro se ha calculado para contrastar si la cantidad de la zeolita activada propuesta es apropiada; se ha considerado la capacidad adsorbente del material y la cantidad de agua residual por tratar es apropiada, ya que al realizar el escalamiento del sistema se han utilizado datos mensuales por lo tanto el tiempo de agotamiento de la capacidad adsorbente corresponde a un estimado de 14 meses y por efectos de funcionalidad se equivale a un año de operación bajo los parámetros utilizados para esta investigación.

La Figura 6.4 muestra el diagrama del sistema propuesto y el balance de materia global del proceso completo.

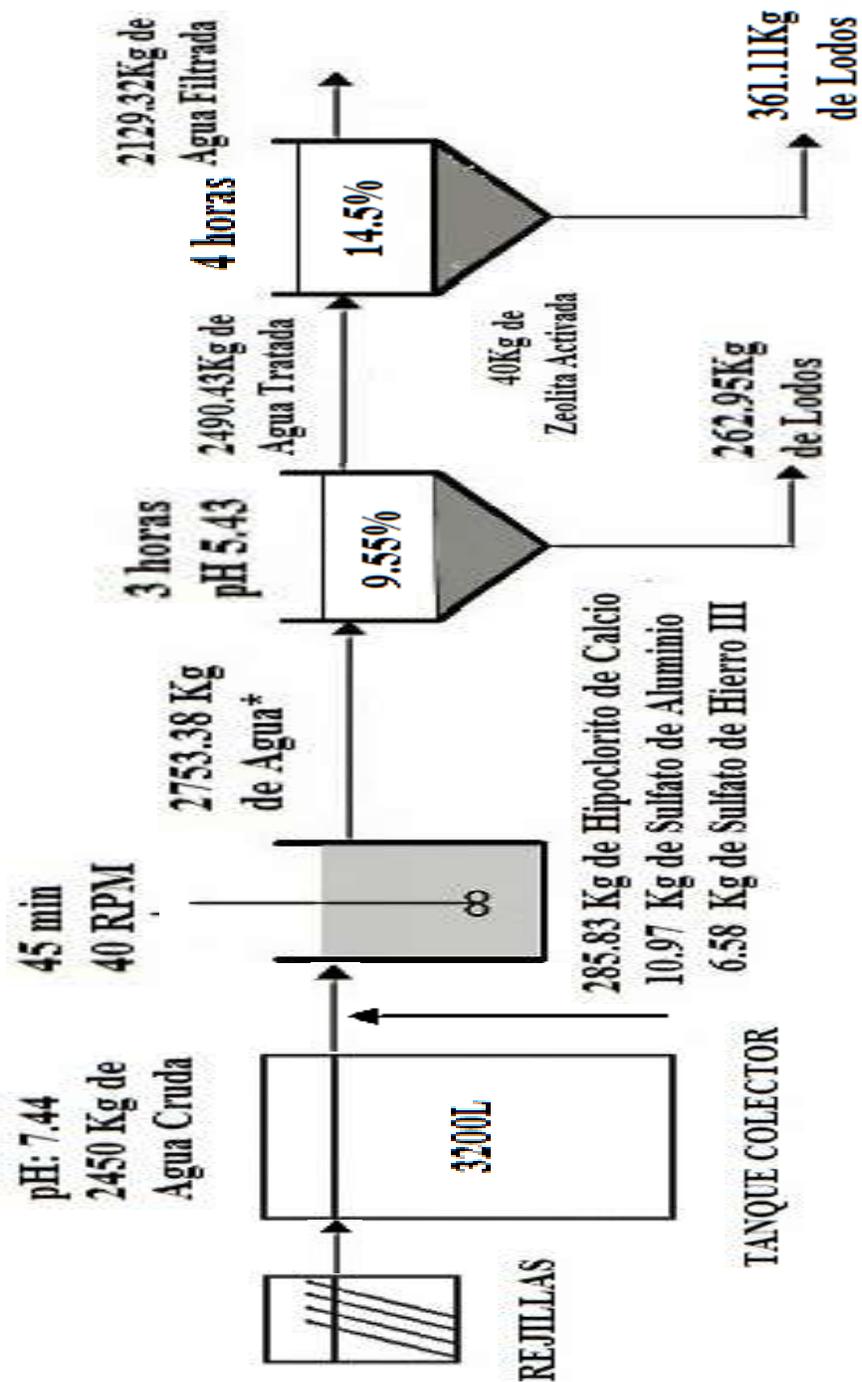


Figura 6.4 Diagrama del proceso completo del sistema de tratamiento de aguas residuales para la industria de pinturas base agua. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A continuación se muestra el balance de masa global del sistema por etapa y el total de lodos generados en el proceso, bajo parámetros establecidos como óptimos para floculación-coagulación, utilizando 40Kg de zeolita activada.

