Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX

Ervin Noé Aguilar
Asesorado por el Ing. Nery Estuardo Tejeda Alegría

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERVIN NOÉ AGUILAR
ASESORADO POR EL ING. NERY ESTUARDO TEJEDA ALEGRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodriguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ramón Benjamín Piedrasanta Batz
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 4 de septiembre de 2014.

Ervin Noé Aguilar

Guatemala 24 octubre de 2014

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director de Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado ingeniero Monzón

Por este medio le envió mi dictamen de aprobación del informe final de investigación del estudiante Ervin Noé Aguilar carne: 1999-11291, titulado, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL AREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*) COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX". Trabajo que fue revisado por mi persona.

Espero que el mismo llene los requisitos que la escuela de ingeniería química requiere, por lo cual lo remito con usted para que pueda continuar con los trámites respectivos.

Agradeciendo su atención a la presente, le saluda atentamente.

Nery Estuardo Tejeda Alegría
INGENIERO QUIMICO
COLEGIADO No. 1627

Ing. Nery Estuardo Tejeda Alegría

Colegiado 1627,

Gerente Técnico Manufacturas Vista al mar, S.A.

Guatemala, 24 de noviembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.064.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **023-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Ervin Noé Aguilar.**
Identificado con número de carné: **1999-11291.**
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (LEACHING), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LATEX

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Nery Estuardo Tejeda Alegría.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
AREA TRABAJOS DE GRADUACION
FIUSAC

Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.020.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ERVIN NOÉ AGUILAR** titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECTOR
ESCUELA
INGENIERIA QUIMICA
U. S. A. C.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 060.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA PARA REUSARLA EN EL ÁREA DE DESMOLDEO Y TANQUES DE LIXIVIACIÓN (*LEACHING*), COMO PARTE DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE GUANTES DE LÁTEX,** presentado por el estudiante universitario: **Ervin Noé Aguilar,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 16 de febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la mayor influencia en mí y haberme dado toda la sabiduría para poder finalizar mi carrera.
Mi madre	Por su amor y darme todo su apoyo, será siempre recordada. Que en paz descanse.
Mi esposa	Por ser la fuente de inspiración y lucha cada día.
Mis hijos	Irving, Nicole, Jennifer y Willian, por ser la fuente de inspiración en mi vida.
Mis hermanos	Gladys y Orlando Aguilar, por brindarme su apoyo siempre.
Mis suegros	Faustina Pérez y Everildo Morataya, por su amistad y cariño mostrado siempre.
Mis amigos	Con cariño, respeto y admiración de siempre.

.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber formado parte del grupo estudiantil de tan prestigiosa universidad.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos académicos necesarios para desarrollarme como profesional.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos en el transcurso de mi carrera.
Mis amigos de la Facultad	Por compartir en los diferentes cursos en toda mi carrera.
Lic. Humberto Teos	Por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.
Ing. Nery Tejeda	Por brindarme su apoyo como asesor para llevar a cabo este trabajo de investigación.
Ing. Mario Estrada	Por brindarme su apoyo como revisor.
Empresa Manufacturas Vista al Mar, S. A.	Por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.

Personal de la empresa Manufacturas Vista al Mar, S. A.	Por su apoyo y aporte brindado en el transcurso de mi carrera y la finalización de este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES V
LISTA DE SÍMBOLOS IX
GLOSARIO XI
RESUMEN XV
OBJETIVOS XVII
Hipótesis XVIII
INTRODUCCIÓN XIX

1. ANTECEDENTES 1

2. MARCO TEÓRICO 3
2.1. Productos utilizados en la fabricación del guante 3
2.1.1. Látex natural 3
2.1.2. Látex sintético nitrilo butadieno (NBR) 4
2.1.2.1. Síntesis y características 5
2.1.2.2. Resumen de las principales características del nitrilo butadieno 7
2.1.2.3. Propiedades 8
2.1.3. Látex neopreno 9
2.1.4. Nitrato de calcio 10
2.1.4.1. El uso de fertilizantes 11
2.1.4.2. Uso en aplicaciones técnicas 11
2.1.5. Ácido sulfúrico 12
2.1.6. Ácido nítrico 13
2.1.7. Vulcanizante 14

2.1.8. Hidróxido de sodio 14
2.2. Proceso de fabricación del guante 15
2.2.1. Etapa de formulación 15
2.2.2. Etapa de proceso de inmersión 16
2.2.3. Etapa de proceso de secado y vulcanizado 16
2.2.4. Etapa en el área de desmoldeo 18
2.2.5. Etapa del proceso de clorinado 18
2.2.6. Etapa del proceso de secado 18
2.3. Fundamentos teóricos para el uso del agua en tanques de lixiviacion (*leaching*) y el proceso de desmoldeo 19
2.3.1. El agua en los tanques de lixiviacion (*leaching*) 19
2.4. El agua solvente universal 19
2.4.1. El agua 19
2.4.2. El agua en la industria 20
2.5. Tratamiento de aguas residuales industriales 21
2.5.1. Pretratamiento 22
2.5.1.1. Cribado 23
2.5.1.2. Tamizado 23
2.5.1.3. Desarenado 23
2.5.1.4. Desengrasado 23
2.5.2. Tratamiento primario 24
2.5.2.1. Fundamentos de la coagulación-floculación 25
2.5.2.2. Floculantes no-iónicos, como la poliacrilamida 28
2.5.2.3. Práctica de la coagulación-floculación 29
2.5.2.4. Decantación 30
2.5.2.5. Flotación con aire 31

2.5.2.6. Neutralización 31
2.5.3. Tratamiento secundario 32
2.5.3.1. Tratamiento aeróbico 32
2.5.3.2. Tratamiento anaeróbico 34
2.5.4. Tratamiento terciario 36
2.5.4.1. Desinfección 36
2.5.4.2. Adsorción 38
2.5.4.3. Intercambio iónico 38
2.5.4.4. Ósmosis inversa 39
2.5.4.5. Electrodiálisis 39
2.5.5. Tratamiento de lodos 39
2.6. Plantas de tratamiento de aguas 40

3. DISEÑO METODOLÓGICO 43
3.1. Variables 43
3.2. Delimitación del campo de estudio 47
3.3. Recursos humanos disponibles 47
3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos) 48
3.4.1. Equipo a utilizar 48
3.4.2. Cristalería 49
3.4.3. Reactivos 49
3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa 50
3.5.1. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno 50
3.5.2. Análisis de la demanda química de oxígeno 50
3.5.3. Índice de biodegradabilidad 50
3.5.4. Medición de la gravedad específica 51
3.5.5. Determinación de nitratos y nitritos 51

3.5.6. Determinación del olor 52
3.5.7. Determinación del pH.....53
3.5.8. Determinación de sólidos totales.....53
3.5.9. Determinación de sólidos suspendidos totales 54
3.5.10. Determinación de sólidos disueltos totales.....54
3.5.11. Determinación de la temperatura 55
3.5.12. Determinación de la turbidez.....55
3.6. Recolección y ordenamiento de la información.....57
3.6.1. Técnica de muestreo…..…….….57
3.6.1.1. Equipo de muestreo…….…57
3.6.1.2. Periodo de muestreo…….58
3.6.1.3. Número ideal de muestras…..……..58
3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....61
3.8. Análisis estadistíco 63
3.8.1. Media aritmética…..……...……...63
3.8.2. Desviación estándar……...……..63
3.8.3. Tabla t-Student para n<30……...……...64
3.8.3.1. Estadístico……..……..…64

4. RESULTADOS.....65

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 87

CONCLUSIONES.....91
RECOMENDACIONES 93
BIBLIOGRAFÍA.....95
APÉNDICES.....97
ANEXO 103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Fórmula química general de los cauchos nitrilo 5
2. Síntesis del caucho nitrilo..... 6
3. Estructura química del NBR 6
4. Propiedades del NBR..... 9
5. Etapa de tratamiento completo de aguas residuales industriales 22
6. Acción de polímeros floculantes..... 28
7. Esquema de una instalación de coagulación-floculación 30
8. Esquema de una instalación para tratamiento aeróbico de lodos activados 34
9. Esquema de reactor anaeróbico convencional 36
10. Proceso de tratamiento de aguas 41
11. Procedimiento para el tratamiento del agua y la toma de muestras y análisis de los resultados 59
12. Diseño de un sistema de recirculación de agua para reusarla en el proceso de fabricación de guantes 60
13. Cómo influye en el pH la aplicación de sulfato de aluminio…..... 78
14. Cómo influye el sulfato de aluminio en el aumento de sólidos totales….. 78
15. Cómo influye la concentración de sulfato de aluminio en la disminución de sólidos suspendidos totales..... 79
16. Cómo influye la concentración de sulfato de aluminio en el aumento de sólidos disueltos totales 79

17. Dosificación con coagulante sulfato de aluminio de derecha a izquierda 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 pmm, 250 ppm, 300 ppm y agua contaminada 80
18. Diseño del sistema de recirculación de agua en tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo 81
19. Captación de agua del tanque de lixiviación (*leaching*) 82
20. Captación del agua en el área de desmoldeo..... 82
21. Tanque de aireación para la eliminación de grasas y jabones contenida en el agua contaminada 83
22. Tanque de coagulación-floculación con sulfato de aluminio 84
23. Tanque de sedimentación..... 85
24. Flóculo sedimentado..... 85
25. Tanques de aireación, coagulación-floculación, sedimentación 86

TABLAS

I. Definición de las variables a utilizar 43
II. Análisis realizados al afluente y efluente antes y después del tratamiento del agua para su recirculación 44
III. Análisis realizados al afluente-efluente antes y después del tratamiento del agua para su recirculación. 45
IV. Caudal de tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo de tres líneas. 46
V. Índice de biodegradabilidad inicial. 61
VI. Índice de biodegradabilidad final..... 61
VII. Preparación de las concentraciones del reactivo para la coagulación con sulfato de aluminio. 62
VIII. Análisis realizados por día al agua contaminada. 65
IX. Análisis realizados al agua tratada. 66

X. Análisis realizados al afluente y efluente..... 67
XI. Índice de biodegradabilidad del agua contaminada. 67
XII. Índice de biodegradabilidad del agua tratada con sulfato de aluminio..... 68
XIII. Dosificación de la muestra No. 1 68
XIV. Dosificación de la muestra No. 2 69
XV. Dosificación de la muestra No. 3 69
XVI. Dosificación de la muestra No. 4 70
XVII. Dosificación de la muestra No. 5 70
XVIII. Dosificación de la muestra No. 6 71
XIX. Dosificación de la muestra No. 7 71
XX. Dosificación de la muestra No. 8 72
XXI. Dosificación de la muestra No. 9 72
XXII. Dosificación de la muestra No .10 73
XXIII. Dosificación de la muestra No. 11 73
XXIV. Dosificación de la muestra No. 12 74
XXV. Dosificación de la muestra No. 13..... 74
XXVI. Dosificación de la muestra No. 14..... 75
XXVII. Dosificación de la muestra No. 15..... 75
XXVIII. Dosificación de la muestra No. 16..... 76
XXIX. Dosificación de la muestra No. 17..... 76
XXX. Dosificación óptima a un pH promedio..... 77
XXXI. Análisis realizados a muestras a diferentes concentraciones con sulfato de aluminio 77
XXXII. Porcentaje de reducción del consumo de agua al implementar un sistema de recirculación de agua en una línea 86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HNO3	Ácido nítrico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
c^3	Centímetros cúbicos
Xi	Datos
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
s	Desviación estándar
t	Estadístico
gpm	Galones por minuto
GL	Grados de libertad
g	Gramos
G.E.	Gravedad específica
$Ca\ (OH)_2$	Hidróxido de calcio
NaOH	Hidróxido de sodio
Ha	Hipótesis alternativa
Ho	Hipótesis nula
h	Hora
IB	Índice de biodegradabilidad
L	Litro
UV	Luz ultravioleta
$\bar{x}$	Media aritmética
μ	Media esperada de una medición
m^3	Metro cúbico

Us	Micro siemens
Mg	Miligramos
Min	Minuto
$Ca(NO_3)_2$	Nitrato de calcio
NO_2	Nitratos
NO_3	Nitritos
n	Número de datos
ppm	Partes por millón
%	Por ciento
pH	Potencial de hidrógeno
psi	Presión en Lb/plg^2
SDT	Sólidos disueltos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sólidos totales
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de aluminio
° C	Temperatura en grados centígrados
UNT	Unidad nefelometría de turbidez

GLOSARIO

Afluente	Agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio o planta de tratamiento.
Agua residual	Tipo de agua que ha recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Agua residual especial	Tipo de agua residual generada por actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas.
Aireación	Proceso de transferencia de oxígeno al agua por medios naturales
Bidón	Estructura cilíndrica de acero utilizada para formulación o almacenamiento de sustancias líquidas.
Caudal	Volumen de un fluido que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.
Coagulante	Sal metálica que reaccionan con la alcalinidad del agua, para producir un flóculo de hidróxido del metal, insoluble en agua, que incorpore a las partículas coloidales.

Coloide	Suspensión estable, por lo que es imposible su sedimentación natural.
Efluente	Líquido que sale de un medio de tratamiento, que ha sido a operaciones y procesos.
Floculante	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
Grados de libertad	Cantidad de información suministrada por sus datos que se puede gastar para estimar los valores de parámetros desconocidos de población y calcular la variabilidad de estos.
Hipótesis	Proposición aceptable que ha sido formulada a través de la recolección de información y datos, aunque no esté confirmada, sirve para responder de forma alternativa a un problema con base científica.
Hipótesis alternativa	Hipótesis basada en otros resultados sobre la base de otras variables.
Hipótesis nula	Hipótesis construida para anular o refutar, con el objetivo de apoyar una hipótesis alternativa. Cuando se utiliza se presume verdadera hasta que una prueba estadística en la forma de una prueba empírica de la hipótesis, indique lo contrario.

Horma	Molde de porcelana con el que se fabrica o forma algo.
Látex	Una suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas.
Leaching	Palabra inglesa que significa lixiviación.
Lixiviación	Proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.
Partes por millón	Unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.
PH	Medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$presentes en determinadas disoluciones.
Sedimentación	Proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita. Un tipo común de sedimentación ocurre cuando el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

Sólidos disueltos totales	Medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular (sol coloide).
Sólidos suspendidos totales	Parámetro utilizado en la calificación de la calidad de agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro – mg/l) presentes.
Sólidos totales	Determinación de los sólidos totales que permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación.
Tote	Contenedor cuadrado de plástico reforzado con estructura de aluminio con capacidad para 1 metro cubico de agua, utilizado para almacenamiento de látex o sustancias líquidas.
Tratamiento	Conjunto de operaciones cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o características no deseables de las aguas.
Vulcanizado	Proceso mediante el cual se calienta el látex en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente.

RESUMEN

En el estudio realizado se procedió a evaluar el diseño e implementación de un sistema de reutilización de agua en tanques de lixiviación (*leaching*) y en el área de desmoldeo, como una mejora para el proceso de fabricación de guantes de látex, el estudio conlleva el tratamiento del agua después del proceso de lixiviación para la eliminación de sales electrolíticas.

El proceso de fabricación de guantes de látex abarca varias etapas: formulación de la mezcla, inmersión, secado y vulcanizado, desmoldeo, clorinado, lavado y secado final; que permite obtener un material utilizable. Cada etapa del proceso proporciona las características necesarias para obtener un producto de buena calidad.

Al realizar la formulación de la mezcla se produce un dispersión coloidal de la sustancia polimérica en un medio acuoso. La mezcla es trasladada a los tanques de inmersión, luego, por medio de una solución de sales electrolíticas y un molde, es coagulada. Posteriormente se procede a lixiviar el exceso de electrolito utilizado, para obtener un mejor secado y vulcanización de la película formada sobre el molde.

El agua de lixiviación y la utilizada en el área de desmoldeo, fue captada y luego bombeada a un tanque de aireación. Luego se trasladó por gravedad hacia un tanque con agitación donde se le aplicó el proceso de coagulación-floculación, para luego decantarla y filtrarla. Finalmente se ajusta el pH y se envía por medio de bomba al proceso para su reúso y así disminuir el consumo de agua.

OBJETIVOS

General

Realizar un diseño experimental que permita reusar el agua utilizada en los tanques de lixiviación (*leaching*) y en el área de desmoldeo, que brinde información para la descontaminación del agua en los demás procesos de la fabricación del guante de látex.

Específicos

1. Brindar información de los análisis fisicoquímicos realizados al agua contaminada y al agua tratada.

2. Determinar cuál concentración de coagulante es apto para el tratamiento del agua antes de su recirculación.

3. Establecer experimentalmente el diseño e implementación de la recirculación del agua en los tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo**.**

4. Determinar el porcentaje de reducción del consumo de agua con la recirculación en los tanques de lixiviación (*leaching*) y en el área de desmoldeo.

