



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

**DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO  
DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA  
DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO**

**Lucía Pamela Rodas Rodríguez**

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, marzo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO  
DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA  
DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUCÍA PAMELA RODAS RODRÍGUEZ**

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, MARZO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Edmundo Monroy Benítez
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira de Rossal
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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 DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO  
DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA  
DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha enero de 2013.

  
**Lucía Pamela Rodas Rodríguez**

Guatemala, 12 de Octubre de 2015

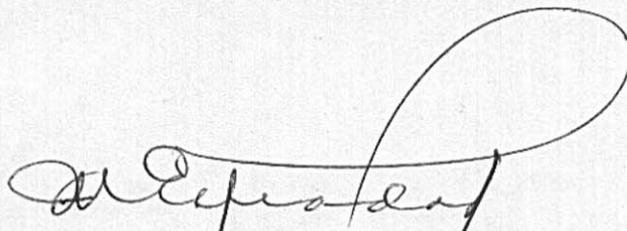
Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Química

Ingeniero Monzón:

Cordialmente me dirijo a usted para informarle que he revisado y aprobado el trabajo de graduación titulado "**DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO**" desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Lucía Pamela Rodas Rodríguez, carné 2008-19141.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



**Ing. Jorge Mario Estrada Asturias**



Jorge Mario Estrada Asturias  
Ingeniero Químico Col. 685  
Profesor Titular  
Escuela de Ing. Química USAC



Guatemala, 19 de noviembre de 2015.  
Ref. EIQ.TG-IF.084.2015.

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 **023-2013** 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 la estudiante universitaria: **Lucía Pamela Rodas Rodríguez**.  
Identificada con número de carné: **2008-19141**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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 DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

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"

Ing. Víctor Herbert de León Morales  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.015.2016

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 de la estudiante, **LUCÍA PAMELA RODAS RODRÍGUEZ** titulado: **"DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO"**. 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"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

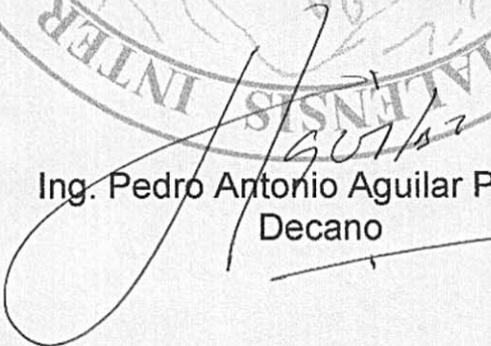


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.127.2016

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 DE UN PROTOCOLO PARA EL CONTROL, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES GENERADOS POR UNA INDUSTRIA DE PINTURAS EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN BASE AGUA, BASE ACEITE Y LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria: **Lucía Pamela Rodas Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme una vida llena de bendiciones, por guiarme y estar al lado mío en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza.
- Mi madre** Ana María Rodríguez, porque me formaste con buenos sentimientos, hábitos y valores. Tú apoyo y entrega ha sido incondicional, por lo tanto este logro es una de las muchas cosas que te mereces.
- Mi padre** Hugo Rodas, mi ángel por siempre. Porque día a día siento su presencia con todas las bendiciones recibidas. Hoy estoy cumpliendo uno de tus mayores deseos.
- Mi abuela** Aurora de Rodríguez, por la ilusión que tuviste siempre porque llegara este día. Llevo en mi corazón tus consejos y amor que me diste.
- Mis hermanas** Andrea, Jessica y María José Rodas, porque son mi mayor ejemplo como personas y como las excelentes profesionales que son.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por tus bendiciones, por guiarme a estudiar esta carrera que tanto me gusta, por los dones que me diste y por todos los angelitos que pusiste en mi camino para cumplir con esta meta.
- Mi madre** Por tu entrega incondicional, por ser la mejor mamá y papá que puedo tener. Por tu apoyo y motivación cuando desmayaba.
- Mis hermanas** Por su ayuda, consejos y apoyo que me dieron siempre.
- Mi novio** Juan Manuel González, mi compañero de vida, por ser quien me impulsa a ser una mejor persona todos los días.
- Mis amigos de la carrera** Porque sin ustedes hubiera sido imposible este logro. Por la buena amistad que nos sigue uniendo y todos los buenos momentos que hemos vivido.
- Mi asesor** Ing. Jorge Mario Estrada, por su incondicional apoyo, sus enseñanzas académicas y de vida. Por siempre recibirme con una sonrisa y palabras de aliento. No existen palabras para agradecerle tanto.