Cuadro 6.4 Balance de materia global teórico estimado para el proceso de tratamiento de aguas mensualmente.

ETAPA	COMPONENTE	ENTRA		SALE	LODOS GENERADOS
PRETRATAMIENTO	AGUA CRUDA	2450Kg			
FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN	AGUA CRUDA	2450 Kg	2753.38 Kg		262.95 Kg
	HIPOCLORITO DE CALCIO 1% P/P	285.83 Kg			
	SULFATO DE ALUMINIO	10.97 Kg			
	SULFATO DE HIERRO III	6.58 Kg			
	AGUA TRATADA		2490.43 Kg		
ADSORCIÓN-FILTRACIÓN	AGUA TRATADA	2490.43 Kg			361.11 Kg
	AGUA FILTRADA			2129.32 Kg	
TOTAL DE LODOS GENERADOS					624.06 Kg

Fuente: Elaboración propia, 2016.

7.0 CARACTERIZACIÓN DE LODOS GENERADOS EN EL PROCESO.

7.1 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LOS LODOS RESIDUALES.

El parámetro de tiempo de retención en la propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el tratamiento primario, es el determinante de la purga periódica de lodos. La purga tiene la finalidad de recoger del fondo del tanque estos lodos sin que estos se mezclen nuevamente con el líquido y que su espesor permita separarlos factiblemente por lo que adicionar los reactivos que favorezcan la formación de un manto solido de lodos permitirá aumentar el rendimiento del tratamiento primario, este rendimiento es medido por el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09 de forma tal que si todos los análisis fisicoquímicos al agua tratada se encuentran

dentro de los límites máximos permisibles la relación materia orgánica eliminada con la obtención de lodos residuales demuestra ser favorable.

Los lodos obtenidos en todas las pruebas de laboratorio presentaban una notoria humedad (ver figura 4.11) este factor debe ser considerado para el tiempo de secado debido a que al poseer alto porcentaje de humedad el lodo toma una consistencia pastosa y por lo tanto el tiempo de secado aumentaría para que el lodo tome una consistencia sólida. Una vez se hace la purga de lodos el proceso para disminuir el porcentaje de humedad y favorecer el estado sólido requiere un lecho de secado que hará que se disminuya el volumen por la eliminación del agua retenida del manto de lodos por evaporación a temperatura ambiente.

Para cada prueba realizada se obtiene un manto de lodos de aproximadamente 2 cm, acondicionando primero el pH del agua cruda para favorecer la activación del floculante y coagulante. Las partículas coloidales que estaban suspendidas en el agua cruda se agruparon y la velocidad de arrastre con la que sedimentaron hasta llegar al fondo de los beakers fue rápida en los ensayos óptimos (véase Cuadro.4.9.) por lo que esta velocidad es indicador de que el asentamiento de las partículas sucederá en cualquier recipiente una vez el fluido se mantenga en reposo y se mantenga a la misma profundidad, e indica que este factor puede escalarse en la propuesta de diseño de la planta.

El manto de lodos obtenido en todas las pruebas agrupa a las partículas coloidales suspendidas y este es homogéneo es decir que la concentración y tamaño de partículas es igual en todas las zonas del manto de lodos.

El tamizado de los lodos obtenidos en las pruebas optimas es factible, la consistencia húmeda y pastosa no atraviesa el papel filtro con el que se realizaron las pruebas esto denota que la atracción y sedimentación de la materia orgánica y partículas coloidales dispersas en el agua residual permitirá escalarse en la propuesta de diseño de la planta de tratamiento para el cálculo de la cantidad de lodos a obtenerse después de la etapa de tratamiento primario.

Los análisis de parámetros fisicoquímicos de lodos obtenidos en las pruebas no fueron realizados debido a que los resultados obtenidos del agua cruda no puntualizan algún parámetro alarmante o que sobrepase en gran medida los límites máximos permisibles, los

parámetros críticos son corregidos a lo largo del tratamiento del agua residual por lo que no es necesario algún análisis exhaustivo de laboratorio especializado. Los laboratorios especializados en el área de tratamiento de aguas ofertan de manera general para los lodos análisis como:

- Aceites y grasas
- Cloruros
- Conductividad
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno
- Humedad
- Oxígeno disuelto
- Temperatura
- pH
- Sólidos suspendidos fijos
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos suspendidos volátiles
- Sólidos totales
- Sólidos totales disueltos
- Sólidos totales fijos
- Sólidos totales volátiles
- Sólidos disueltos fijos
- Sólidos sedimentables
- Sólidos disueltos volátiles

Todos estos análisis no generarían un banco de información relevante para la disposición de lodos obtenidos, debido a que los análisis al agua cruda son los esenciales para el escalamiento y con esos mismos análisis de agua cruda asumir el tipo de manto de lodo a generarse en el tratamiento primario.