5. Establecer un marco de referencia para futuros tratamientos de soluciones de agua contaminadas con soluciones de coagulantes o su comparación con otras ya existentes.

Hipótesis

Se puede tener un tratamiento de aguas con la reducción de contenido de sales electrolíticas en las aguas residuales del proceso de manufactura de guantes de látex, un agua que se puede limpiar y recircular para su posterior uso, una ventaja económica, reducir costos en el consumo de agua, si dicho proceso de tratamiento del agua se realiza de forma apropiada, eliminando la contaminación obtenida en el proceso.

- **Hipótesis nula (Ho):** no existe diferencia significativa en la recirculación de agua contaminada y la recirculación de agua tratada reduciendo el contenido de sales electrolíticas en la manufactura de guantes de látex.

- **Hipótesis alternativa (Ha):** existe diferencia significativa en la recirculación de agua contaminada y la recirculación de agua tratada reduciendo el contenido de sales electrolíticas en la manufactura de guantes de látex.

- Se espera que el tratamiento tenga al menos el 60 por ciento de eficiencia en la remoción de la turbidez del agua contaminada y el 65 por ciento en la remoción de sólidos disueltos totales.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad establecer un diseño experimental para la recirculación de agua, la cual fue utilizada en el proceso de desmoldeo y en los tanques de lixiviación (*leaching*), para la fabricación de guante de látex natural y látex sintético. El diseño a utilizar implica la filtración, coagulación, floculación, sedimentación del agua que fue contaminada por la migración de solución electrolítica, utilizada para la formación de la película.

Con esta investigación se pretende obtener un ahorro en el consumo de agua requerida para la obtención de diferentes estilos de guantes de látex. Con base en lo anterior, poder recomendar un diseño apropiado para la circulación de agua y ahorrar costos en la manufactura de guantes.

El diseño se realiza en un proceso experimental a nivel de laboratorio sobre la base de medición de las concentraciones de los compuestos contenidos en el agua contaminada y el análisis del agua después de su respectivo tratamiento para la reutilización.

1. ANTECEDENTES

La fabricación de guantes látex es una industria que se remonta a tiempos memorables, y en definitiva, dicho proceso ha sufrido una serie de transformaciones hasta llegar a la actual. En el transcurso de dicha evolución-modernización, continuamente se investigan métodos, técnicas y tecnologías que hagan más productivo, eficaz, rentable y menos contaminante el ambiente, siendo los centros especializados en este campo, alrededor del mundo; quienes han desarrollado dichas investigaciones.

La fabricación de guantes látex es uno de los casos en el que, al aplicar el procedimiento de coagulación con sustancias ácidas o electrolitos solubles, el látex es desestabilizado coloidalmente, de tal manera, que sucede una unión de las partículas de la fase dispersa.

La inmovilización de las partículas de la fase dispersa ocurre primero, quedando el medio de dispersión inicialmente atrapado entre dichas partículas del polímero, en la antigüedad el medio era removido por el proceso de secado y vulcanizado.

En la actualidad se ha agregado la lixiviación como medio para remover las partículas de las sustancias en exceso que se utilizan para la coagulación antes del secado y vulcanizado.

La lixiviación es un proceso possecado y vulcanización que se da como parte de la eliminación de la sustancia electrolítica que coagula el látex, esto se ha realizado por medio del paso del disolvente a través de la horma en la cual

se ha formado la película de látex, así de esta forma el agua se concentra aumentando su sólidos totales y contaminando las aguas que se vierten al alcantarillado.

El experimento es una serie de procedimientos para verificar la hipótesis de trabajo. Con base en la hipótesis se realizó el diseño del experimento, con el objetivo de que el estudio tenga la posibilidad de comportarse de acuerdo a la hipótesis o no. El método está elaborado en función de la teoría existente sobre el tratamiento del agua por medio de aireación, filtración, coagulación-floculación; para la recirculación del agua en los tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Productos utilizados en la fabricación del guante

A continuación se describen algunos productos utilizados en la fabricación de guantes.

2.1.1. Látex natural

Es una suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas obtenidas a partir del citoplasma de las células laticíferas presentes en algunas plantas angiospermas y hongos. Es frecuentemente blanco, aunque también puede presentar tonos anaranjados, rojizos o amarillentos, dependiendo de la especie y de apariencia lechosa.

El látex es el material más elástico conocido. En ningún caso se debe confundir con otras sustancias como pueden ser el caucho, la resina o las gomas vegetales, ya que el hecho que tengan composiciones químicas, apariencia y funciones similares, no quiere decir que se trate del mismo compuesto. El caucho o hule (hidrocarburo con fórmula C_5H_8) es una sustancia natural (aunque existe una variedad sintética obtenida a partir de hidrocarburos insaturados) caracterizada por su insolubilidad en agua, su resistencia eléctrica y su elasticidad, que se encuentra en forma de suspensión coloidal en el látex.

Debido a sus múltiples aplicaciones comerciales (los neumáticos, la ropa impermeable y ciertos productos adhesivos están constituidos por esta sustancia), el látex es extraído de las plantas productoras con el objetivo de

obtener las partículas de caucho que se encuentran dispersas en él. Las resinas naturales engloban a un grupo de sustancias con composiciones químicas diferentes, aunque, generalmente, todas ellas presentan carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas emanan de las heridas de las plantas productoras, evitando la entrada de organismos patógenos en el vegetal y la pérdida excesiva de savia. Finalmente, las gomas vegetales son una sustancia gelatinosa que es exudada por algunas especies vegetales, que se encuentra compuesta por ácidos orgánicos complejos y sales variadas (por ejemplo, la goma arábiga está formada por sales cálcicas, potásicas y magnésicas de arabina). Incoloras e inodoras, las gomas tienen una textura semejante a la cola cuando se mojan o humedecen (son muy solubles en agua, a diferencia del látex).

El látex de ciertas plantas resulta tóxico y venenoso, como el del cardón (*euphorbiacanariensis*), que es utilizado para cazar peces, o el de *calotropis gigantea*, que los nativos del sur de Asia usan para envenenar las puntas de sus flechas. En otras ocasiones es dulce y comestible, como el producido por el árbol de la leche, o sumamente acre e irritante, como sucede en el caso de la higuera (*ficus carica*).

2.1.2. Látex sintético nitrilo butadieno (NBR)

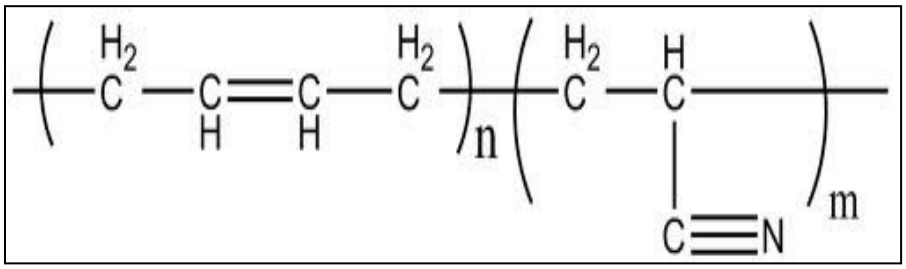
El caucho nitrilo, también conocido como *Buna-N, Perbunan, NBR*, es un caucho sintético, copolímero de acrilonitrilo (ACN) y butadieno. Los nombres comerciales incluyen Krynac, Nipol y Europrene.
El caucho nitrilo, al igual que el caucho estireno-butadieno y otros elastómeros sintéticos fue producto de investigaciones que tuvieron lugar durante y entre las dos guerras mundiales, como sustitutos del caucho natural. Un grupo de copolímeros de butadieno-acrilonitrilo, tomando el nombre de Buna N, fue

patentado en 1943 por los químicos alemanes Erich Konrad y EduardTschunkur, que trabajaban para la IG Farben. La Buna N fue producida en los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial con el nombre de GR-N (*Goverment rubber-nitrile*) y subsiguientemente el grupo de elastómeros de acrilonitrilo-butadieno fue conocido como caucho nitrilo.

2.1.2.1. Síntesis y características

Los cauchos nitrilo-butadieno (NBR) son una familia de copolímeros no saturados, de 2-propenonitrilo (acrilonitrilo) y varios monómeros de butadieno (1,2-butadieno y 1,3-butadieno).

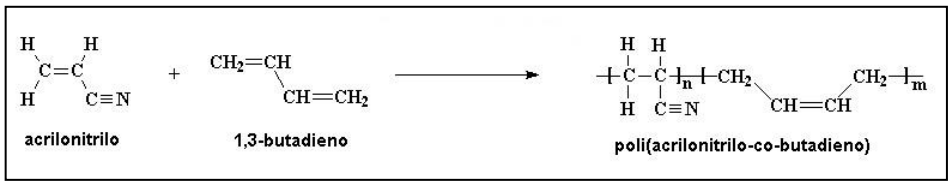
Figura 1. **Fórmula química general de los cauchos nitrilo**



Fuente: tecnología de los plásticos.
http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html.Consulta: 01 de abril de 2014.

La reacción de polimerización entre el acrilonitrilo (2-propenonitrilo) y el butadieno (1,3-butadieno) sería la siguiente:

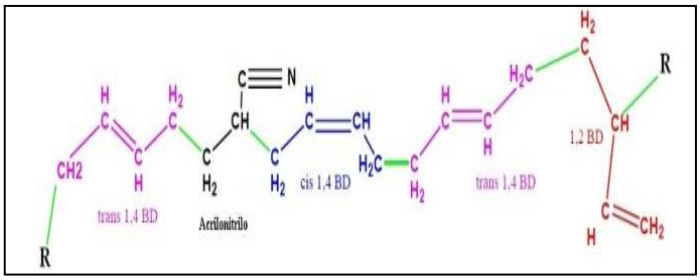
Figura 2. **Síntesis del caucho nitrilo**



Fuente: tecnología de los plásticos.
http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html. Consulta: 01 de abril de 2014.

A continuación se muestra la estructura química del NBR, indicando las tres posibles estructuras isométricas para los segmentos de butadieno.

Figura 3. **Estructura química del NBR**



Fuente: Tecnología de los plásticos.
http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html. Consulta: 03 de abril de 2014.

A pesar de que sus propiedades físicas y químicas varían dependiendo de la composición de nitrilo del polímero, este tipo de caucho sintético es generalmente resistente a aceites, combustibles y otros productos químicos (más nitrilo dentro del polímero provee mayor resistencia a los aceites, pero menor la flexibilidad del material).

Se utiliza en la industria automotriz y aeronáutica para las mangueras de combustible y manipulación de hidrocarburos, sellos y arandelas. Asimismo, en la industria nuclear para fabricar guantes de protección. La capacidad del NBR para soportar una amplia gama de temperaturas (de -40 °C a 108 °C) hace que sea un material ideal para aplicaciones aeronáuticas. El nitrilo-butadieno, también se usa para crear productos moldeados, calzado, adhesivos, selladores, esponjas, espumas expandibles y alfombras de piso. Su capacidad de recuperación (resilencia) hace del NBR un material útil para fabricación de guantes de laboratorio desechables, guantes de limpieza y/o de exanimación médica.

El caucho nitrilo es más resistente que el caucho natural a los aceites y ácidos, pero tiene una fuerza y una flexibilidad inferior. Los guantes de nitrilo son, sin embargo, tres veces más resistentes a los pinchazos (resistencia a la perforación), que los guantes de caucho natural. El caucho nitrilo es, generalmente, resistente a los hidrocarburos alifáticos. Tanto el caucho nitrilo como el natural, puede ser atacado por el ozono, hidrocarburos aromáticos, cetonas, ésteres y aldehídos.

2.1.2.2. Resumen de las principales características del nitrilo butadieno

- Características positivas
    - Excelente resistencia a los aceites
    - Muy buenas propiedades mecánicas
    - Muy buena resistencia a los solventes
    - Muy buena adhesión a los metales
    - Temperatura de trabajo mayor 120 °C

- Buena resistencia a la flexión
- Resistencia a la abrasión (XNBR)
- Excelente propiedades mecánicas (HNBR)
- Resistencia a la temperatura y al ozono (HNBR)

- Características negativas

  - Escasa resistencia al ozono
  - No resiste grasas azufradas
  - Baja resistencia a la llama
  - Baja permeabilidad a los gases
  - Elevado costo en comparación de los cauchos ordinarios
  - Menor elasticidad que los cauchos naturales

2.1.2.3. Propiedades

El caucho nitrilo es, entonces, un copolímero de acrilonitrilo-butadieno. Es el que más resiste a los aceites de todos los productos de caucho comercializados y se usa en artículos que funcionan en contacto con aceites minerales. Hay diferentes grados de caucho nitrilo, esto depende del contenido de nitrilo (la proporción de acrilonitrilo varía desde el 18 al 40 por ciento). Los de alto contenido en nitrilo (35-40 por ciento) resisten más a los aceites, pero son más caros, tienen mayor temperatura de transición vítrea (Tg) y por eso poseen pocas propiedades a bajas temperaturas y son más rígidos. Los grados medios (25 por ciento) y bajos (18 por ciento) en contenido de nitrilo, se usan donde no es tan importante la resistencia a los aceites.

Las propiedades del NBR varían con contenido creciente de acrilonitrilo, como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. **Propiedades del NBR**

ALTO	CONTENIDO DE ACRILONITRILO	BAJO
←	MEJORA LA RESISTENCIA A ACEITES	
←	MEJORA LA CARGA DE ROTURA	
←	MEJORA ABRACION Y DUREZA	
←	MEJORA EL PROCESADO	
	MEJORA ELASTICIDAD BAJAS TEMP.	→
	MEJOR RESISTENCIA Y ELASTICIDAD	→

Fuente: Tecnología de los plásticos
http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html. Consulta: 04 de abril de 2014.

Se considera que los vulcanizados de nitrilo pueden usarse permanentemente a una temperatura no mayor a los 120 °C.

2.1.3. Látex neopreno

El neopreno es un químico artificial que se utiliza como sucedáneo del caucho. Su fórmula química es C_4H_5Cl y posee características tan similares a las del caucho natural, que puede incluso, cumplir las mismas funciones. Además de comportarse como tal, el neopreno es aun más resistente a la luz del sol, a los aceites y a las grasas que el mismo caucho. El neopreno es obtenido del cloro butadieno, elemento que se origina a partir de otro elemento denominado acetileno.

Este resistente material encuentra su origen en la Alemania del último período de la Primera Guerra Mundial. Se creó a partir de la necesidad de nuevos materiales para el armamento de la guerra, sin embargo, una vez terminada esta, los estudios en torno a la creación de nuevos materiales cesaron. No fue sino hasta el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, cuando

comienzan las investigaciones nuevamente, pudiendo así contar con todo tipo de materiales. No obstante, una vez creada un arma a base de caucho comenzaron los problemas, ya que su importación desde Brasil resultaba altamente costosa y, debido a las altas temperaturas, el caucho se derretía. Fue así como, por medio de ciertos esfuerzos de laboratorio, se llegó a la creación del neopreno.

2.1.4. Nitrato de calcio

También llamado *norgessalpeter* (salitre noruego) o nitrato de cal de Noruega, es el compuesto inorgánico con la fórmula $Ca(NO_3)_2$. Este compuesto de color sal absorbe la humedad del aire y se encuentra comúnmente como tetra hidratado. Se utiliza, principalmente como componente de fertilizantes. Nitrocalcite es el nombre de un mineral que es un nitrato de calcio hidratado que se forma como un florecimiento en el estiércol, contactos concretos, o piedra caliza en un ambiente seco, como en establos o cavernas.

El nitrato de calcio es un compuesto químico formado por nitrógeno, oxígeno y calcio.

Es producida por el tratamiento de la piedra caliza con ácido nítrico, seguida de una neutralización con amoníaco:

$$CaCO_3 + 2\ HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + CO_2 + H_2O$$

También puede ser preparado a partir de una solución acuosa de nitrato de amonio e hidróxido de calcio:

$$2NH_4NO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + 2NH_4OH$$

Como el metal alcalino-térreos relacionados nitratos (así como LiNO3), nitrato de calcio se descompone al calentarse y la liberación de dióxido de nitrógeno:

$$2Ca(NO_3)_2 \rightarrow 2\,CaO + 4\,NO_2 + O_2 \quad DELTA.H = 369\ kJ / mol$$

2.1.4.1. El uso de fertilizantes

La nota de abono (15.5-0-0 + 19 por ciento de Ca) es muy popular en el invernadero hidropónico y oficios, ya que contiene nitrato de amonio y agua, como el doble sal 5 Ca $(NO_3)_2$. $NH_4NO_3.10H_2O$. Las formulaciones que carecen de amoniaco, son también conocidos: $Ca(NO3)_2.4H_2O$ (11.9-0-0 + 16,9 por ciento Ca). Una formulación líquida (9-0-0 + 11 por ciento de Ca), también se ofrece. Un derivado anhidro, aire estable es la urea complejo Ca $(NO_3)_2$.4 [CO $(NH_2)_2$], que se ha vendido como cal-urea.