**Escuela de Ingeniería  
Química de la Universidad  
de San Carlos de Guatemala**

Por formarme en esta profesión y darme las  
herramientas para mi desarrollo profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Concepto de pintura .....	5
2.2. Clasificación de pinturas.....	5
2.2.1. Pinturas en base agua.....	6
2.2.2. Pinturas en base a solventes.....	6
2.3. Componentes .....	7
2.3.1. Pigmentos.....	7
2.3.2. Cargas .....	9
2.3.3. Ligante o resina .....	10
2.3.4. Disolvente.....	11
2.3.5. Aditivos .....	11
2.4. Proceso productivo.....	12
2.5. Generación de residuos en la industria de la pintura.....	15
2.5.1. Residuos líquidos .....	16
2.5.2. Residuos sólidos.....	17
2.5.3. Emisiones atmosféricas.....	17

2.6.	Manejo de residuos .....	18
2.6.1.	Pirámide de manejo de residuos .....	19
2.7.	Sistema de prevención y control de contaminantes .....	20
2.7.1.	Clasificación de residuos industriales.....	20
2.8.	Prevención y control de contaminantes en el proceso .....	21
2.9.	Métodos para el control de contaminantes en efluentes .....	23
2.9.1.	Tratamiento fisicoquímico.....	23
2.9.2.	Tratamientos biológicos.....	24
2.10.	Tratamiento de residuos líquidos en la industria de pinturas....	26
2.10.1.	Remoción de aceites y grasas .....	27
2.10.2.	Ecualización y neutralización .....	28
2.10.3.	Floculación .....	29
2.10.4.	Aireación .....	29
2.10.5.	Clarificación.....	29
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
3.1.	Variables .....	31
3.1.1.	Variables independientes .....	31
3.1.2.	Variables dependientes .....	31
3.2.	Delimitación de campo de estudio .....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	32
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	32
3.5.	Técnicas.....	33
3.5.1.	Técnicas cuantitativa.....	33
3.5.2.	Técnica cualitativa.....	34
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	35
3.7.1.	Flujo de residuos sólidos producidos .....	35

3.7.2.	Flujo de residuos líquidos producidos en látex .....	35
3.7.3.	Flujo de solvente de limpieza producidos en aceite .....	37
3.7.4.	Costo de agua de proceso.....	37
3.7.5.	Costo de floculante .....	38
3.8.	Análisis estadístico .....	39
3.8.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	39
3.8.2.	Programas a utilizar para análisis de datos .....	40
4.	RESULTADOS .....	41
4.1.	Capítulo I: diagnóstico inicial .....	41
4.2.	Capitulo II: control y prevención de contaminantes .....	51
4.3.	Capitulo III: tratamiento.....	58
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	71
	CONCLUSIONES .....	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES .....	81
	ANEXOS.....	83



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama de proceso de fabricación de pinturas .....	15
2.	Pirámide de manejo de residuos .....	19
3.	Esquema de precipitación química y procesos asociados .....	24
4.	Esquema de tratamiento de lodos activados.....	25
5.	Esquema adsorción en carbón.....	26
6.	Esquema de clarificación de agua .....	30
7.	Variables cuantitativas .....	33
8.	Proceso de fabricación de látex .....	44
9.	Proceso de producción de pintura base aceite .....	45
10.	Generación de residuos .....	46
11.	Jerarquía de residuos.....	52
12.	Planta de tratamiento de agua .....	66
13.	Diagrama de recuperación de solvente.....	70

### TABLAS

I.	Variables cualitativas.....	34
II.	Volumen de agua residual.....	36
III.	Porcentaje de agua residual por tanque de producción .....	36
IV.	Galones de agua residual diaria.....	37
V.	Galones de solvente de limpieza por día .....	37
VI.	Costo de agua de proceso .....	38
VII.	Costo de ferrifloc .....	38

VIII.	Flujo de residuos sólidos producidos .....	47
IX.	Flujo de residuos líquidos producidos en látex .....	48
X.	Propiedades fisicoquímicas del efluente de látex .....	49
XI.	Flujo volumétrico de solvente para limpieza .....	50
XII.	Aspectos para la selección de mangueras .....	53
XIII.	Agua de limpieza según capacidad volumétrica de tanques .....	55
XIV.	Costos de agua.....	57
XV.	Control y prevención de contaminantes.....	58
XVI.	Flujo de agua residual.....	59
XVII.	Costos de floculante .....	64

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>DBO</b>	Demanda biológica de oxígeno
<b>DQQ</b>	Demanda química de oxígeno
<b>\$</b>	Dólar
<b>gal</b>	Galones
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramos
<b>g.cm<sup>3</sup></b>	Gramos por centímetro cúbico
<b>L</b>	Litros
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro Cúbico
<b>µm</b>	Micrómetros
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>min</b>	Minutos
<b>No.</b>	Número
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q.</b>	Quetzal
<b>s</b>	Segundos
<b>ton</b>	Tonelada