Otro factor por el que no se realizaron los análisis descritos anteriormente en algún laboratorio especializado es la cantidad en masa que exigen para ser analizados, ya que sobrepasa la cantidad de lodos que se obtuvieron en las pruebas.

7.2 TRATAMIENTO DE LODOS PROCEDENTES DE ETAPAS DE FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN Y ADSORCIÓN Y SUS USOS POSTERIORES.

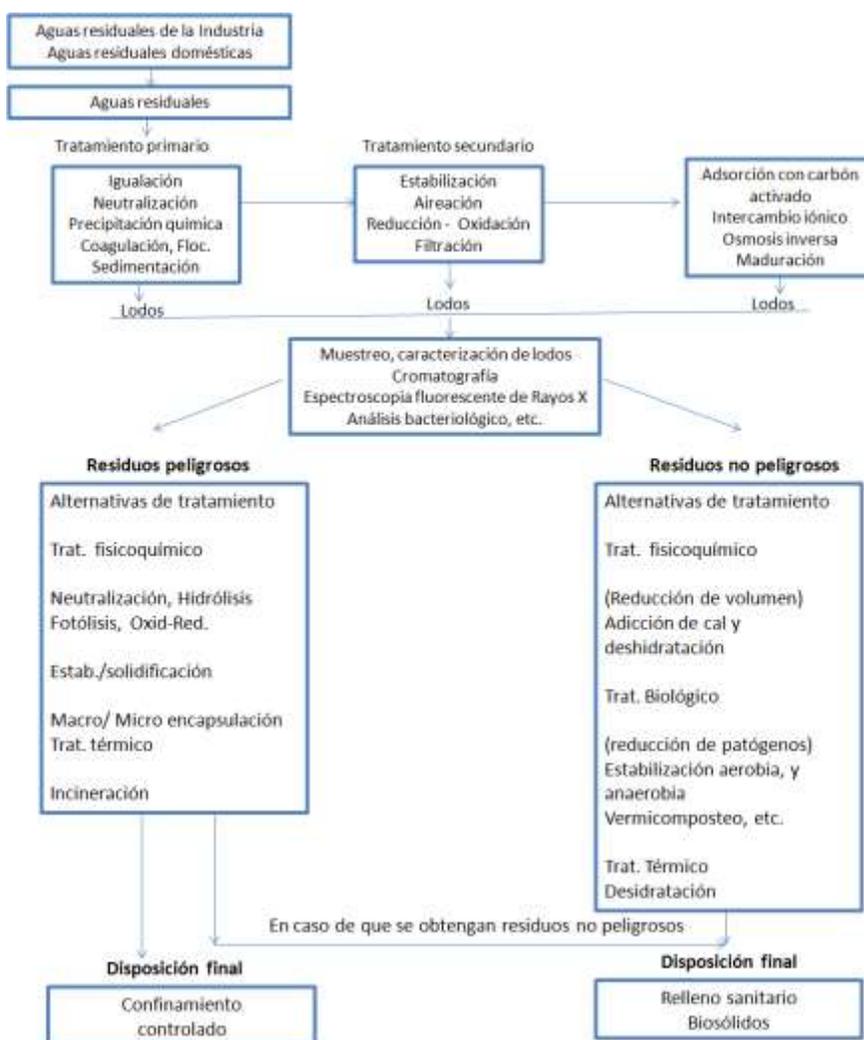
El tratamiento de los lodos que se producen a partir de los tratamientos de aguas residuales involucra procesos físicos, químicos y biológicos. Los lodos están formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo deben ser tratados. Los lodos

extraídos de los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tienen un contenido en sólido contaminante que varía entre el 0.25 y el 12% de su peso.

Según Reyes Lujan; el lodo resultante de estos procesos debe someterse a un análisis para determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas, lo que permitirá precisar si el lodo es considerado como un residuo peligroso o como un residuo no peligroso. (Ver cuadro 7.1).

En la figura 7.1 se presentan los tratamientos que pueden aplicarse al clasificar un lodo como peligroso o no peligroso.

Figura 7.1 Tipos de tratamiento aplicados al tipo de lodo clasificado.



Fuente: Oropeza Norma, 2006.

Según Degremont en su libro “Water Treatment Handbook”. El tratamiento de aguas residuales produce distintos tipos de lodos los cuales pueden clasificarse en:

Lodo Crudo

Lodo crudo, es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tiene a producir la acidificación de la digestión y produce olor.

Lodo primario

El lodo primario es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo del tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario. La composición del lodo depende de las características del área de recogida de las aguas. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 % y 97 %.

Exceso de lodo, lodo secundario

Para alcanzar una vida del lodo constante, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento. El lodo en exceso contiene partículas no hidrolizables y biomasa resultado del metabolismo celular.