2.1.4.2. Uso en aplicaciones técnicas

El nitrato de calcio se utiliza en diversas aplicaciones técnicas. La mayoría de las más importantes son las aguas residuales de acondicionamiento previo para la prevención de olores de emisiones, como sal de almacenamiento térmico y como aditivo para el acelerado del fraguado del hormigón.

En la presencia de nitratos en el metabolismo de sulfatos se detiene. Esto se traduce en la prevención de la formación de sulfuro de hidrógeno. Además, fácil de materia orgánica degradable se consume, ¿qué otra cosa puede causar condiciones anaerobias aguas abajo, así como las emisiones de olor en sí .El concepto se aplica también, para el tratamiento de lodos excedentes.

La mezcla de nitrato de calcio, sódico y potásico se utiliza como sal de almacenamiento térmico en las plantas termo solar. La adición de cálcico reduce el punto de fusión de las sales (131 ºC), es mucho menos corrosivo para los circuitos y es un componente fácilmente disponible en grandes cantidades en cualquier mercado.

El nitrato de calcio se usa en aplicaciones de bases de hormigón y mortero en dos efectos. Los iones de calcio conduce a una formación anterior de hidróxido de calcio y, por lo tanto, la precipitación pone en marcha más rápido y el tiempo de fraguado se reduce. Este efecto se utiliza también, en el clima frío hormigonado agentes, así como en algún plastificante combinado. El ion nitrato conduce a la formación de hidróxido de hierro. Estas capas de protección reduce la corrosión de la armadura de hormigón.

2.1.5. Ácido sulfúrico

Es un compuesto químico extremadamente corrosivo, cuya fórmula es H_2SO_4. Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Generalmente se obtiene a partir de dióxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Normalmente se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración del ácido. Antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de este mineral.

La molécula presenta una estructura piramidal, con el átomo de azufre en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en los vértices. Los dos átomos de hidrógeno están unidos a los átomos de oxígeno no unidos por enlace doble al azufre. Dependiendo de la disolución, estos hidrógenos se pueden disociar. En agua se comporta como un ácido fuerte en su primera disociación, dando el anión hidrogeno sulfato, y como un ácido débil en la segunda, dando el anión sulfato.

Además se usa como regulador del pH del agua en piscinas, reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor.

2.1.6. Ácido nítrico

El químico ácido nítrico (HNO_3) es un líquido viscoso, corrosivo y tóxico que puede ocasionar graves quemaduras en los seres vivos.

Tanto el ácido nítrico como el clorhídrico y el sulfúrico fueron descubiertos por ŶabiribnHayyan.

Es utilizado comúnmente como un reactivo de laboratorio, se utiliza para fabricar explosivos como la nitroglicerina y trinitrotolueno (TNT), así como fertilizantes como el nitrato de amonio. Tiene usos adicionales en metalurgia y en refinado, ya que reacciona con la mayoría de los metales y en la síntesis química. Cuando se mezcla con el ácido clorhídrico forma el agua regia, un raro reactivo capaz de disolver el oro y el platino. El ácido nítrico, también es un componente de la lluvia ácida.

El ácido nítrico en solución en combinación con el ácido sulfúrico también, es usado como medio de limpieza de la horma de porcelana que es contaminada en el proceso de fabricación de guantes de látex.

2.1.7. Vulcanizante

Este proceso se refiere a la reacción química producida cuando el azufre actúa sobre los dobles enlaces de carbono presentes en el elastómero. Normalmente, para elaborar el elastómero, se mezcla el látex con todas las materias primas y se obtiene un crudo, en el cual no existe reacción química alguna. Luego, aplicando presión y altas temperaturas, se genera la reacción química del azufre con los dobles enlaces del elastómero, obteniendo el látex vulcanizado.

Con este proceso, lo que se pretende es mejorar las características del látex mediante la adicción de azufre, principalmente, aunque puede ser sustituido por metaloides semejantes como el selenio y teluro o, por compuestos capaces de liberar azufre por disociación térmica.

El látex vulcanizado tiene más fuerza, elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado, el bruto; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, acción química, calor y electricidad. También posee un alto coeficiente de rozamiento en superficies secas y un bajo coeficiente de rozamiento en superficies mojadas por agua.

2.1.8. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la

industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, guantes y detergentes. Además, se usa en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. En el hogar se usa para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, entre otros.

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50 por ciento.

2.2. Proceso de fabricación del guante

Este proceso se puede dividir básicamente en cinco etapas:

- Formulación: que comprende desde el llenado de la materia prima hasta la alimentación de los tanques de almacenamiento.
- Inmersión
- Secado y vulcanizado
- Desmoldeo
- Clorinado
- Secado

2.2.1. Etapa de formulación

El proceso inicia con la obtención de la materia prima, la cual puede ser látex de caucho natural, látex sintético, látex neopreno de la industria de látex.

El látex se almacena en cisternas para su posterior uso a temperatura ambiente.

2.2.2. Etapa de proceso de inmersión

El proceso de inmersión de guantes se da cuando la horma es introducida en una serie de tanques, en la cual se le aplican diversas soluciones para la formación de una película delgada que se adhiere a la horma para darle la forma al guante.

2.2.3. Etapa de proceso de secado y vulcanizado

Es un proceso mediante el cual se extrae el agua del caucho a temperatura baja oscilando entre 40 a 60 ˚C y, la vulcanización se da cuando se calienta el látex en presencia de azufre, con el fin de volverlo más duro y resistente al frío. Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de entrecruzamiento entre sí. El resultado final es, que las moléculas elásticas de látex quedan unidas entre sí a una mayor o menor extensión. Esto forma un látex más estable, duro, con mayor durabilidad, más resistente al ataque químico. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos.

La vulcanización es un proceso de cura irreversible y debe ser fuertemente contrastado con los procesos termoplásticos que caracterizan el comportamiento de la vasta mayoría de los polímeros modernos. Este proceso irreversible define a los látex como materiales termo rígidos (no se funden con el calor) y los saca de la categoría de los termoplásticos (como el polietileno y el polipropileno).

Usualmente, el entrecruzamiento químico es realizado con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

Vulcanizar el látex es el tratamiento por medio del que se combina con azufre y otros compuestos. Bajo la acción del calor apropiado junto con el azufre, y a veces de la luz, el látex sufre profundas modificaciones, las cuales son motivo de especulación científica e industrial.

Este fenómeno conocido con el nombre de vulcanización, puede producirse a diversas temperaturas comprendidas entre el punto de fusión del azufre y los 160 °C. La vulcanización se produce más rápidamente a esta última temperatura, pero la experiencia ha demostrado que los mejores resultados son los obtenidos cuando se vulcaniza a 120 °C., lo que exige en cambio prolongar por más tiempo de operación.

Sí se prolonga la operación de vulcanizado elevando la cantidad de calor entre 150 ° y 160 ° por algunas horas, entonces se obtiene un nuevo producto, en el cual la elasticidad ha desaparecido y el aspecto del látex se ha modificado; se presenta ahora bajo una apariencia pardo oscura, en cierto grado quebradizo.

El grado de vulcanización del látex pende de varios factores, tales como el tiempo que dura el tratamiento, la temperatura, la presión y la cantidad de azufre agregado. Parece ser que el fenómeno de la vulcanización es el resultado de una verdadera combinación química en la que el látex admite varios grados de combinación con el azufre hasta alcanzar la sobre saturación.

2.2.4. Etapa en el área de desmoldeo

En esta etapa de desmoldeo la horma contenida en el rack es rociada con agua a temperatura ambiente y, posteriormente el guante es sujetado con los dedos para quitarlo de la horma. El agua en el proceso de desmoldeo se utiliza para suavizar el guante y hacer que este se despegue de la horma con mayor facilidad, el agua al ser rociada sobre la horma por medio de tubería con agujeros, en parte, también genera lavado que hace que el agua que pasa mojando el guante se contamine y arrastre sólidos.

2.2.5. Etapa del proceso de clorinado

En esta etapa se da el proceso de clorinación donde un lote de guante es introducido en un clorinador un periodo de 30 minutos de clorinado y 30 minutos de lavado, esto con el fin de eliminarle cualquier tipo de contaminación contenida en el guante.

2.2.6. Etapa del proceso de secado

En esta etapa del proceso, el secado es parte fundamental de acabado final del guante, eliminando cualquier exceso de agua o humedad contenida en el mismo, el guante es introducido en la secadora industrial y secado a una temperatura de 130 ˚F durante una hora, posteriormente es enfriado durante 15 minutos y descargado para luego ser clasificado e inspeccionado, embolsado y empacado.

2.3. Fundamentos teóricos para el uso del agua en tanques de lixiviación (*leaching*) y el proceso de desmoldeo

Esta operación se refiere a la lixiviación *in situ* mediante la circulación de disolvente que es agua sobre un sólido, el rack cargado con hormas conteniendo la película del guante de látex, el soluto fluye de la película del guante hacia el disolvente concentrando así la solución de disolvente aumenta su concentración.

2.3.1. El agua en los tanques de lixiviación (*leaching)*

Se utiliza como un disolvente en el proceso de lavado, un proceso en el cual el rack hace inmersión en el tanque de lixiviación en el cual la sal electrolítica es extraída de la película del guante de látex.

Los racks son pasados por un tanque que contiene agua a un flujo de 2,5 galones por minuto, en el proceso el agua se va contaminando con sales electrolíticas las cuales migran de la película de látex hacia el disolvente. Esta agua es enviada al drenaje a un flujo constante después de usarla.

2.4. El agua solvente universal

El agua es habitualmente denominada el disolvente universal por la gran cantidad de sustancias sobre las que puede actuar como disolvente.

2.4.1. El agua

Es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Es esencial para la supervivencia de todas

las formas conocidas de vida. El término agua, generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor. El agua cubre el 71 por ciento de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza, principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5 por ciento del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 por ciento, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72 por ciento y el restante 0,04 por ciento se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

2.4.2. El agua en la industria

La industria, por lo general suele necesitar y de hecho consume la mayor parte del agua potable destinado a los seres humanos. Infinidad de productos necesitan de grandes cantidades de agua para ser fabricados. La industria, por su parte contamina y necesita del agua para diluir los contaminantes y expulsarlos a los ríos de aguas negras.

El aumento del consumo de agua para la industria y la energía coincide, cada vez más, con un rápido desarrollo que transforma los patrones de uso del agua en las economías de mercado emergentes.

La productividad industrial del agua (relación entre el valor del agua que se utiliza y el valor de la producción industrial obtenida con dicha agua) es un indicador general de rendimiento en el uso del agua.

Se cree que la intensidad del uso del agua en la industria está aumentando en términos generales, al igual que el valor añadido por la industria por unidad de uso de agua.

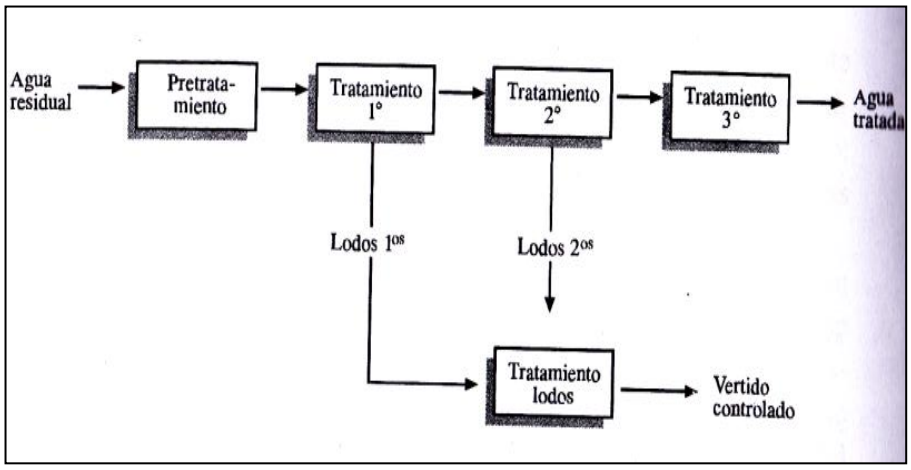
2.5. Tratamiento de aguas residuales industriales

Las aguas que contienen los residuos de la actividad humana pueden clasificarse según la composición y origen de sus contaminantes. Las aguas residuales de origen doméstico, denominadas aguas servidas, negras o municipales, son ricas en materia orgánica biodegradables, mientras que las aguas que contienen contaminantes orgánicos o materia orgánica no biodegradable son más bien de origen industrial.

Sin embargo, las aguas residuales que provienen de la industria: contienen contaminantes biodegradables. El tratamiento de aguas residuales que contienen materia orgánica biodegradable se realiza mediante un proceso biológico. En este, la materia orgánica contaminante se emplea como alimento de micro organismos, especialmente cultivados para descomponer esta materia, de manera que los contaminantes se transforman en otros productos que pueden ser separados más fácilmente del agua. Las aguas que contienen contaminantes no biodegradables se tratan mediante una serie de procesos físicos y químicos.

No obstante lo anterior, para lograr un tratamiento integral se recurre a procesos físicos, químicos y biológicos en una secuencia de etapas. Estas comprenden un pretratamiento consiste en un cribado para eliminar las materias gruesas; el tratamiento primario físico-químico consiste en la eliminación de sólidos en suspensión y material flotante; el tratamiento secundario o biológico elimina la materia biodegradable y el tratamiento terciario o avanzado elimina algunos contaminantes determinados que no quedaron retenidos en los tratamientos anteriores. La figura 5 muestra las etapas de un tratamiento completo de aguas residuales industriales con exigencia de alta calidad.

Figura 5. **Etapa de tratamiento completo de aguas residuales industriales**



Fuente: VEGA DE KUYPER, Juan Carlos. *Manejo de residuos de la industria química y afín*. 100 p.

2.5.1. Pretratamiento

Busca acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos.

Incluye equipos tales como: rejas, tamices, desarenadores y desengrasadores.

El primer paso para la depuración de las aguas residuales es la eliminación de cuerpos sólidos o materias grasas para evitar la interferencia en los procesos que se utilizan en las etapas posteriores. El pretratamiento consta de los siguientes procesos físicos que se aplican según la naturaleza del agua.

2.5.1.1. Cribado

Se aplica cuando el agua residual arrastra materias excesivamente gruesas. Se realiza por medio de rejillas o mallas; estas pueden ser gruesas, con una separación libre entre barras de 5-15 centímetros que se disponen al comienzo del cribado y finas, con una separación de 1,5-5 cm, que retienen la mayor parte de las materias que no pueden eliminarse por sedimentación.

2.5.1.2. Tamizado

El tamizado separa los residuos sólidos cuyo volumen es superior a una separación de 1 mm entre las barras del tamiz. Se emplean tamices estáticos o rotatorios que sean autolimpiables.

2.5.1.3. Desarenado

El desarenado elimina la arena y partículas minerales más o menos finas con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales del pretratamiento, los que deterioran los equipos. Los desarenadores longitudinales, de fácil construcción y utilizados para aguas residuales industriales, consisten en un canal de poca profundidad cuya velocidad de flujo horizontal es del orden de 0,3 m/seg, velocidad que arrastra la mayoría de partículas orgánicas a través del estanque, y permite sedimentar la arena, que es más pesada.

2.5.1.4. Desengrasado

El desengrasado separa los aceites, grasas y sustancias menos densas que el agua. Se realiza por flotación de dichas materias por medio de aire

disuelto. Suele realizarse conjuntamente con el desarenado. La flotación con aire disuelto (DAF) consiste en la inyección de aire a presión, cuya posterior expansión produce microburbujas sobre las cuales se adhiere el material graso, formándose un agregado partícula grasa-microburbuja que, siendo menos denso, asciende a la superficie.

2.5.2. Tratamiento primario

Las aguas residuales urbanas de origen doméstico presentan impurezas orgánicas y otras cuya naturaleza y concentración son bastante similares de una ciudad a otra, por lo que el tipo de tratamiento es análogo. Sin embargo, los residuos industriales líquidos (RIL) son muy diversos y su naturaleza depende del tipo de industria que los emite, por lo que es necesario realizar previamente estudios de trazabilidad de estos RIL para conocer el procedimiento de eliminación de los contaminantes y entregar un vertido con valor permitido de carga orgánica e inorgánica a los cursos receptores de agua. Estos estudios consisten en determinar, a nivel de laboratorio, el proceso y las condiciones más adecuadas para tratar un RIL, el que normalmente se ensaya poniendo muestras de este con reactivos en vasos de precipitados, que se agitan a una velocidad común durante un tiempo determinado. Las variables que se estudian en estos análisis son, entre otras, la separación de sólidos suspendidos y la reducción de la DQO.

Conocido el procedimiento y las condiciones de operación más apropiadas, se somete el RIL a procesos de coagulación-floculación, decantación, flotación y neutralización, según sea la naturaleza de los contaminantes y las exigencias de calidad.

Este tratamiento físico-químico: busca reducir la materia suspendida por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química poco utilizada en la práctica, salvo aplicaciones especiales, por su alto costo.