Lodo terciario

Lodo terciario se produce a través de procesos de tratamiento posterior, ej. Adición de agentes floculantes.

Lodo activo

La eliminación de materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua. Normalmente se caracteriza por la interacción de distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para

vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante se llama lodo activo. Normalmente este lodo está en forma de flóculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas adsorbidas y almacenadas.

El comportamiento de sedimentación de los flóculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los flóculos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación.

Lodo activo de retorno

El lodo activo de retorno que proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los flóculos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación se llama lodo activo de retorno.

La Figura 7.2 presenta una descripción general de la caracterización y composición de lodos.

<i>Parámetros</i>	<i>Lodos primarios</i>	<i>Lodos secundarios (mezcla)</i>	<i>Lodos digeridos</i>
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Contenido de agua (%)	92-96	97.5-98	94-97
ssv (%ss)	70-80	80-90	55-65
Grasas (%ss)	12-14	3-5	4-12
Proteínas (%ss)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (%ss)	8-10	6-8	5-8
Nitrógeno (%ss)	2-5	1-6	3-7
Fósforo (%ss)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas (NMP/100ml)	10 ³ -10 ⁵	100-1000	10-100
Metales pesados (%ss) (Zn, Cu, Pb)	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Figura. 7.2 Caracterización y composición de lodos.
Fuente: Oropeza Norma, 2006.

Fango/lodo digerido

El fango digerido tiene lugar en los procesos de digestión aeróbica. Tiene color negro y olor a tierra. Tiene una proporción de materia orgánica del orden de 45 to 60 %.

Según Carranza Eduardo en su artículo “Reutilización de Aguas y Lodos Residuales”. Existen diferentes tipos de tratamiento que pueden aplicarse a los lodos y diferentes usos secundarios.

Tipos de Tratamientos:

Espesamiento: antes de proceder a la eliminación, o estabilización de los lodos que se han separado del agua residual es conveniente (rentable), proceder al espesamiento de los lodos; lo que permite reducir al mínimo el volumen para facilitar su manejo, transporte y almacenamiento. Se suele realizar por procedimientos como centrifugación o flotación.

Estabilización o digestión: Puede ser aerobia o anaerobia.

-Digestión aerobia: Viene a ser la eliminación en presencia de aire, de la parte fermentable de los lodos. Los lodos en este proceso disminuyen de forma continua por la acción de los microorganismos existentes en el reactor biológico a la vez que se produce una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso metabólico son anhídrido carbónico, agua y productos solubles inorgánicos. Una adecuada estabilización corresponde con una disminución de los sólidos en suspensión del 30 al 35%.

-Digestión anaerobia: Se considera el método más adecuado para obtener un producto final aséptico. La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire. El oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del mismo alimento.

La digestión está influenciada por una serie de fenómenos que determinan su eficacia: Temperatura (rango óptimo 29-33°C), Concentración de sólidos, Mezcla de fango, pH (debajo de 6.2 la supervivencia de microorganismos productores de metano es imposible) y Ácidos volátiles.

-Estabilización química: es aquella que se realiza por la adición a los lodos de productos químicos que los inactivan generalmente se usa cal que aumenta el pH, lo que dificulta la acción biológica de los lodos; favoreciéndose la liberación de amoníaco (le quita valor fertilizante al lodo).

Deshidratación de fangos: La eliminación de agua de los lodos se consigue mediante espesado, deshidratación y secado.

Desinfección: Es el proceso mediante el cual se trata de eliminar una gran cantidad de organismos patógenos presentes en los lodos y que pueden suponer un riesgo sanitario en su utilización.

- Posible destino de los lodos:
 - a) utilización en agricultura como abono (digestión aerobia. Digestión anaerobia)
 - b) Recuperación de terrenos agotados (digestión aerobia. Digestión anaerobia)
 - c) Recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica (incineración)
 - d) Compostaje (sin digestión)
 - e) Vertidos directamente al mar, ríos, lagos.
 - f) Relleno de terrenos, escombreras, minas abandonadas, pantanos, etc.

Por lo tanto con los datos recolectados en esta investigación se recomienda generar una pila de secado para los lodos generados en el proceso, para reducir el volumen ya que éstos tienen un alto contenido de humedad; posteriormente su recolección en envases herméticos de plástico para ser utilizado como relleno, a nivel de construcción o pavimentado por el contenido de materias primas provenientes de carbonatos de calcio, óxidos de titanio y pigmentos orgánicos e inorgánicos en su mayoría.

La Figura 7.3 presenta el manejo de lodos residuales que puede ser presentado en diferentes países.

<i>País</i>	<i>Manejo de lodos</i>
Europa, Australia, Estados Unidos y otros países	Actualmente se realizan investigaciones para utilizar los lodos especialmente tratados, como freno a la contaminación de los acuíferos por productos fitosanitarios y sus impurezas, además servirán para acelerar la descontaminación de suelos que ya estén afectados. También se aplican como fertilizantes en tierras agrícolas.
España	Los residuos de materias orgánicas procedentes de la recolección de residuos separados de origen urbano, así como de la industria, aguas residuales y lodos de plantas de tratamiento pretenden ser utilizados en la agricultura ya que se considera que es el destino más adecuado para este tipo de materias desde el punto de vista ambiental y económico. Se estudia la aplicación de lodos residuales en el control de filtraciones de productos fitosanitarios al acuífero.
Dinamarca	La gran parte de los lodos estabilizados se usan como fertilizante en tierras laborales. El porcentaje de reutilización de los lodos de aguas residuales es de 72%, el 20% se destina a la incineración, y 8% se dispone.
Chile	En 1999 fue aprobado el anteproyecto del "Reglamento para manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas" estableciendo que la operación de plantas de tratamiento de agua potable, agua residual urbana y residuos industriales líquidos genera gran cantidad de lodos, los cuales deben ser tratados y dispuestos de manera adecuada para prevenir impactos negativos en el ambiente.
Argentina	Se han instrumentado plantas de compostaje de lodos residuales, para su posterior aplicación como biosólidos en la agricultura.
México	Recientemente se aprobó la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

Figura 7.3 Manejo de Lodos en diferentes países.

Fuente: Oropeza Norma, 2006.

CONCLUSIONES

- Se utilizaron los materiales adsorbentes propuestos para obtener agua tratada y al evaluar la capacidad adsorbente de los materiales, se determinó una reducción de carga sólida de 2.08g de sólidos removidos por gramo de zeolita activada y 2.68 gramos de sólidos removidos por gramo de carbón activado.
- Al comparar la efectividad de adsorción de los materiales propuestos utilizando como variables de control los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01:09; se determinó que la zeolita activada registra especificaciones inferiores al límite máximo permisible de parámetros con valores de DQO de 75.1mg/L y DBO de 22.2mg/L y un valor de sólidos suspendidos totales de 1768.0 mg/L. Para el carbón activado se registran parámetros de DBO de 111.7mg/L y DQO de 383.4mg/L y sólidos suspendidos totales de 552.0mg/L; valores superiores al límite máximo requerido por la norma.
- Para iniciar la etapa de tratamiento primario que cumpla el requerimiento de obtención de lodos de consistencia sólida, debe aumentarse la dosis de coagulante con el que se realizaron las pruebas lo cual contribuiría a obtener un mayor porcentaje de retención en la etapa de floculación-coagulación que contribuye a aumentar la capacidad adsorbente de los materiales utilizados favoreciendo la reducción de los sólidos suspendidos totales presentes en el efluente final.
- Los datos establecidos para el escalamiento final solo pueden ser utilizados para aguas residuales provenientes de la industria de pinturas base agua. Si se desea analizar aguas residuales provenientes de otra industria se deben realizar nuevos cálculos para el escalamiento.
- Los análisis realizados en la etapa de adsorción al agua tratada con zeolita activada y carbón activado presentan un porcentaje de sólidos suspendidos totales fuera del límite máximo permisible por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.49.01.09 debido a que el Laboratorio Especializado en Control de Calidad LECC, exige un tiempo máximo de entrega de muestras por lo que el tiempo de sedimentación no se cumple en su totalidad.