2.5.2.1. Fundamentos de la coagulación-floculación

Una forma de separar los sólidos no sedimentables que forman coloides, es su coagulación seguida de floculación. Los coloides son partículas finamente divididas que están dispersas en el agua u otra fase. El tamaño de estas partículas está comprendido entre 0,2 µ y 3-5 mµ. Debido a este diminuto tamaño, la relación entre superficie y el volumen es relativamente muy grande, de manera que, las propiedades superficiales, tales como la adsorción y la capa eléctrica, desempeñan un papel importante en la estabilidad de los coloides.

La coagulación de estos consiste en introducir en el agua un coagulante capaz de neutralizar la carga eléctrica del coloide para que forme un aglomerado de partículas, cuya mayor densidad permita su precipitación. La floculación es la agrupación de las partículas descargadas que se ponen en contacto unas con otras (flóculos).

La estabilidad de los coloides se debe básicamente a su carga, generalmente negativa, y a la solvatación. La existencia de esta carga eléctrica provoca la repulsión entre estas partículas diminutas, la cual evita su agregación y posterior sedimentación. La solvatación es la disposición espacial de los diversos iones contenidos en el agua en torno a las partículas coloidales, en virtud de su carga, con la consiguiente formación de capas. Es evidente que las interacciones entre el coloide, el agua y los disueltos condicionan la posibilidad de agregación coloidal.

La desestabilización de los coloides se puede lograr de tres maneras: adición de iones que se absorben o reacciona con la superficie del coloide, adición de polielectrolitos naturales o sintéticos y adición de las sales metálicas. Los mecanismos por los cuales se produce la desestabilización coloidal son: la compresión de la doble capa, que se logra por adición de iones de distinta carga que la origina del coloide; la adsorción y neutralización de la carga, que se logra por adición de iones tales como el de dodecilamonio ($C_{12}H_{25}N+H_3$); la inmersión en un precipitado, que se logra por adición de compuestos que en concentración superior al producto de solubilidad precipitan atrapando a los coloides y la adsorción y contacto interpartícula, que se alcanza por adición de polímeros que provocan la unión entre los coloides.

Los principales coagulantes empleados son: sales de aluminio, de hierro y algunos polímeros. Se precisa la ejecución previa de ensayos de laboratorio para determinar qué sustancias dan lugar a la coagulación y la floculación, en la mejor forma posible. La desestabilización coloidal producida por sales de Al (III) y Fe (III) está condicionada por tres factores interrelacionados: dosis de coagulante, pH y concentración coloidal. La dosis de coagulante a añadir depende de la concentración coloidal. La acción de los coagulantes se ve afectada por la sobredosificación y el pH. Debido a que los sulfatos de Al (III) y Fe (III) son ácidos, se produce una modificación de la alcalinidad del agua. Por lo que, el tratamiento de aguas residuales es común la adición a estas de cal o sosa para elevar el pH.

Las suspensiones coloidales concentradas se desestabilizan eficientemente a pH bajos, mientras que las diluidas es conveniente aumentar la alcalinidad con $Ca(OH)_2$ o Na_2CO_3 para neutralizar la acidez del coagulante metálico y mantener un pH neutro.

Atendiendo la relación entre la concentración coloidal y la alcalinidad se puede definir cuatro tipos de suspensiones coloidales.

- Alta concentración coloidal, baja alcalinidad: es el sistema más sencillo de tratar, ya que solo requiere determinar la dosis óptima de coagulante.

- Alta concentración coloidal, alta alcalinidad. la desestabilización se produce a pH neutro o acido por una dosificación alta de coagulante. También se puede lograr eliminando la alcalinidad por lavado y provocando la desestabilización con dosis baja de coagulante y bajo pH.

- Baja concentración coloidal, alta alcalinidad: la coagulación requiere dosificaciones relativamente bajas de coagulantes. Una alternativa es añadir coadyuvantes de coagulación para aumentar la concentración coloidal y así mejorar el contacto interpartícula.

- Baja concentración coloidal, baja alcalinidad: es el sistema más difícil de coagulación. Para lograrlo hay que alcalinizar el medio, aumentar las partículas coloidales mediante coadyuvantes o ambos a la vez.

Los floculantes se conocen también, como ayudantes de coagulación y su función es favorecer este proceso, ya sea por aumento de la velocidad de floculación o por un aumento de tamaño del flóculo. Se pueden clasificar en floculantes naturales y sintéticos. Ejemplo de los primeros son: el almidón, las colas, gelatinas, gomas, alginatos y taninos. Actúan fundamentalmente por enlace de hidrógeno.

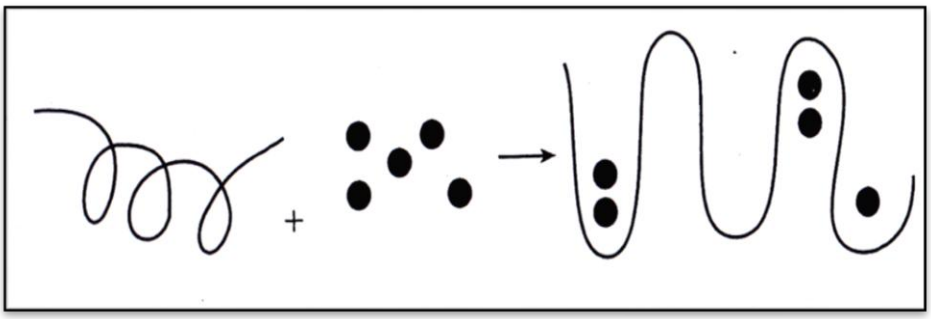
Los floculantes sintéticos son polímeros de elevado peso molecular, solubles en agua, que poseen a lo largo de sus cadenas grupos atómicos con gran afinidad por las superficies sólidas. Se clasifican en tres grupos:

2.5.2.2. Floculantes no-iónicos, como la poliacrilamida

- Floculantes iónicos: son polielectrolitos que presentan grupos iónicos o grupos ionizables. La carga de estos polímeros en solución depende del grado de ionización y del pH. Pueden ser anicónicos como ciertas poliacrilamidas o ácidos poliacrilamidas que poseen el grupo carboxílico (-COO-) o catatónicos que poseen el grupo amonio cuaternario (-R3 +N).

- Floculantes copolimericos: se obtienen por reacciones de polimerización de dos monómeros. Ejemplos son los copolimeros de estireno-acidomaleico y ácido acrílico-acidomaleico.

Figura 6. **Acción de polímeros floculantes**



Fuente: VEGA DE KUYPER, Juan Carlos. *Manejo de residuos de la industria química y afín*. p.104.

2.5.2.3. Práctica de la coagulación-floculación

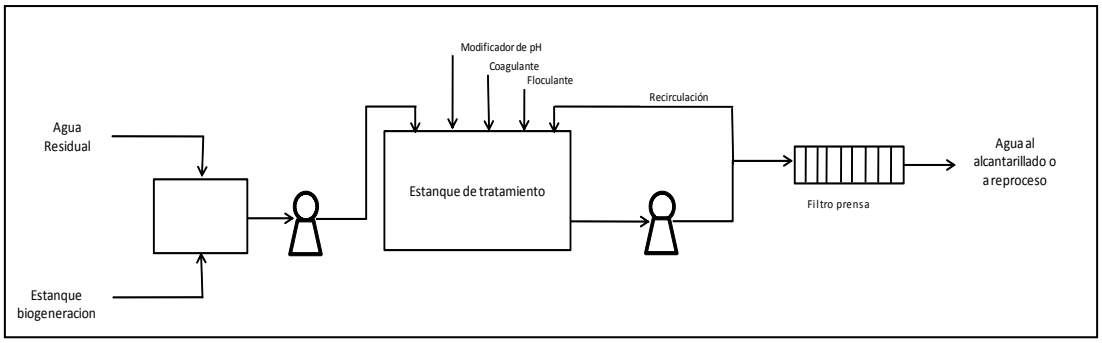
Puesto que la desestabilización de los coloides por neutralización de sus cargas es el principal objetivo de la coagulación, es necesario que el coagulante se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy breve, inferior al segundo. La utilización óptima del coagulante exige que la neutralización sea total antes que una parte del reactivo haya comenzado a precipitar.

Para la mezcla de los reactivos se utiliza, a veces, únicamente la turbulencia que tiene el agua residual, pero conviene disponer de estanques con agitación que permitan una mezcla rápida. Los tiempos de residencia en estos estanques con agitación que permitan una mezcla rápida. Los tiempos de residencia en estos estanques oscilan entre 0,5-3 minutos. El tratamiento de coagulación-floculación de manera discontinua (Bach) o continua depende del caudal y la concentración de contaminantes del RIL.

Cuando el RIL generado por día no supera los 25 m^3 y la concentración de sólidos es menor o igual a 5 por ciento, se aplica un tratamiento por etapas; mientras que si el caudal es superior a 1 m^3/h y la concentración de sólidos es menor o igual a 1,5 por ciento se aplica un tratamiento continuo. En una u otra modalidad, el tratamiento consiste en homogenizar el RIL en un estanque para minimizar las fluctuaciones de pH, de sólidos suspendidos, de sólidos sedimentables y de flujo. De esta manera se logra una mayor eficiencia en el tratamiento. El estanque de homogenización tiene un sistema de aireación para, no solo homogenizar sino que también, para evitar la sedimentación de sólidos en suspensión. El RIL homogeneizado se transfiere a otro estanque en el cual se realiza el tratamiento de coagulación-floculación mediante agitación de la mezcla con un regulador de pH, un coagulante y un polímero agregados

secuencialmente y según la estequiometria aconsejada por los ensayos previos de laboratorio. Se produce la precipitación de los flóculos que contienen los contaminantes. A continuación se filtra el contenido total del estanque mediante un filtro prensa para separar los flóculos del agua. Esta agua se puede verter al sistema de alcantarillado o se puede reusar. Los flóculos separados constituyen los lodos o fangos. La figura 7 es un esquema del tratamiento de coagulación-floculación.

Figura 7. **Esquema de una instalación de coagulación-floculación**



Fuente. VEGA DE KUYPER, Juan Carlos. *Manejo de residuos de la industria química y afín*. p. 105.

2.5.2.4. Decantación

Es la separación por la acción de la gravedad de sólidos en suspensión cuyas partículas son más pesadas que el agua. Es una de las operaciones más empleadas en el tratamiento de aguas residuales. Se emplea para la eliminación de arenas, flóculos formados en procesos de coagulación-floculación u originados en procesos biológicos. Se emplean equipos estáticos, en los cuales la decantación se realiza sin circulación de lodos o decantandores dinámicos en los cuales existe recirculación de lodos preformados.

2.5.2.5. Flotación con aire

Esta operación se utiliza cuando se trata de eliminar sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua o eliminar aceites y grasas. Este tratamiento consiste en formar burbujas en el agua residual sobre las cuales se fijan las partículas haciéndolas flotar a la superficie, desde la cual se retiran. La principal ventaja de la flotación respecto de la decantación es que la flotación requiere menos tiempo y permite una mayor carga de sólidos en el agua residual.

2.5.2.6. Neutralización

En ocasiones, los RIL requieren ajustar el pH antes de su vertimiento para cumplir con la normativa o previo a un tratamiento biológico. En estos casos, los reactivos más utilizados son: la soda cáustica, la cal, la caliza y el ácido sulfúrico como regulador de pH

La rápida reacción de la soda cáustica y su gran solubilidad en agua son los factores que deciden su utilización, pese a su mayor costo. La reacción de la cal con las sustancias ácidas puede producir productos insolubles que precipitan como:

Sulfatos, flourofosfatos de calcio, lo cual obliga a una decantación posterior.

La caliza se utiliza, fundamentalmente en forma de lecho, con un espesor superior a 1 metro, haciendo pasar la corriente de agua a neutralizar en forma ascendente. El ácido sulfúrico es el más utilizado para neutralizar RIL alcalinos.

Dado que el pH tiene una variación logarítmica, es preciso ajustarlo en varias etapas, si los valores son muy altos o muy bajos y así evitar errores.

2.5.3. Tratamiento secundario

También llamado tratamiento biológico: se emplea de forma masiva para eliminar la contaminación orgánica disuelta, la cual es costosa de eliminar por tratamientos físico-químicos. Suele aplicarse tras los anteriores. Consisten en la oxidación aerobia de la materia orgánica (en sus diversas variantes de fangos activados, lechos de partículas, lagunas de oxidación y otros sistemas) o su eliminación anaerobia en digestores cerrados. Ambos sistemas producen fangos en mayor o menor medida que, a su vez, deben ser tratados para su reducción, acondicionamiento y destino final.

2.5.3.1. Tratamiento aeróbico

En un tratamiento aeróbico la asimilación de la materia orgánica biodegradable contenida en un RIL ocurre en una forma que se puede representar por la siguiente ecuación.

Materia orgánica + nutrientes + O_2 + microorganismos $\longrightarrow$

Materia orgánica + nuevos microorganismos + CO_2 + H_2O + NH_3

Por lo tanto, para el tratamiento de estas aguas se debe considerar no solo la instalación depuradora, sino que también, la disposición de los lodos que se generan.

Los tratamientos aeróbicos pueden clasificar en tratamientos con biomasa suspendida y tratamientos con biomasa fija. Con biomasa suspendida operan aquellos que utilizan lodos activados y lagunas aireadas; con biomasa fija trabajan los biofiltros y los contactores.

Como todo ser vivo, los microorganismos son afectados por las condiciones ambientales, entre ellas: la temperatura (35-40 ˚C), que influye en la velocidad de crecimiento; el oxígeno disuelto, cuya concentración mínima debe ser 2 ppm; el pH, y su valor óptimo debe estar entre 6,5 y 8,5; la salinidad, cuyo límite máximo estudia el comportamiento de una siembra de microorganismos para saber cómo evoluciona su población o su biomasa en el tiempo. La presencia de compuestos tóxicos tales como: fenoles, cianuros, compuestos de cadmio, aceites, etc. afecta el crecimiento o lo anula.

El proceso se fundamenta en el empleo de microorganismos aeróbicos para descomponer la materia orgánica con formación de un lodo floculado. El tratamiento es similar a la autodepuración natural que se realiza por microorganismos aeróbicos y, por lo tanto, el control del oxígeno es de primordial importancia.

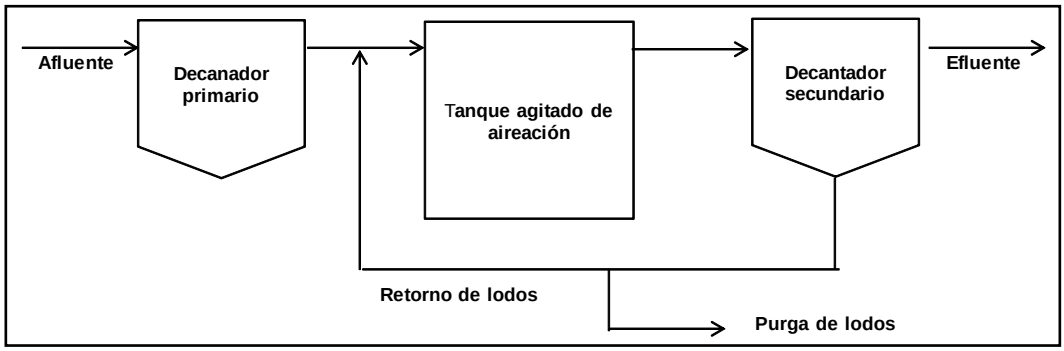
El tratamiento consiste en inducir el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos o lodos activados en un depósito aireado y agitado, alimentado con el RIL a purificar. La agitación tiene por finalidad evitar la sedimentación y homogenizar los lodos en el agua; en tanto que, la aireación sirve para hacer frente a los requerimientos de O_2 de las bacterias aeróbicas depuradoras.

Después de un tiempo de contacto suficiente, la mezcla acuosa se envía a un estanque decantador secundario, que actúa como clarificador, en el cual

se separa el agua depurada de los lodos. Un porcentaje de estos últimos se recirculan al estanque o depósito de aireación para mantener en el reactor biológico una adecuada concentración de bacterias.

El resto de los lodos o fangos se extrae y se evacúa para su tratamiento, si ello es posible. La figura 8 muestra un esquema de tratamiento aeróbico convencional de lodos activados.

Figura 8. **Esquema de una instalación para tratamiento aeróbico de lodos activados**



Fuente: VEGA DE KUYPER, Juan Carlos. *Manejo de residuos de la industria química y afín*. p.108.

Los RIL pueden contener una cantidad insuficiente de nutrientes para un desarrollo bacteriano apropiado, por lo que en estos casos se deben agregar los nutrientes deficitarios.