RECOMENDACIONES

- Las sustancias coloidales dispersas en el agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua con las que se han realizado las pruebas de floculación y coagulación son partículas que al sedimentar generan lodos finos por lo que se dificulta la decantación o purga de estos, opinándose que el uso de un mejor coagulante o aumentar la dosis del coagulante utilizado contribuiría a incrementar la atracción entre partículas y mejorar la consistencia de estos lodos logrando posteriormente una mejor separación.
- Como alternativa de mejora del diseño propuesto del sistema de tratamiento de agua residual proveniente de la industria de pinturas base agua puede utilizarse previamente a la cama de zeolita una cama de adsorción con carbón activado debido a que es el material que retuvo mayor cantidad de sólidos suspendidos totales.
- Aumentar la concentración de la solución de hipoclorito de calcio contribuiría a reducir la cantidad de gramos utilizados en el acondicionamiento de pH.
- Tomar en cuenta la pureza del floculante con el que se trabaje ya que basada en este parámetro se determina la cantidad a utilizar para las pruebas de floculación-coagulación.
- En la etapa de adsorción-filtración el material adsorbente debe agregarse al agua, si se realiza al contrario se puede provocar una reacción exotérmica, debido a las superficies específicas de los materiales.
- La zeolita tiene capacidad de disminuir la dureza del agua debido al intercambio iónico, por lo que la regeneración de la zeolita es mucho más fácil y económica; citando fuentes bibliográficas, por cada 1000 gramos de dureza removida se requieren 3Kg de cloruro de sodio para regenerar la zeolita utilizada.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia nacional de ciencias, 2007. Sistemas de filtración. Estados Unidos. [En red]. Disponible en: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>.
- Aguapura Fadecen, 2012. Desclarificador de intercambio iónico. [En red]. Disponible en: <http://www.descalcificador-agua.com/descalcificador-volumetrico/descalcificador-de-intercambio-ionico/>.
- Aguapedia, (2015). Manual del carbón activo. [En red]. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Downloads/Manual%20del%20carb%C3%B3n%20activo.pdf> Universidad de Sevilla.
- Alianza estratégica para el tratamiento de aguas AE. (2012). Zeolita. **Textos científicos**. [En red] Disponible en: <http://www.tratamientodeaguasae.com/#!tecnologia/cfvg>.
- Amaya W., CAÑÓN O. y AVILÉS O., (2004). Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. [En red]. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Downloads/Mejora%20de%20pH%20en%20PTAR.pdf>. Universidad de Nueva Granada.
- Arrojo P., Ávila P., Bogantes J., Breceda M., Castro J., Tony Clarke...y Kim Weidenberg.(2006). La gota de la vida: Hacia una gestión sustentable y democrática del agua. México: Frente & Vuelta.
- Aula Natural, 2016. Arcillas. [En red]. Disponible en: <http://www.aulanatural.com/tienda/?arcillas,76>.
- Barragan S. y Guzman M. (1998). Manual de Estilo de publicaciones de la American Psychological Association (APA). Mexico D.F.

- Berzosa J., 2016. Tratamiento secundario, lodos activados. [En red]. Disponible en: <http://www.serquimsa.com/causas-y-control-de-filamentosas-en-lodos-activados/>.
- Calgon Carbón Corporation. (2004). Ficha de datos de seguridad, Carbón activado granular CAL 12x40, Making Water and Air Safer and Cleaner. Pittsburg, Estados Unidos.
- Carranza Eduardo, 2006. Reutilización de Aguas y Lodos Residuales. [En línea]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>. España.
- Chicas T., Fáber J., Londoño B-, Lina M. y Alvaréz H. (2006). La zeolita en la mitigación ambiental. **Revista Lasallista de Investigación. 3. 32.** [En red] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530106>> ISSN 1794-4449.
- Collazos C., 2009. Pretratamiento y tratamiento primario. [En red]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contentido_en_linea/leccin_2_3_pretratamiento_y_tratamiento_primario.html.
- CONACYT, (2006). Anexo A Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:06. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de El Salvador [En red]. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Downloads/ANEXO%20NSO.pdf>.
- CONAMA. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: industria elaboradora de pinturas (1998). Congreso Nacional de Medio Ambiente. [En línea] Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-37620_pdf_pinturas.pdf.
- Curi A., Granda J., Lima M. y Sousa W., (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la descontaminación de efluentes. **Revista Scielo. 17. 6.** [En red] Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-7642006000600017&script=sci_arttext.

- Degremont, 1991. Wáter Treatment Handbook. [En línea]. Disponible en: <http://www.lenntech.es/tipo-de-lodos.htm>.Inglaterra.
- Diario de ciencias, 2016. Ósmosis inversa. Argentina. [En red]. Disponible en: <http://www.diariodeciencias.com.ar/osmosis-inversa-tradicional-salobre-desalinizacion-agua-y-estado-puro/>.
- FUNDESYRAM, 2016. Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental. El Salvador. [En red]. Disponible en: <http://www.fundesyr.am.info/biblioteca.php?id=3622>.
- Galindo Y., 2015. Manejo de aguas. [En red]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/yanetyolanda/manejo-de-aguas>.
- Ganuza I. y Quiusque M., (2012) Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario. Tesis de Licenciatura, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- García A., (2012). Procedimientos y técnicas pictóricas, [En red]. España. Disponible en: <http://ocw.um.es/artes-1/procedimientos-y-tecnicas-pictoricas/material-de-clase-1/espanol/u.t.-7.-aglutinantes-pictoricos-y-sustancias-coadyuvantes.pdf>.
- Gildaberto B., (1992). Estadística 2. Universidad José Simeón Cañas. El Salvador.
- Giudice C., (2009). “Tecnología de pinturas y recubrimientos. Componentes, formulación, manufactura y control de calidad”. 1-17.
- Gómez, M. J., (2001). Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básicas. Tesis. Universidad Complutense, España.