2.5.3.2. Tratamiento anaeróbico

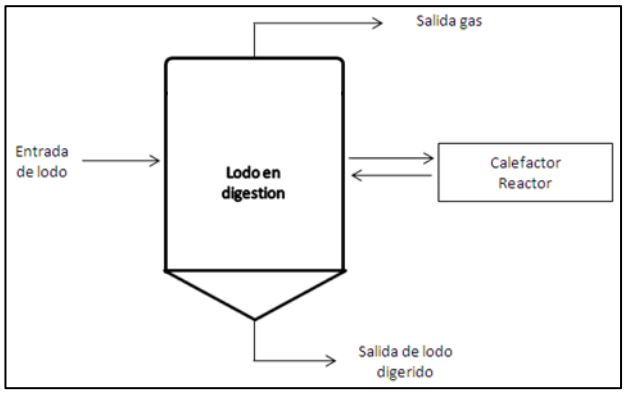
Para aguas industriales con residuos biodegradables que poseen una DQO superior a 5 kg/m³, como para lodos que provienen de la purga del

tratamiento aeróbico, el proceso anaeróbico ofrece claras ventajas económicas. En este proceso la descomposición de la materia orgánica por bacterias se realiza en ausencia de aire, ya que el oxígeno necesario para su desarrollo lo obtienen del propio material orgánico. La descomposición pasa por tres procesos: licuefacción, gasificación y mineralización; obteniéndose un producto sólido inerte y gases. En la licuefacción, un grupo de bacterias degrada la materia orgánica tal como: proteínas, carbohidratos y lípidos, en compuestos más simples: acetatos propionatos y butiratos; los cuales por acción de otro tipos de bacterias se transforman, en la etapa de gasificación, en metano.

Para la descomposición de la materia orgánica, los distintos tipos de bacteria que actúan en este complejo proceso deben tener condiciones adecuadas para su desarrollo. Así, la temperatura óptima para el desarrollo de las bacterias metano génica es 35 ˚C; EL pH para la digestión anaeróbica está comprendido entre 6,2 y 7,8. La presencia de compuestos como: amoniaco, sulfuro de hidrógeno (H_2S) y ácidos grasos, que forman en la descomposición de la materia orgánica, pueden llegar a ser inhibidores del desarrollo bacteriano en concentraciones elevadas y por lo tanto, deben ser controlados.

El equipo de un reactor anaeróbico convencional, en el cual la biomasa se encuentra sedimentada, se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Esquema de reactor anaeróbico convencional**



Fuente: VEGA DE KUPER, Juan Carlos. *Manejo de residuos de la industria química y afín*. p. 109.

2.5.4. Tratamiento terciario

Tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico: desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes).

2.5.4.1. Desinfección

El objetivo de la desinfección es matar, en forma selectiva si es preciso, los organismos vivos que trasmiten infecciones a través del agua. Para que se alcance dicho objetivo, las sustancias desinfectantes deben tener las siguientes propiedades:

- Destruir los organismos patógenos.
- Ser atóxico para el hombre y los animales, y no tener sabor desagradable.
- Tener bajo costo, ser seguros y fáciles de almacenar, transportar, aplicar y analizar.
- Ser persistente para evitar la recontaminación.

El desinfectante más simple es la luz natural, cuyo componente ultravioleta (UV) produce absorción de parte de los ácidos nucleídos con destrucción de la célula. Para que sea eficaz, el agua debe estar incolora y libre de sustancias que absorban la luz. La aplicación directa de luz UV hace más eficaz y controlable la desinfección, pero requiere de equipos caros y de alto consumo de energía eléctrica.

Los desinfectantes no naturales más empleados son el cloro y el ozono. El agua potable se desinfecta con cloro gaseoso como, así también, las aguas negras, a las que se aplica mediante cloradores. La disolución del cloro en agua implica su hidrolisis y luego su ionización.

$$Cl_2 + H2O \longrightarrow HClO + HCl$$

$$HClO \rightleftharpoons H+ + ClO-$$

Tanto el ácido hipocloroso (HClO) como el hipoclorito (ClO-) son bactericidas, pero el primero es más activo. Además, se prefiere el cloro al hipoclorito sódico por su menor precio, pese a su dificultad operacional.

La cloración no solo produce desinfección con destrucción de bacterias y algas sino que, también, reducción de la DQO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes, eliminación total o parcial de colores y olores por

oxidación de los compuestos que los generan y transformación de cianuros a CO_2 y N_2. Sin embargo, pueden formarse compuestos clorados como los cloro fenoles y cloraminas derivados del amoniaco (NH_2Cl, $NHCl_2$, NCl_3).

La acción bactericida del ozono (O_3) se debe a que este se transforma fácilmente en oxígeno molecular y atómico: el oxígeno atómico es el oxidante más energético que se conoce, y actúa con facilidad sobre los compuestos orgánicos.

2.5.4.2. Adsorción

Se debe a la propiedad que poseen los materiales adsorbentes de fijar sobre su superficie moléculas orgánicas como: fenoles, hidrocarburos y compuestos clorados. En esta forma se eliminan muchas sustancias responsables del color, olor y sabor de un líquido. El adsorbente más empleado es el carbón activo.

El carbón activo es un adsorbente de amplio espectro, sobre el cual se fijan, con mayor eficacia, las moléculas orgánicas de mayor peso molecular que aquellas de menor peso. Por eso el carbón activo es un tratamiento complementario al tratamiento biológico.

2.5.4.3. Intercambio iónico

Este tratamiento se basa en el intercambio de iones contaminantes del agua por otros no contaminantes presentes en una resina polimérica, la cual está dispuesta, generalmente, en una columna. El intercambio es adecuado para el tratamiento de RIL de industrias pequeñas y medianas: para descartar cromatos y cianuros; para recuperación de oro, descontaminación de mercurio;

para eliminación de antibióticos y de nutrientes contaminantes del agua tales como: nitrito, nitrato, amoniaco y fosfato. Los polímeros que intercambian cationes se denominan resinas catiónicas y los que intercambian aniones se llaman resinas aniónicas.

2.5.4.4. Ósmosis inversa

Este tratamiento tiene aplicación para la eliminación de impurezas iónicas tales como: nitratos, fosfatos, iones metálicos, coloides, compuestos orgánicos y también de microorganismos, se lleva a cabo con facilidad mediante membrana de acetato de celulosa y de poliamidas. Las de acetato de celulosa se emplean para caudales grandes por unidad de superficie, mientras que las de poliamidas son apropiadas para soportar caudales menores.

2.5.4.5. Electrodiálisis

Este tratamiento, también utiliza membranas semipermeables, pero en este caso no dejan pasar el agua y sí los iones. Consiste en disponer, en forma alternada, membranas semipermeables a los cationes con otras semipermeables a los aniones, de tal manera que entre ellas se van creando compartimentos que se llenan con el agua que se quiere purificar.

2.5.5. Tratamiento de lodos

El espesamiento es la primera etapa en la reducción de volumen de los lodos.

Puede realizarse por decantación o por flotación con aires disuelto. Tanto los lodos extraídos del tratamiento primario como los del secundario requieren,

salvo excepciones, un tratamiento de estabilización, porque contienen microorganismos y materia orgánica fermentables que da lugar a la descomposición y malos olores. En el caso de lodos líquidos, se emplea una dosis de cal cercana al 10 por ciento sobre la base de su contenido de materia seca, con lo cual se logra un pH superior a 11, deteniéndose la fermentación, porque disminuyen fuertemente las bacterias coliformes y los gérmenes patógenos. El principal efecto de este tratamiento es el desprendimiento de amoniaco. En el caso de lodos deshidratados la estabilización con cal viva es mucho más duradera, sin embargo, es mucho más difícil conseguir una buena mezcla entre esta biomasa sólida y la cal.

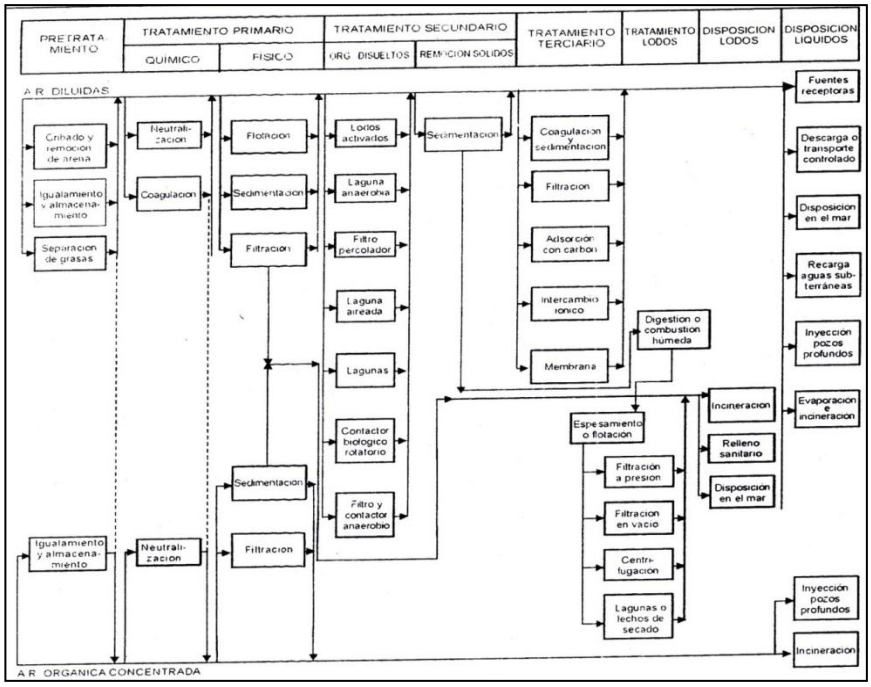
2.6. Plantas de tratamiento de aguas

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda.
- La calidad requerida del efluente.
- La disponibilidad del terreno.
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento.
- La confiabilidad del sistema de tratamiento.
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, Como guía general para la selección de procesos aplicables a la remoción de agentes de contaminantes de aguas residuales, se incluye en la figura 10 un diagrama de flujo del sistema de tratamiento de agua residual más usado.

Figura 10. **Proceso de tratamiento de aguas**



Fuente: ROMERO DE ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales.* p. 140.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, en la tabla I se describen las variables utilizadas para medir el tipo de contaminación de agua.

Tabla I. **Definición de las variables a utilizar**

No.	Variables	Dimensional	Descripción
1	Conductividad	Us/cm	Conductividad
2	DQO	mg/L	Demanda química de oxígeno
3	DBO	mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno
4	G.E.	g/cm^3	Gravedad específica
5	NO_3	mg/L	Nitratos
6	NO_2	mg/L	Nitritos
7	Olor	N/A	Índice de intensidad de olor
8	pH	Adimensional	Potencial de hidrogeno
9	ST	Adimensional	Sólidos totales
10	SST	mg/L	Sólidos suspendidos totales
11	SDT	mg/L	Sólidos disueltos totales
12	Temperatura	° C	Temperatura
13	Turbidez	Unidades	Turbidez

Fuente: Diseño metodológico, procedimiento.

Tabla II. **Análisis realizados al afluente y efluente antes y después del tratamiento del agua para su recirculación**

Análisis realizados	Afluente	Efluente
Conductividad		
DQO		
DBO		
Gravedad específica		
Nitratos		
Nitritos		
Olor		
Ph		
Color		
Sólidos totales		
Sólidos suspendidos totales		
Sólidos suspendidos totales		
Sólidos disueltos totales		
Temperatura		
Turbidez		

Fuente: Diseño metodológico, procedimiento.

Tabla III. **Análisis realizados al afluente-efluente antes y después del tratamiento del agua para su recirculación**

RESULTADO	Día	G.E.	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	PH	TEMPERATURA °C
Suma							
Valor medio							
n							
Desviación estándar							

Fuente: Diseño metodológico, procedimiento.

Tabla IV. **Caudal de tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo de tres líneas**

Área de trabajo	Volumen recolectado
Lixiviación línea 1	2,5 gpm
Lixiviación línea 2	2,5 gpm
Lixiviación línea 3	2,0 gpm
Desmoldeo línea 1	1,0 gpm
Desmoldeo línea 2	1,0 gpm
Desmoldeo línea 3	0,5 gpm
Total caudal recuperado	9,5 gpm

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del caudal en metros cúbicos por día para las líneas se realiza la siguiente operación.

$$Q = 9{,}5 \frac{\text{galones}}{\text{min}} \times \frac{3{,}75\ \text{l}}{1\ \text{galón}} \times \frac{60\ \text{min}}{1\ \text{h}} \times \frac{24\ \text{h}}{1\ \text{día}} \times 1 \frac{\text{m}^3}{1000\ \text{l}} = 51{,}3 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Cálculo del caudal para una línea en metros cúbicos por día

$$Q = 3{,}5 \frac{\text{galones}}{\text{min}} \times \frac{3{,}75\ \text{l}}{1\ \text{galón}} \times \frac{60\ \text{min}}{1\ \text{h}} \times \frac{24\ \text{h}}{1\ \text{día}} \times 1 \frac{\text{m}^3}{1000\ \text{l}} = 18{,}9 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: manufactura

- Industria: guantes

Proceso: diseño de un sistema de recirculación de agua para el área de desmoldeo y los tanques de lixiviación (*leaching*).

Etapa del proceso: evaluación experimental de un diseño de recirculación de agua en el área de desmoldeo y tanques de lixiviación (leaching).

Ubicación: el diseño experimental se llevará a cabo en la industria de fabricación de guantes de látex.

Clima: la recolección de las muestras en el área de desmoldeo y tanques de lixiviación (*leaching*) a temperaturas entre 30 ˚C a 50 ˚C.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Ervin Noé Aguilar
Asesor: Ing. Qco. Nery Estuardo Tejeda Alegría
Equipo de investigadores para análisis Fisicoquímicos
Personal de planta

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

En el presente trabajo de investigación se hizo uso del equipo y cristalería, materia prima y reactivos, para cumplir con los objetivos propuestos.

3.4.1. Equipo a utilizar

- Computadora
- Tanque de inmersión de lixiviación (*leaching*)
- Tanque de aireación
- Tanque dosificador de coagulante-floculante
- Tanque de sedimentación
- Filtro de grava
- Termómetro de mercurio de -20 a 150 grados centígrados.
- Hidrómetro rango: de 0,800 a 1,000 y 1,000 a 1,200 g/cm^3
- Potenciómetro marca Hanna Instruments modelo PH 213
- Balanza de humedad marca Adam
- Bombas optiflo ¾ Hp
- Compresor Polar air 90-145 psi
- Tubería y accesorios
- Agitador
- Papel filtro Whatman No.1
- Rotámetro

3.4.2. Cristalería

- Agitador magnético de teflón de 2 pulgadas
- Cápsulas de aluminio.
- Beakers de 500 mililitros
- Beakers de 250 mililitros
- Beakers de 100 mililitros
- Bureta de 50 mililitros.
- Espátulas
- Gotero
- Pinzas de soporte.
- Pipetas 1, 5, 10, 25 mililitros
- Probeta de 100 mililitros
- Probeta 250 mililitros
- Varilla de vidrio

3.4.3. Reactivos

- Ácido nítrico (HNO_3)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Hipoclorito de sodio
- Sulfato de aluminio $Al_2 (SO_4)_3$

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

A continuación se describen las diferentes pruebas realizadas al agua contaminada y al agua tratada.

3.5.1. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno

El análisis tiene por objetivo determinar la cantidad de oxígeno que es utilizado por microorganismos aerobios para descomponer, en condiciones bien determinadas, las materias orgánicas contenidas en un agua.

La DBO_5 se define como la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos, después de incubación durante 5 días, a 20 ˚ C y en la oscuridad.

3.5.2. Análisis de la demanda química de oxígeno

La muestra se somete a un calentamiento con reflujo en presencia ácido sulfúrico y una cantidad conocida de dicromato potásico. El exceso de dicromato se valora con sal ferrosa. La cantidad de materia oxidable es proporcional al dicromato potásico consumido.

La DBO y DQO se realizará en un laboratorio particular por no contar con el equipo correspondiente en las instalaciones de la planta.

3.5.3. Índice de biodegradabilidad

Es generado por la relación entre DQO/DBO, que representa la demanda química de oxígeno/demanda bioquímica de oxígeno, esta relación

son dos conceptos estrechamente vinculados en el tratamiento de aguas residuales, se sabe que gran parte de las sustancia que transporta el agua, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica, la cual en una importante fracción es biodegradable.

$$IB = \frac{DQO}{DBO} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

3.5.4. Medición de la gravedad específica

La gravedad específica o densidad relativa de un material se define como el cociente de su densidad entre la densidad del agua, esta cantidad no tiene unidades es simplemente un número. Se mide con un hidrómetro.

3.5.5. Determinación de nitratos y nitritos

Son las sales del ácido nitroso HNO_2,. Son un estado de oxidación intermedia del nitrógeno.

Se usan los nitritos como protectores contra la corrosión del agua en muchos procesos industriales, en las aguas naturales.

La concentración de NO_2- se puede utilizar como indicador de contaminación bacteriológica pues son las bacterias las responsables de la reducción del nitrato o nítrico o incluso a N_2 gas.