- Goyri A., (2014). Plantas de tratamiento de aguas negras y residuales a base de zeolita. [En red]. Disponible en: file:///C:/Users/HP/Downloads/presentaciónplantasde_conzeolita.pdf. México.
- GTWE, 2015. German Technology for Water and Energy GmbH & Co. KG. Tratamiento de agua potable mediante ultrafiltración. Alemania. [En red]. Disponible en: <http://www.gtwe-nu.com/es/tratamiento-de-agua/agua-potable/ultrafiltracion/>.
- Hidrofiltec S.A.C., 2013. Tecnología en filtración de agua. Perú. [En red]. Disponible en: http://www.hidrofiltec.com/filtro_carbon.htm.
- Laboratorio especializado en control de calidad. (2015). Informe de análisis. (Informe AG505211).
- LECC, (2016). Laboratorio Especializado en Control de Calidad. Informe de Análisis Zeolita Activada. El Salvador.
- LECC, (2016). Laboratorio Especializado en Control de Calidad. Informe de Análisis Carbón Activado. El Salvador.
- Morales T., María C., (1988). Teoría sobre coagulación y floculación en el tratamiento de aguas. [En red]. Disponible en: [file:///C:/Users/HP/Downloads/ Anexo%20PRUEBA%20DE%20JARRAS.pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/Anexo%20PRUEBA%20DE%20JARRAS.pdf). Anexo Tesis. Universidad de Sonora, Escuela de Ciencias Químicas.
- Núñez C., José Arturo (2013). El agua en El Salvador. **Revista Jurídica Ambiental**, 1-5.
- Oropeza Norma, 2006. Lodos residuales, estabilización y manejo. [En línea]. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006Vol,1/Num1/NOVoII,21-30_2006.pdf. México.

- Ramírez F., 2016. Coagulación floculación en el proceso de tratamiento. [En red]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/coagulacion-floculacion.htm>
- Reyes Lujan, 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993. [En línea]. Disponible en: http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Mexico/MX_NOM-052-ECOL-1993.pdf. Estados Unidos Mexicanos.
- Reymex S.A de C.V., (2016). Fabricantes de pigmentos y colorantes. [en red]. México. Disponible en: <http://reymex.com.mx/>.
- Rodríguez L., 2011. Métodos de separación de fases. Uruguay. [En red]. Disponible en: <http://blogdequimica4.blogspot.com/2011/05/sistemas-heterogeneos-metodos-de.html>.
- Ruiz Andrea, (2009). Laboratorio de Ingeniería ambiental, Tratamiento físico-químico. [En red]. Disponible en: <http://ocw.pucv.cl/cursos-1/laboratorio-de-ingenieria-ambiental/actividades/guia-laboratorio-nb03>. Universidad Católica de Valparaiso.
- Schweigger E., (2005). Manual de Pinturas y Recubrimientos plásticos. [en línea]. Alemania. Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=17n1yqXyQQsC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.
- Shaxson F., Barber R., (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. [En red]. Roma. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/y4690s/y4690s00>.
- SIDESA, (2015). Silicatos y Derivados S.A de C.V. [En Red]. Disponible en: [http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe\(toda%20LIT\).pdf](http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/Respaldo/Sulfato%20de%20Al.Sol.%20Libre%20de%20Fe(toda%20LIT).pdf).

- SNET, 2016. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Índice de Calidad del agua general ICA. El Salvador.
- Universidad de Salamanca, (2011). Estimación de caudales aguas residuales pluviales. Recuperado el 19 de abril de 2016 de: http://aulavirtual.Usal.es/aulavirtual/demos/simulación/módulos/curso/uni_03/U3C5S3.htm.
- Valencia J., (2006). Conceptos modernos sobre el diseño de mezcladores y floculadores. [En red]. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Downloads/Preparaci%C3%B3n%20de%20Soluciones%20Floculantes.pdf>.
- Vázquez L., Yelmo A., Blázquez J., Ayuso M., Asensio J., Jiménez J., 2016. Tratamientos químicos en la depuración de aguas residuales. [En red]. Disponible en: <https://quimica-biologia-12-3.wikispaces.com/Tratamientos+qu%C3%ADmicos+en+la+depuraci%C3%B3n+de+aguas>.

ANEXOS

ANEXO A: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA CRUDA



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.

PBX: (503) 2525-0200 • FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA:		CONTROL:	AG-505-211
MUESTRA:	AGUA RESIDUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO, TRAMPA 3	LOTE:	NO APLICA
	FECHA: 08/05/15	VENCIMIENTO:	NO DISPONIBLE
		INGRESO:	08-MAY-2015
		MUESTREÓ:	CLIENTE
		EMISIÓN:	22-MAY-2015