La concentración de nitratos y nitritos se realizó en laboratorio particular por no contar con equipo correspondiente en las instalaciones de la planta.

3.5.6. Determinación del olor

Cuando la muestra de agua presenta olor siempre es signo de contaminación o de la presencia de materia orgánica en descomposición. Es más frecuente en aguas residuales o de vertidos.

Las aguas potables no deben poseer ningún olor, salvo el característico del desinfectante (cloro), dentro de unos límites tolerables.

No deben tener olor ni en el momento de la toma de muestra, ni transcurridos 10 días en un recipiente cerrado a una temperatura de 26 ºC.

Para determinar el orden de magnitud de la intensidad de olor, la dilución de prueba debe hacerse transfiriendo con pipeta 100 cm^3, 50 cm^3, 25 cm^3, 12.5 cm^3 de muestra en un matraz de los ya especificados. Diluir hasta un volumen total de 200 cm^3 con agua desmineralizada a 313 K (40 °C). Para esta dilución preliminar, el agua debe ser agregada de una probeta. No permitir que la pipeta ni la solución tengan contacto con el cuello del matraz. Tapar y llevar a calentamiento a 313 K (40 °C) en un baño de agua. Evitar el calentamiento directo o prolongado.

- Índice de intensidad de olor: el número de veces en que la muestra original es bipartida por adición de agua libre de olor, para obtener el mínimo olor perceptible.
- Método: ASTM - D 1292: Stándard Test Method for Odor in Wáter

3.5.7. Determinación del pH

Mide la alcalinidad o acidez del agua (escala) Se recomienda la medida *in situ*.

pH = Valores de 0-14, pH 0-7 ácidas, pH 7-14 básicas

En general, el pH de las aguas no presenta grandes variaciones y está alrededor de la neutralidad. El problema está en las aguas residuales o en los vertidos industriales que sí pueden dar valores extremos de pH.

- Método oficial**:** usando el potenciómetro, electrodo de membrana de vidrio selectiva a iones hidrógeno. Se calibra el aparato y se introduce en la muestra; se suele agitar durante un tiempo y se mide cuando se estabiliza la lectura.

Se suele señalar la temperatura a la que se mide, pues influye en el valor del pH.

3.5.8. Determinación de sólidos totales

Es el residuo seco que permanece tras someter un volumen conocido de muestra a evaporación (103-105 ºC hasta que se obtiene un peso constante).

$$ST = \frac{(\text{Peso inicial-peso final}) \times 1000}{\text{Volumen de la muestra (ml)}} \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

3.5.9. Determinación de sólidos suspendidos totales

Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, por ejemplo, la filtración al vacío, o la centrifugación del líquido.

$$\text{Mg de sólidos suspendidos totales/l} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volumen de la muestra, ml}} \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

A= peso de filtro + residuo seco, mg, y

B= peso del filtro, mg

3.5.10. Determinación de sólidos disueltos totales

$$SDT = ST - SST \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde:

SDT = sólidos disueltos totales, en mg/l

ST = sólidos totales, en mg/l

SST = sólidos suspendidos totales, en mg/l

3.5.11. Determinación de la temperatura

La medición debe hacerse *in situ*. En una zona representativa de la masa de agua que se va a analizar. Se suele medir en zonas de corriente (no en aguas estancadas).

La temperatura influye en la solubilidad de sales y gases y así condiciona la medida de pH y conductividad. La solubilidad de sales suele aumentar con la temperatura y la de los gases disminuye cuando la temperatura aumenta.

La temperatura condiciona también el desarrollo de ciertas algas. El agua de consumo humano se recomienda entre 12 ºC-25 ºC aunque no existen límites de temperatura.

Para vertidos industriales se recomienda una temperatura máxima de 40 ºC (en algunos casos hasta 50 ºC).

La medida en superficie se realiza con un termómetro graduado en décimas de grado.

3.5.12. Determinación de la turbidez

Se debe a la presencia de partículas de materia en suspensión o dispersas (arcillas, limos, partículas de sílice, materia orgánica)

Algunas de estas partículas se pueden eliminar por decantación o centrifugación, otras no.

Las aguas turbias son rechazadas por el consumidor, aunque reúnan condiciones sanitarias aceptables. Deben ser transparentes.

- Unidad de medida: UNT (NTU). Unidad nefelométrica de turbidez.

La reglamentación española fija como límite máximo 6 UNT y como índice de calidad 1 UNT.

Se analizan antes y después del tratamiento. Antes el análisis previo determina el coagulante que necesita para clarificarlos y es que la desinfección de aguas turbias mediante color es menos eficiente que en aguas transparentes, pues las partículas en suspensión engloban bacterias y virus que el cloro no puede destruir.

- Método oficial**:** el de formacina o nefelometría.

Se compara la medida de la muestra en unas condiciones determinadas con la medida obtenida por unas disoluciones patrón en las mismas condiciones.

- El aparato de medida es fotoeléctrico y se denomina turbidímetro.
- Sustancia patrón es un polímero: formacina

.

Se prepara una disolución madre de formacina que tiene 400 UNT y solo se conserva un mes, a partir de ella se preparan diluciones (0-40 UNT).

Con ellas se traza una recta de calibrado del aparato y luego se mide la muestra.

Estas diluciones patrón son estables una semana, aunque es mejor utilizarlas recién preparadas. También existen patrones ya preparados para calibrar el turbidímetro que simplifican la medida.

La medición de la turbidez se realiza en laboratorio particular, por no contar con el equipo correspondiente en la planta.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos y la información obtenida de las pruebas realizadas para determinar las variables propuestas fue almacenada en tablas.

3.6.1. Técnica de muestreo

Estas varían de acuerdo al análisis específico; algunas muestras fueron tomadas y analizadas en manufacturas Vista al Mar, otras fueron enviadas al laboratorio particular.

3.6.1.1. Equipo de muestreo

Las muestras se recogieron en cubetas plásticas con capacidad de 20 litros, el volumen que se agregó en la cubeta fue de 6 litros, de ello se tomaron 3 litros para realizar las diluciones con la dosificación respectiva, y un litro para hacer los análisis correspondientes.

Las muestras que se enviaron a laboratorio particular fueron almacenadas a temperatura ambiente en un recipiente plástico con capacidad de 3,75 litros para determinar DBO, DQO, turbidez, nitratos, nitritos.

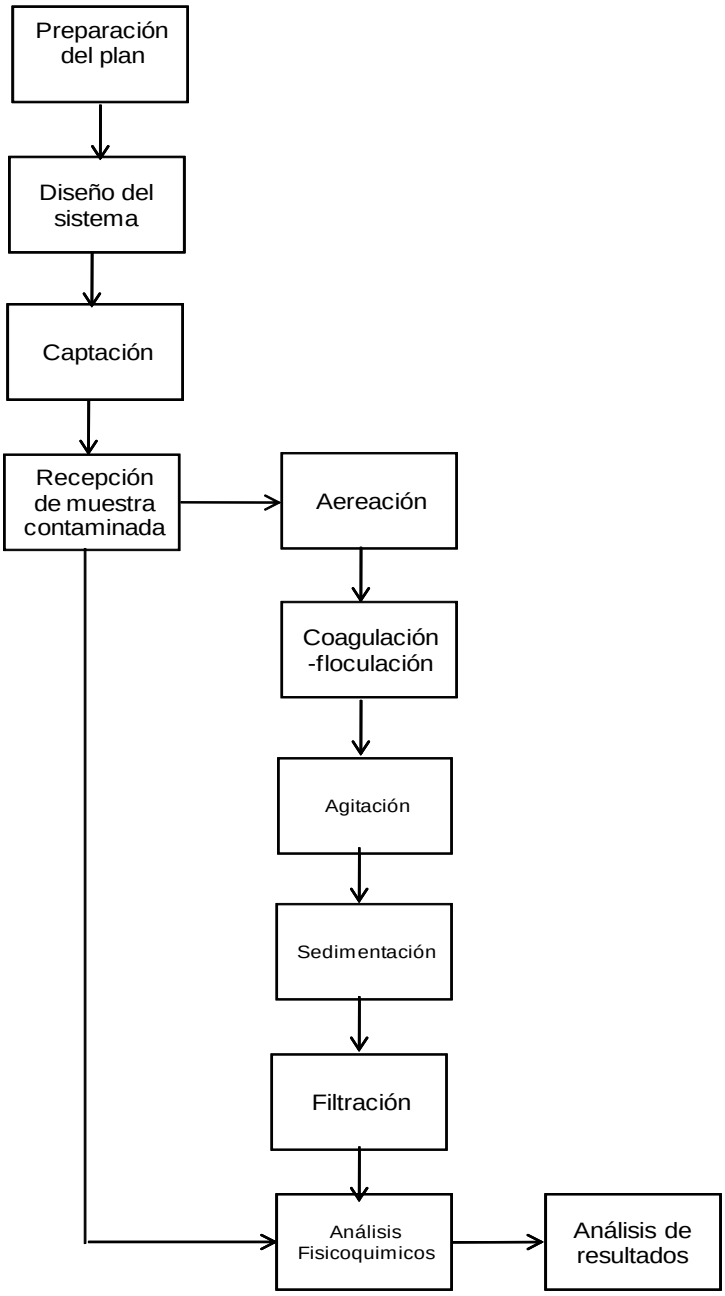
3.6.1.2. Periodo de muestreo

Las muestras se tomaron en el sitio donde se reúnen los flujos de agua de desmolde y tanques de lixiviación (*leaching*), cada ocho horas durante un periodo de veinticuatro horas, por seis días continuos de lunes a sábado.

3.6.1.3. Número ideal de muestras

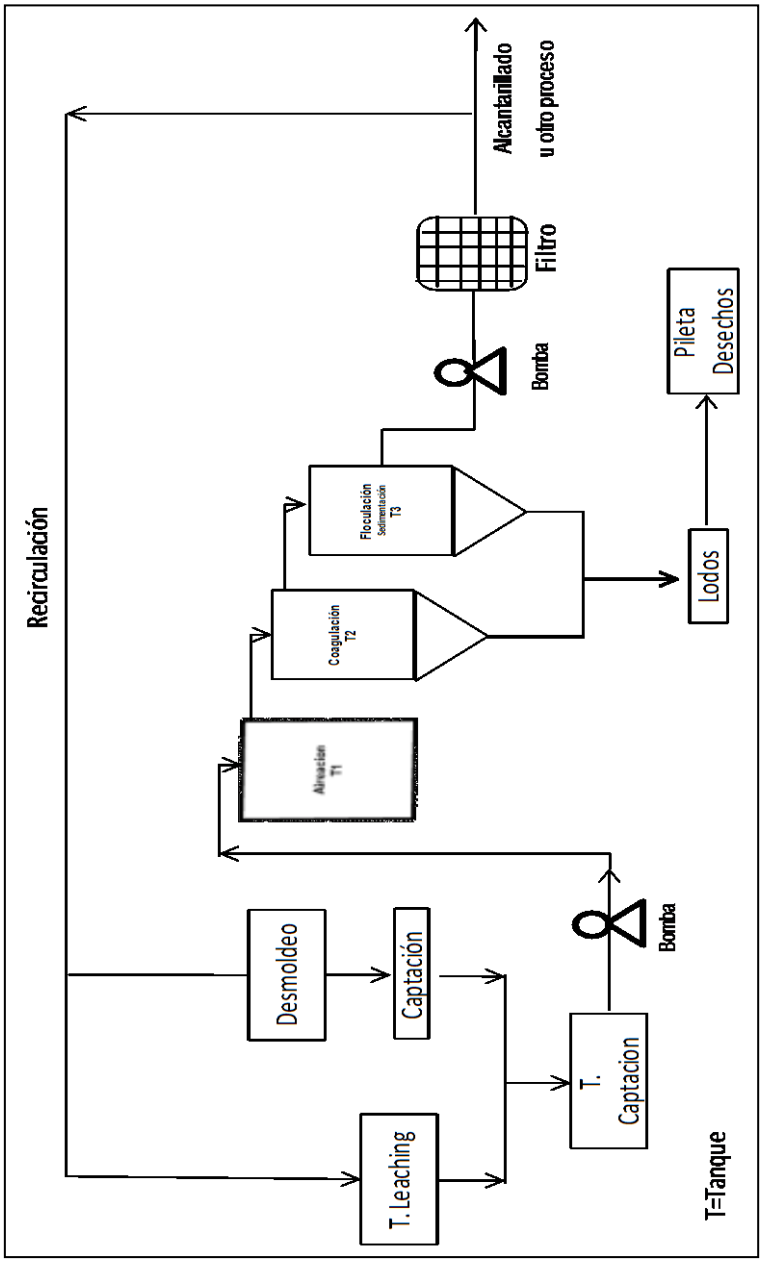
Para esta investigación se proponen 18 muestras, con un intervalo de confianza de 95 por ciento, de cada muestra se realizaran 6 muestras parciales para la dosificación. De la tabla t-student se obtiene t= ±1,740.

Figura 11. **Procedimiento para el tratamiento del agua y la toma de muestras y análisis de los resultados**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Diseño de un sistema de recirculación de agua para reusarla en el proceso de fabricación de guantes**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información del estudio realizado se da a conocer por medio de tablas, gráficas y fotos a fin de que contribuya a una posible solución del problema planteado.

Tabla V. **Índice de biodegradabilidad inicial**

DQO Inicial (mg/l)	DBO Inicial (mg/l)	Índice biodegradabilidad inicial

Fuente: Diseño metodológico.

Tabla VI. **Índice de biodegradabilidad final**

DQO Final (mg/l)	DBO Final (mg/l)	Índice biodegradabilidad final

Fuente: Diseño metodológico.

Tabla VII. **Preparación de las concentraciones del reactivo para la coagulación con sulfato de aluminio**

Concentración dosificante	Volumen de Muestra	Tiempo de sedimentación	pH
50 ppm	500 ml		
100 ppm			
150 ppm			
200 ppm			
250 ppm			
300 ppm			

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Análisis que emplea técnicas estadísticas para interpretar datos, ya sea para ayudar en la toma de decisiones.

3.8.1. Media aritmética

Es el valor característico de una serie de datos cuantitativos objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado.

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_i = \frac{a_1 + a_2 + \cdots + a_n}{n}$$

Donde:

$\overline{x}$ = media aritmética
n = número total de datos
xi = los datos

3.8.2. Desviación estándar

Medida de dispersión para variables de razón y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva. También se le llama media muestral.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}$$

Donde:

σ = desviación estándar

$\overline{x}$ = media aritmética

N = número total de datos

Xi = los datos

3.8.3. Tabla t-Student para n<30

Distribución de probabilidad presentada en el anexo, en la tabla se determinan en la primera columna los grados de libertad hace intersección con el intervalo de confianza para obtener un valor critico correspondiente.

3.8.3.1. Estadístico

Medida cuantitativa utilizada para el rechazo o la aprobación de la hipótesis nula.

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu)}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

T = estadístico

$\overline{x}$ = media aritmética

μ = media esperada

s = desviación estándar

n = número de datos

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis realizados al agua contaminada y al agua tratada.

Tabla VIII. **Análisis realizados por día al agua contaminada**

RESULTADO	Día	G.E.	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	PH	TEMPERATURA °C
1	Lunes	1,002	4 000	160	3 840	7,50	37
2	Lunes	1,002	4 600	140	4 460	7,66	46
3	Lunes	1,002	5 400	130	5 270	7,70	36
4	Martes	1,003	5 400	145	5 255	7,58	38
5	Martes	1,002	7 200	145	7 055	7,60	30
6	Martes	1,002	7 400	140	7 290	7,50	36
7	Miércoles	1,003	6 400	140	6 290	7,67	38
8	Miércoles	1,003	7 200	170	7 030	7,65	35
9	Miércoles	1,003	7 200	130	7 090	7,78	30
10	Jueves	1,003	7 800	170	7 630	7,70	37
11	Jueves	1,003	6 800	120	6 680	7,63	39
12	Jueves	1,002	6 600	130	6 470	7,65	38
13	Viernes	1,002	7 000	130	6 870	7,60	36
14	Viernes	1,002	6 800	130	6 670	7,58	38
15	Viernes	1,002	6 200	230	6 200	7,59	42
16	Sábado	1,002	6 600	140	6 460	7,69	41
17	Sábado	1,002	6 200	100	6 100	7,70	40
Suma		17,04	108 800	2 450	106 660	129,78	637
Valor medio		1,0024	6 400	144,12	6 274	7,63	7,50
n		17	17	17	17	17	17
Desviación estándar		0,000493	1 022	28,02	1 024	0,0763	3,90

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Análisis realizados al agua tratada**

Resultado	G.E.	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	PH	TEMPERATURA °C
1	1,004	7 200	75	7 090	6,60	37
2	1,004	8 600	70	8 530	6,60	35
3	1,004	8 200	60	8 070	6,22	34
4	1,004	8 200	60	8 140	6,52	38
5	1,003	8 300	75	8 225	6,55	40
6	1,004	8 100	80	8 020	6,62	39
7	1,004	8 150	70	8 080	6,58	38
8	1,003	7 600	60	6 540	6,53	37
9	1,003	7 700	65	7 635	6,55	35
10	1,003	7 800	60	7 740	6,57	36
11	1,004	7 850	70	7 780	6,48	36
12	1,003	7 500	80	7 420	6,50	37
13	1,004	7 400	60	7 340	6,68	38
14	1,004	7 800	70	7 730	6,57	39
15	1,004	8 200	75	8 125	6,55	40
16	1,004	8 200	80	8 120	6,60	39
17	1,004	8 200	80	8 120	6,49	41
Suma	17,063	135 000	1.190	132 705	111,21	639
Valor medio	1,0037	7 941	70	7 806	6.54	37,60
n	17	17	17	17	17	17
Desviacion estandar	0,00047	373	8	489	0,10	2,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Análisis realizados al afluente y efluente**

Analisis realizados	Afluente	Efluente	Dimensional
Conductividad	6 865	8 792	Us/cm @25°C
Demanda bioquimica de oxígeno	1 800	960	mg/L -O2
Demanda quimica de oxígeno	2 085	1 342	mg/L -O2
Gravedad especifica	1,0023	1,004	g/cm
Nitratos	2 523	4 338	mg/L -NO3-
Nitritos	6,80	532	mg/L -NO2-
Olor	3	1	-------
pH	7,80	6,54	-------
Solidos totales	6 400	7 941	mg/L
Solidos suspendidos totales	170	70	mg/L
Solidos disueltos totales	6 274	7 806	mg/L
Temperatura	37,6	38	°C
Turbidez	24	7	Unt

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI**.** **Índice de biodegradabilidad del agua contaminada**

DBO mg/L -O2	DQO mg/L -O2	Índice Biodegradabilidad
1 800	2 085	1,2

Fuente: elaboración propia, con base al análisis realizado en laboratorio particular.

Tabla XII. **Índice de biodegradabilidad del agua tratada con sulfato de aluminio**

DBO mg/L -O2	DQO mg/L -O2	Índice Biodegradabilidad
960	1 342	1,4

Fuente: elaboración propia, con base al análisis realizado en laboratorio particular

Resultados de dosificación de la concentración de sulfato de aluminio que se agrega a el agua contaminada.

Tabla XIII. **Dosificación de la muestra No. 1**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,56
100		3 horas	7,26
150		3 horas	6,99
200		3 horas	6,81
250		3 horas	6,33
300		3 horas	6,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Dosificación de la muestra No. 2**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,15
100		3 horas	6,61
150		3 horas	6,50
200		3 horas	6,36
250		3 horas	6,20
300		3 horas	6,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Dosificación de la muestra No. 3**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,50
100		3 horas	7,29
150		3 horas	7,01
200		3 horas	6,48
250		3 horas	6,37
300		3 horas	5,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Dosificación de la muestra No. 4**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,34
100		3 horas	7,18
150		3 horas	6,94
200		3 horas	6,78
250		3 horas	6,57
300		3 horas	6,42

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Dosificación de la muestra No. 5**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,40
100		3 horas	7,15
150		3 horas	6,92
200		3 horas	6,58
250		3 horas	6.,50
300		3 horas	6,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Dosificación de la muestra No. 6**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,42
100		3 horas	7,16
150		3 horas	6,92
200		3 horas	6,70
250		3 horas	6,39
300		3 horas	6,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Dosificación de la muestra No. 7**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,50
100		3 horas	7,10
150		3 horas	6,71
200		3 horas	6,58
250		3 horas	6,12
300		3 horas	6,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Dosificación de la muestra No. 8**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,37
100		3 horas	7,11
150		3 horas	6,97
200		3 horas	6,87
250		3 horas	6,56
300		3 horas	6,31

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Dosificación de la muestra No. 9**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,57
100		3 horas	7,15
150		3 horas	6,89
200		3 horas	6,69
250		3 horas	6,57
300		3 horas	6,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Dosificación de la muestra No. 10**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,34
100		3 horas	7,11
150		3 horas	6,80
200		3 horas	6,62
250		3 horas	6,47
300		3 horas	6,28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Dosificación de la muestra No. 11**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,43
100		3 horas	7,08
150		3 horas	6,81
200		3 horas	6,57
250		3 horas	6,45
300		3 horas	6,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Dosificación de la muestra No. 12**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,39
100		3 horas	7,03
150		3 horas	6,79
200		3 horas	6,60
250		3 horas	6,49
300		3 horas	6,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Dosificación de la muestra No. 13**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,43
100		3 horas	7,11
150		3 horas	6,87
200		3 horas	6,77
250		3 horas	6,62
300		3 horas	6,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Dosificación de la muestra No. 14**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,3
100		3 horas	6,92
150		3 horas	6,76
200		3 horas	6,57
250		3 horas	6,38
300		3 horas	6,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Dosificación de la muestra No. 15**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,38
100		3 horas	7,05
150		3 horas	6,93
200		3 horas	6,72
250		3 horas	6,56
300		3 horas	6,41

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Dosificación de la muestra No. 16**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,44
100		3 horas	7,12
150		3 horas	7,95
200		3 horas	6,76
250		3 horas	6,61
300		3 horas	6,47

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Dosificación de la muestra No. 17**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
50	500	3 horas	7,50
100		3 horas	7,14
150		3 horas	6,90
200		3 horas	6,68
250		3 horas	6,54
300		3 horas	6,37

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Dosificación óptima a un pH promedio**

Concentración dosificante (ppm)	Volumen muestra (ml)	Tiempo sedimentación	pH
250	500	3 horas	6.45

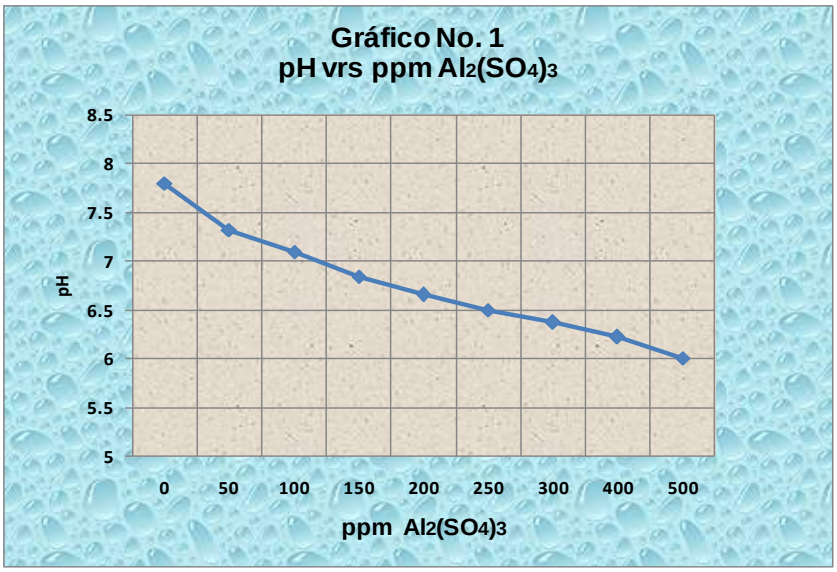
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Análisis realizados a muestras a diferentes concentraciones con sulfato de aluminio**

ppm	0	50	100	150	200	250	300	400	500
PH	7,80	7,32	7,09	6,84	6,65	6,49	6,37	6,22	6,00
ST	6 600	6 680	6 880	6 600	6 800	6 800	7 400	7 200	7 400
SST	170	120	110	90	80	70	70	60	60
SDT	6 430	6 560	6 770	6 530	6 720	6 730	7 330	7 140	7 340

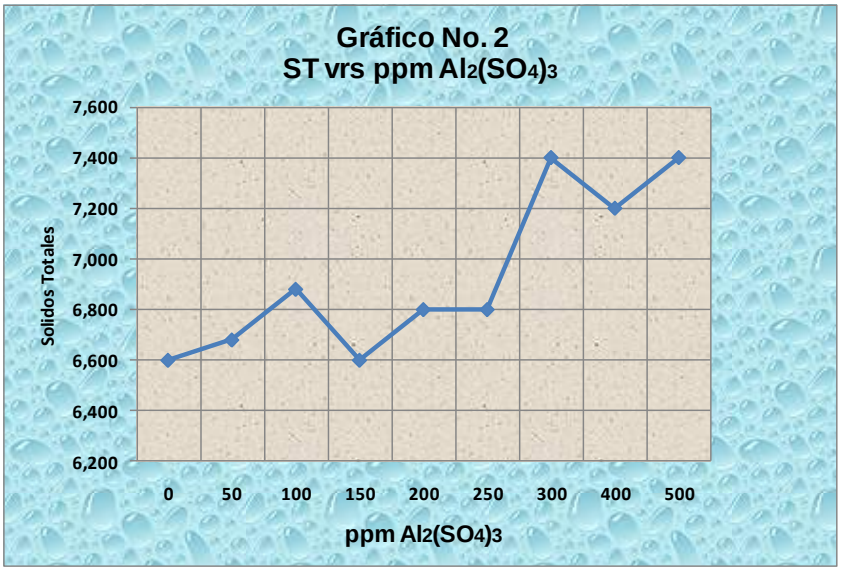
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Cómo influye en el pH la aplicación de sulfato de aluminio**



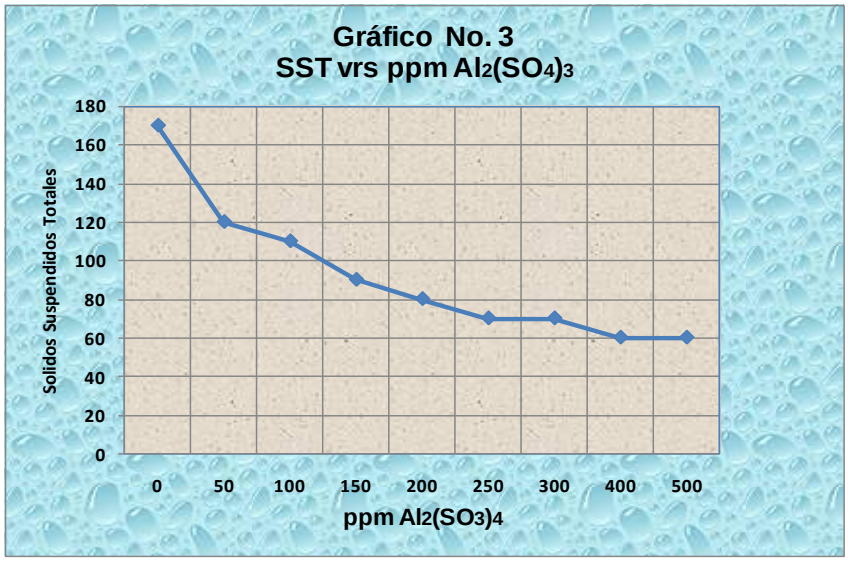
Fuente: elaboración propia

Figura 14. **Cómo influye el sulfato de aluminio en el aumento de sólidos totales**



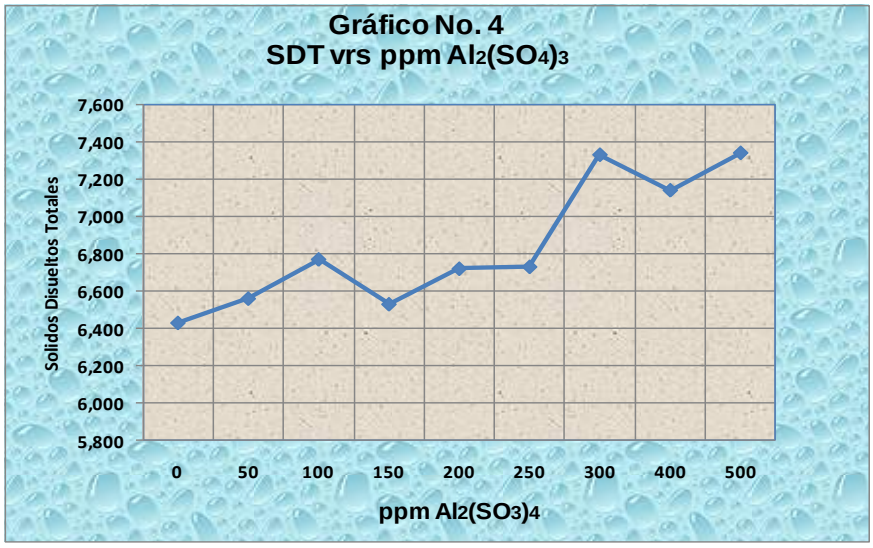
Fuente: elaboración propia

Figura 15. **Cómo influye la concentración de sulfato de aluminio en la disminución de sólidos suspendidos totales**



Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Cómo influye la concentración de sulfato de aluminio en el aumento de sólidos disueltos totales**



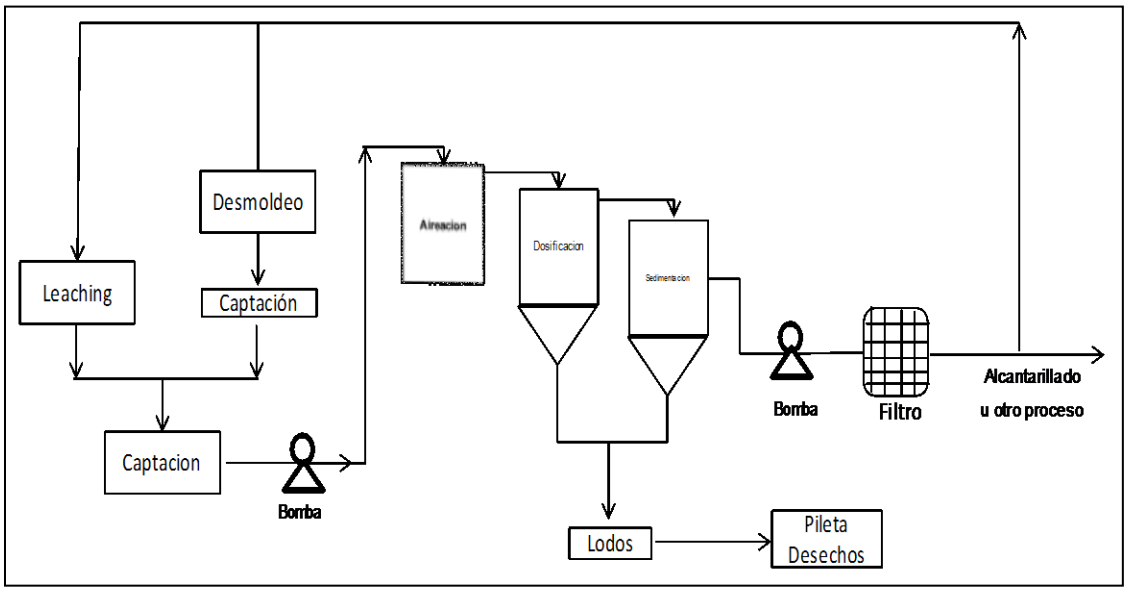
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Dosificación con coagulante sulfato de aluminio de derecha a izquierda 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm y agua contaminada**

Fuente: Laboratorio Manufacturas Vista al Mar, S. A.

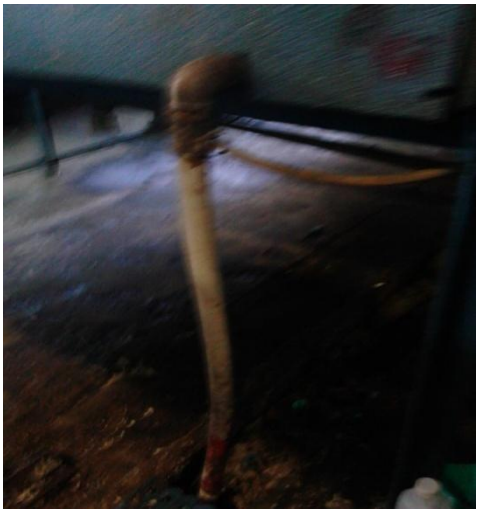
Se preparó el diseño para la captación del agua proveniente de los tanques de lixiviación (*leaching*) y del área de desmoldeo.

Figura 18. **Diseño del sistema de recirculación de agua en tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Captación de agua del tanque de lixiviación (*leaching*)**



Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar, S. A.

Figura 20. **Captación del agua en el área de desmoldeo**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar, S. A.

Figura 21. **Tanque de aireación para la eliminación de grasas y jabones contenida en el agua contaminada**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar.

Figura 22. **Tanque de coagulación-floculación con sulfato de aluminio**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar, S.A.

Figura 23. **Tanque de sedimentación**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar.

Figura 24. **Flóculo sedimentado**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar.

Figura 25. **Tanques de aireación, coagulación-floculación, sedimentación**

Fuente: empresa Manufacturas Vista al Mar.