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Amónico * Referencia: SMEWW. Método: 3500-As Fecha final de análisis: 22-may-2015	0.1 mg/L	0.009 mg/L
Cadmio Referencia: SMEWW. Método: 3500-Cd Fecha final de análisis: 22-may-2015	0.1 mg/L	Menor de 0.002 mg/L
Cromo total Referencia: SMEWW. Método: 3500-Cr Fecha final de análisis: 22-may-2015	1 mg/L	0.03 mg/L
Cromo Hexavalente Referencia: SMEWW. Método: 3500-Cr Fecha final de análisis: 22-may-2015	0.1 mg/L	Menor de 0.01 mg/L
Compuestos Fenólicos Sintéticos (Fenoles) Referencia: SMEWW. Método: 5530 Fecha final de análisis: 22-may-2015	0.5 mg/L	0.6 mg/L
Nitrógeno Total Referencia: SMEWW. Método: 4500-N B Fecha final de análisis: 22-may-2015	50 mg/L	4.5 mg/L
Plomo * Referencia: SMEWW. Método: 3500-Pb Fecha final de análisis: 22-may-2015	0.4 mg/L	0.018 mg/L
Recuento de Coliformes Totales * Referencia: SMEWW. Método: 9221 B NMP Fecha final de análisis: 14-may-2015	10,000 NMP/100mL	1,700 NMP/100mL

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01.09, FABRICACION PINTURAS, BARNICES Y LACAS.
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada


Lic. Ana Luz Arévalo Posada
Dirección Técnica


PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE
 QUÍMICO FARMACÉUTICO
 (Insc. J. V. P. Q. F. No. 1196)



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LEGG Pag: 1 de 1

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para
agua, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.

ANEXO B: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON ZEOLITA ACTIVADA



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA:		CONTROL:	AG-607-706
MUESTRA:	AGUA RESIDUAL SALIDA DE PLANTA DE TRATAMIENTO. MUESTRA 1	LOTE:	NO APLICA
	FECHA: 18/07/16, HORA: 2:24 PM	VENCIMIENTO:	NO DISPONIBLE
		INGRESO:	18-JUL-2016
		MUESTREÓ:	CLIENTE
		EMISIÓN:	01-AGO-2016

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos Totales * Referencia: SMEWW. Método: 2540 D Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 100 mg/L	1,768.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. Método: 5220 D Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 300 mg/L	75.1 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5,20 * Referencia: SMEWW. Método: 5210 B 4500-OC Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 100 mg/L	22.2 mg/L
Turbidez Referencia: SMEWW. Método: 2130 B Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: No se incrementará en 5 Unidades la turbidez del cuerpo receptor	Mayor a 1,000 UNT
Sólidos Totales Referencia: SMEWW. Método: 2540 B Fecha final de análisis: 01-ago-2016	LMP: No Disponible	6,344.0 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01.09, FABRICACION PINTURAS, BARNICES Y LACAS.

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed

LMP: Límite Máximo Permisible

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

Lic. Nomas Enrique Salazar
Signatario Autorizado

Lic. Nomas Enrique Salazar Martínez
QUÍMICO FARMACEUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 2969

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Pag: 1 de 1

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para aguas, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.

ANEXO C: INFORME DE ANÁLISIS DE AGUA TRATADA CON CARBÓN ACTIVADO



Laboratorio Especializado en Control de Calidad

ESEBESA, S.A. DE C.V.

No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA:	CONTROL:	AG-607-708
MUESTRA: AGUA RESIDUAL SALIDA DE PLANTA DE TRATAMIENTO. MUESTRA 2	LOTE:	NO APLICA
FECHA: 18/07/16, HORA: 3:00 PM	VENCIMIENTO:	NO DISPONIBLE
	INGRESO:	18-JUL-2016
	MUESTREÓ:	CLIENTE
	EMISIÓN:	01-AGO-2016

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos Totales * Referencia: SMEWW. Método: 2540 D Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 100 mg/L	552.0 mg/L
Demanda Química de Oxígeno * Referencia: SMEWW. Método: 5220 D Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 300 mg/L	383.4 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5,20 * Referencia: SMEWW. Método: 5210 B 4500-OC Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: 100 mg/L	111.7 mg/L
Turbidez Referencia: SMEWW. Método: 2130 B Fecha final de análisis: 30-jul-2016	LMP: No se incrementará en 5 Unidades la turbidez del cuerpo receptor	40 UNT
Sólidos Totales Referencia: SMEWW. Método: 2540 B Fecha final de análisis: 01-ago-2016	LMP: No Disponible	5,612.0 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.49.01.09, FABRICACION PINTURAS, BARNICES Y LACAS.
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed
LMP: Límite Máximo Permissible

El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada

Lic. Nirmas Enrique Salazar
Signatario Autorizado

Lic. Nirmas Enrique Salazar, Martínez
QUÍMICO FARMACÉUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 2969

* PRUEBAS ACREDITADAS BAJO NORMA ISO 17025 VIGENTE



PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA POR LA DIRECCIÓN DE LECC
EL INFORME NO ES VALIDO SIN EL SELLO SECO DE LECC

Laboratorio Acreditado por OSA bajo la Norma NSR ISO/IEC 17025 en pruebas específicas para aguas, lodos, alimentos, desinfectantes, superficies y productos farmacéuticos.

Pag: 1 de 1