Tabla XXXII. **Porcentaje de reducción del consumo de agua al implementar un sistema de recirculación de agua en una línea**

Consumo de agua mensual	Días Trabajados	Consumo Metros cúbicos	Recirculación en una línea	Porcentaje de reducción del consumo
Mes 1	25	1 962	472,5	20,99
Mes 2	28	2 291	529,2	18,67
Mes 3	31	2 360	585	22,75
Promedio	28	2 552,33	528,90	20,80

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El sulfato de aluminio es un compuesto químico que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de la sedimentación, esta separación es el resultado de la desestabilización de las cargas eléctricas que existen en el agua residual a tratar, este fenómeno se ve favorecido, principalmente por la concentración del coagulante adicionado, el tiempo de contacto proporcionado, la velocidad de mezclado y el pH en que se encuentra el agua residual al momento de adicionar el coagulante; otro factor que afecta en el rendimiento de un coagulante es la temperatura.

Se brinda la información de los análisis de laboratorio fisicoquímicos del agua contaminada y del agua tratada con sulfato de aluminio, posteriormente tratada por filtración, coagulación-floculación sedimentación.

En las tablas VIII a la XII se muestran los valores de los análisis correspondientes en la cual se determinó que la demanda bioquímica y demanda química de oxígeno disminuyeron en 46,67 por ciento y 35,64 por ciento obteniéndose un índice de biodegradabilidad de 1,4, también disminuyó el porcentaje de sólidos suspendidos en 51,43 por ciento y la turbidez en 70,83 por ciento no así la cantidad de nitratos y nitritos aumentó; en cuanto a los sólidos totales se obtuvo un aumento de 25,78 por ciento, sólidos disueltos totales aumentó un 24,42 por ciento y la conductividad aumento un 28,07 por ciento.

De las tablas XIII a la XXXI se presenta la concentración del coagulante dosificarte utilizadas para la coagulación del agua residual, utilizando el

coagulante inorgánico sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$), se realizó un estudio para determinar la reducción de los parámetros encontrados en el agua contaminada con una solución electrolítica. En general se estableció como concentración inicial de sulfato de aluminio 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm, 250 ppm y 300 ppm como concentración final de sulfato de aluminio, en la cual se determinó la concentración de 250 ppm como la concentración más recomendada por su efecto coagulante clarificante y por la evaluación del costo de coagulante seleccionado. En la figura 13 se demuestra cómo influye la concentración del coagulante utilizado en función del pH; en las figuras 14 y 16 se demuestra cómo aumenta los parámetros de sólidos totales y sólidos disueltos totales al aumentar la concentración del sulfato de aluminio; en la figura 15, se muestra cómo disminuyen los sólidos suspendidos totales en función del coagulante utilizado, por último, en la figura 17 se presenta cómo se ve el agua tratada a diferentes concentraciones de sulfato de aluminio.

En las figuras de las 18 a la 27 se demuestra cómo se evaluó el diseño experimental para la captación del agua proveniente de los tanques de lixiviación (*leaching*) y del área de desmoldeo, se instalaron totes plásticos para captar el agua que cae del área de desmoldeo, se instaló tubería de la caída de los tanque de lixiviación (*leaching*) para unir el agua captada, se bombeó hacia el tanque de aireación y por gravedad se trasladó al tanque de coagulación-floculación, sedimentación, y luego realizaron los análisis fisicoquímicos correspondientes.

La evaluación se realizó comparando los análisis fisicoquímicos del agua contaminada captada y del agua tratada con sulfato de aluminio, las apreciaciones realizadas sobre este procedimiento demostraron un aumento en la concentración de sólidos disueltos y una disminución en la turbidez, lo que

representa que el agua si se clarifica, pero se incrementan los sólidos en el agua.

Se evaluó el porcentaje de reducción del consumo de agua con la recirculación del agua en los tanques de lixiviación (*leaching*) y en el área de desmoldeo de acuerdo a la información obtenida del consumo de agua en tres meses, se promedió el consumo mensual del gasto de agua en tres líneas, clorinación y en otras áreas, y se determinó una reducción de un 20,80 por ciento de ahorro de agua al recircular el agua en una línea.

Por último, se evaluó la aceptación o el rechazo de la hipótesis en función de la reducción del contenido de sólidos disueltos totales del agua contaminada proveniente de los tanques de lixiviación (*leaching*) y del área de desmoldeo por el método de coagulación-floculación, sedimentación, determinándose el rechazo de la hipótesis nula y confirmándose la hipótesis alternativa.

CONCLUSIONES

1. Después de comparar los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua contaminada y del agua tratada, se determinó que el agua no puede ser tratada por el proceso de coagulación-floculación, porque presentó un aumento en los parámetros de conductividad, sólidos disueltos totales, nitratos y nitritos.

2. Al tratar el agua contaminada con sulfato de aluminio se obtuvo un aumento en un 24,42 por ciento de la concentración de sólidos disueltos.

3. El diseño experimental determinó la disminución en un 70,83 por ciento la turbidez del agua contaminada, lo que significa que el coagulante seleccionado sulfato de aluminio, puede ser utilizado como clarificador del agua.

4. Por las características del agua residual proveniente de los tanques de lixiviación (*leaching*) y área de desmoldeo, y el rechazo de la hipótesis nula, es indispensable que dicho tratamiento sea complementado con un tratamiento secundario.

5. Un incremento del coagulante dosificante disminuye el pH en un rango más amplio, generando así un incremento en el gasto de coagulante y un incremento en el gasto de una sal para subir el pH incrementando la cantidad de sólidos disueltos.

6. El diseño del proceso de recirculación del agua cumple con lo que se pretende trabajar, no así en la reducción de la contaminación del agua, la cual no reduce todos los parámetros fisicoquímicos planteados.

7. La recirculación de agua en una sola línea beneficia en un 20,83 por ciento en la reducción del consumo de agua en toda la planta.

RECOMENDACIONES

1. Es importante que dicho tratamiento sea complementado con un tratamiento secundario, como un tratamiento biológico, tales como: fangos activos, intercambio iónico o por ósmosis inversa.

2. Utilizar el sulfato de aluminio en una solución electrolítica solo como clarificador del agua, ya que al agregar sales al agua se produce un incremento de sólidos disueltos.

3. Es necesario la elaboración de una planta de tratamiento de aguas completa para que se pueda reutilizar el 70 por ciento de consumo de agua en toda la planta.

4. Continuar con el estudio del tratamiento de aguas contaminadas por sales electrolíticas para determinar el comportamiento del agua para un posterior tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARRIAGA RUIZ, Víctor Manuel. *Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1999. 67 p.

2. GONZÁLEZ SERRANO, Luis Fernando. *Evaluación a nivel de laboratorio de la eficiencia de dos coagulantes para tratamiento de aguas residuales provenientes de la producción de aceites y grasas comestibles.* Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2011. 139 p.

3. *Manual for the Rubber Industry.* 2a ed. Alemania: Bayer; 1993. 807 p.

4. MONTGOMERY & RUGER. *Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería.* 2a ed. México: Limusa Wiley, 2007. 817 p.

5. RAMOS ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño.* 3a ed. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. 1248 p.

6. ROBERT E. TREYBAL. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2002. 858 p.

7. VEGA DE SÚPER, Juan Carlos. *Manejo de la industria química y afín*. México: Alfa Omega Grupo edición, 1996. 166 p.

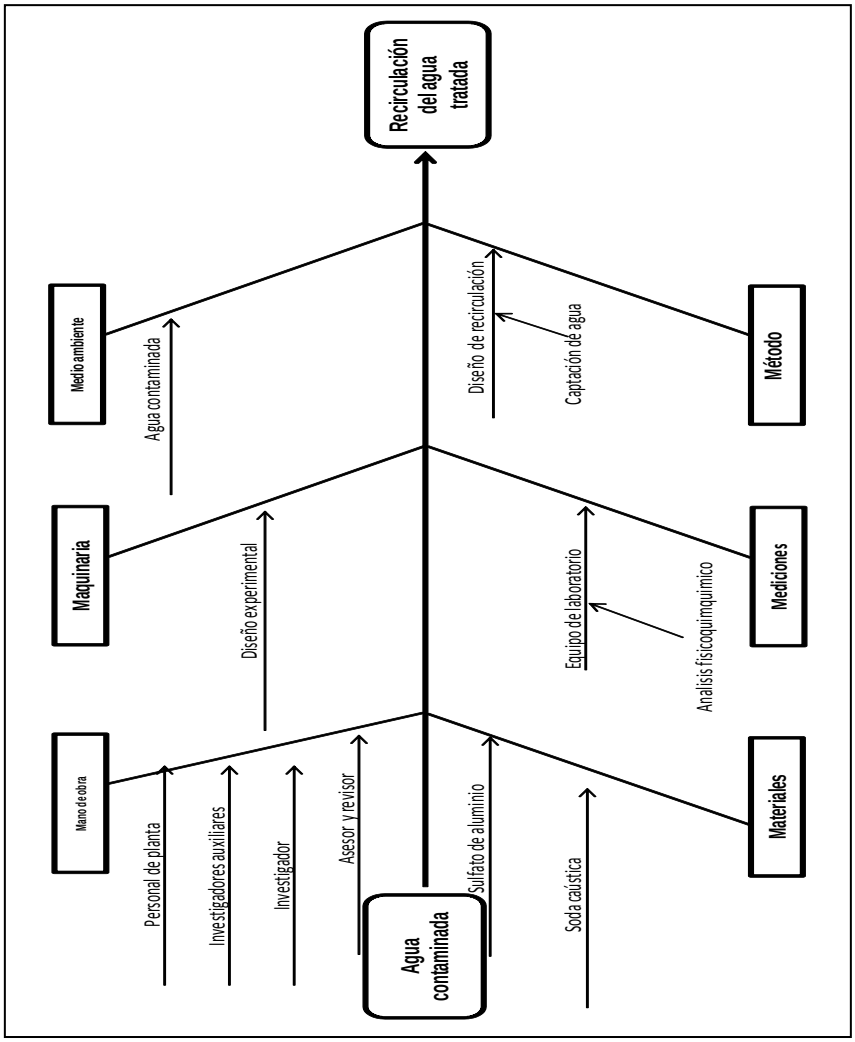
APÉNDICES

Apéndice 1. **Requisitos académicos**

Carrera	Área	Tema Genérico	Tema especifico	Especificación	Problema	Hipótesis	Temario
Licenciatura en Ingeniería Química	Química	Química 3	Expresiones de concentración	Normalidad Partes por millón (ppm)	Diseño e implementación de un sistema de recirculación de agua para rehusarla en el área de desmoldeo y tanques de leaching como parte del proceso de fabricación de guantes de látex.	Es posible tener un tratamiento de aguas con la reducción de contenido de sales de nitratos en las aguas residuales del proceso de manufactura de guantes de látex, un agua que se puede limpiar y recircular para su posterior uso, una ventaja económica reduciendo costos en el consumo del agua, si dicho tratamiento se realiza de forma apropiada eliminando la contaminación obtenida en el proceso.	Índice General Resumen Introducción Marco Conceptual Antecedentes Justificación Determinación del problema Hipótesis Marco Teórico Objetivos Metodología Cronograma Bibliografía Anexos Apéndice 1 Apéndice 2
		Química 4	Equilibrio Homogéneo	Equilibrio de fases interacción de coloides entre las fases			
		Análisis Cualitativo	Diluciones	Neutralización			
		Análisis Cuantitativo	Métodos Analíticos	Métodos Gravimétricos y Volumétricos			
		Química Ambiental	Contaminación Ambiental	Desechos Líquidos			
	Área operaciones unitarias	Flujo de fluidos (IQ 2)	Principios de transferencia de momento lineal, Dinámica de fluidos	Agitación y mezcla, Medidores de fluidos			
		Transferencia de masa en etapas de contacto continuo(IQ5)	Lixiviación	Operaciones en estado no estacionario			
	Área Complementaria	Diseño de equipo		Costo del diseño de equipo industrial			
	Ciencias Básicas	Estadística	Análisis de datos	Media aritmética y desviación estándar			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Diagrama Ishikawa para recirculación de agua**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Resultados de análisis de agua, Laboratorio Ecoquimsa**

ECOQUIMSA
LABORATORIO ECOLOGICO Y QUIMICO

2a. Calle "B" 35-91, Zona 11 Col. Utatlan II
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

Datos del Cliente

Cliente: Sr. Ervin Aguilar
Responsable: Sr. Ervin Aguilar
Dirección: Ciudad

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Manufacturas Vista Al Mar, S.A.	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Unión de agua de tanques de lixiviación (leaching) y área desmoldeo	Responsable del muestreo:	CLIENTE
		Temperatura de almacenaje:	5 °C
		Recipiente utilizado:	Plástico
Fecha de monitoreo:	20 de julio de 2014	Método de preservación:	INS04-MUE
Hora de monitoreo:	03:00		
Tipo de muestra:	Agua residual especial		
Código de muestra:	14-1435-1		
Lote:	14-1435		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 21 de julio de 2014
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 09:37
Fecha de informe: 29 de julio de 2014

Análisis	Dimensional(1)	Límite de Detección	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O2	10	1,800
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O2	10	2,085
Relación DQO/DBO	—	—	1.2
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	6,865
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	2,523
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	6.80
pH (in situ)	—	0.01	7.80
Turbiedad	Unt	0.5	24

(1) mg/L = ppm; uS/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. CARLOS RODOLFO GIRON CORZO
QUIMICO FARMACEUTICO
COLEGIADO No. 2265

Continuación del apéndice 3.

ECOQUIMSA
LABORATORIO ECOLOGICO Y QUIMICO

9ª. Avenida 3-08 Colonia Alvarado zona 2 de Mixco
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS

Datos del Cliente

Cliente: Sr. Ervin Aguilar
Responsable: Sr. Ervin Aguilar
Dirección: Ciudad

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Manufactura Vista Al Mar
Referencia cliente: Unión de agua de tanques de lixiviación (leaching) y área desmoldeo
Fecha de monitoreo: 11 de agosto de 2014
Hora de monitoreo: 19:00
Tipo de muestra: Agua residual especial
Código de muestra: 14-1574-1
Lote: 14-1574

Muestra simple o compuesta: Simple
Responsable del muestreo: CLIENTE
Temperatura de almacenaje: 5 °C
Recipiente utilizado: Plástico
Método de preservación: INS04-MUE

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 12 de agosto de 2014
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:45
Fecha de informe: 23 de agosto de 2014

Análisis	Dimensional(1)	Límite de Detección	Resultados
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O2	10	960
Demanda Química de Oxígeno	mg/L - O2	10	1,342
Conductividad	uS/cm @ 25°C	0.1	8,791.9
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	4,338
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	532.1
Turbiedad	Unt	0.5	7.0

(1) mg/L = ppm; uS/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
Metodología utilizada: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. CARLOS RODOLFO GIRON CORZO
QUIMICO FARMACEUTICO
COLEGIADO No. 2265

1/1

Fuente: elaboración propia, con el apoyo del Laboratorio Ecoquimsa.

Apéndice 4. **Procedimiento estadístico para la interpretación de resultados**

El experimento sugiere la necesidad de comparar simultáneamente los parámetros del agua contaminada con el agua tratada con sulfato de aluminio, y definir si se aplica la hipótesis nula o la hipótesis alternativa.

H_o, $\mu \leq 2000$ ppm SDT $t \leq 1{,}740$ no se rechaza la H_o

H1, $\mu > 2000$ ppm SDT $t > 1{,}740$ se rechaza H_o; $v=n-1$

$$t = \frac{X - \mu}{S/\sqrt{n-1}}$$

Donde μ representa la media esperada de la medición, y X el rendimiento promedio para las mediciones y v representa los grados de libertad.

Siendo H_o la hipótesis nula, y H1 la hipótesis alternativa.

Para agua contaminada

$\mu = 2000$; $s = 1024$; $n-1 = 17$

$$t = \frac{6274-2000}{1024/\sqrt{17}} = 17{,}69$$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula

El proceso de coagulación-floculación con sulfato de aluminio no se ha modificado significativamente la concentración de los sólidos suspendidos del agua contaminada.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Recolección de la información**

Balanza analitica	Horno de secado	Estufa con agitación	Potenciometro

Cronometro	Beakers	Hidrometro	Termometro

Pipetas	Perillas	Bureta	Plato Aluminio

.

Fuente: Laboratorio Manufacturas Vista al Mar, S. A. Fábrica de guantes de látex.

ANEXO

A-6 APÉNDICE A TABLAS Y CARTAS ESTADÍSTICAS

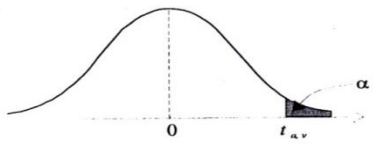


Tabla IV Puntos porcentuales $t_{\alpha,\nu}$, de la distribución t

ν \ α	-40	.25	.10	05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	7.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

ν = grados de libertad.

Fuente: MONTGOMERY RUGER, *Probabilidad y estadística*, p 817.