## GLOSARIO

<b>Aceite</b>	Término genérico para designar numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y que tienen menor densidad que ésta.
<b>Agua residual</b>	Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó, ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella.
<b>Biocida</b>	Que se emplea para matar organismos vivos o para detener su desarrollo.
<b>Control</b>	Comprobación o inspección de una cosa.
<b>Cromatografía</b>	Técnica empleada para separar los componentes individuales de una mezcla y, en ciertos casos, para identificar un compuesto comparando su comportamiento cromatográfico con el de sustancias conocidas empleadas como patrón.
<b>Destilación</b>	Operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los

diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias.

**Dispersante** Sustancia que facilita la dispersión de ciertas partículas que un líquido contiene en suspensión.

**Dispersión** Esparcimiento de una sustancia en el seno de otra que es mucho más abundante que la primera.

**Flujo** Movimiento de un fluido por un lugar.

**Látex** Suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas.

**Pintura** Producto fluido que, aplicado sobre una superficie, se transforma al cabo del tiempo en una película sólida que se adhiere a dicha superficie, de tal forma que recubre, protege y decora el elemento sobre el que se ha aplicado.

**Prevención** Medida o disposición que se toma de manera anticipada para evitar que suceda una cosa considerada negativa.

**Protocolo** Conjunto de reglas y ceremoniales que deben seguirse en ciertos actos.

<b>Reciclaje</b>	Proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos para prevenir el desuso de materiales.
<b>Residuo</b>	Material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo.
<b>Resina</b>	Sustancia pastosa o sólida que se obtiene de manera natural a partir de una secreción orgánica de ciertas plantas.
<b><i>Slurry</i></b>	Lodo, suspensión de partículas sólidas en un líquido.
<b>Solvente</b>	Es un producto destilado del petróleo que se usa frecuentemente como disolvente o diluyente.
<b>Tratamiento</b>	Manera de trabajar determinadas materias para su conservación, transformación o modificación.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar un protocolo para el control, prevención y tratamiento de contaminantes generados por una industria de elaboración de pinturas, en el área de producción de base agua y base aceite, y laboratorio.

Para cumplir con el objetivo principal, inicialmente se cuantificaron los flujos de residuos líquidos y sólidos que produce la planta de producción. Para tal efecto se procedió a conocer la situación actual de la planta de producción, su proceso de manufactura y se diagnosticaron los procesos en los que se generan residuos, luego se procedió a tipificar los residuos determinando los flujos que se generan, de cada uno de ellos. Adicional se determinaron las propiedades fisicoquímicas del efluente y a partir de esta información se procedió a proponer un plan para el control y prevención de los contaminantes para por último diseñar un método para el tratamiento de los residuos líquidos.

Con la información obtenida se determinó que el mayor porcentaje de contaminantes son líquidos, los cuales provienen de la limpieza de tanques tanto para la producción de pintura látex como para la de aceite, obteniendo agua residual con altos valores de sólidos suspendidos, DBO, DQO y color, asimismo solvente sucio, ya que arrastran toda la materia prima que se queda impregnada en los tanques.

Para el plan de control y prevención se basó en la reducción de residuos por medio de cambios en el proceso y en el producto y en el reciclaje principalmente de los residuos sólidos que generalmente son bolsas plásticas y

de cartón. En cuanto al tratamiento de agua se propuso con base en un tratamiento primario para eliminar la mayor cantidad de sólidos suspendidos y luego un tratamiento fisicoquímico para reducir los valores de DBO, DQO y color. Para el tratamiento de solvente se propuso un sistema de recuperación del mismo el cual se basa en la destilación y con ello se separan todos los sólidos presentes en el solvente sucio.

Con los resultados obtenidos se pudo concluir que los residuos líquidos generados en la planta de fabricación de pinturas bajo estudio son producto de la limpieza de tanques tanto agua como solvente, y los residuos sólidos son bolsas de despacho de materia prima ya sean plásticas como de papel, en donde el flujo de agua residual es de 500 a 1 000 galones por día, de solvente de 275 a 495 galones por día y de 110-180 bolsas al día. Los rangos radican en función de temporada baja y alta.

El efluente de agua presentó propiedades fisicoquímicas fuera de los rangos permisibles por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Por lo tanto, el plan propuesto para el control y prevención de contaminantes se basa en la reducción de residuos por cambios en el proceso y en el producto, en el reciclaje y en el tratamiento de los mismos. En donde el tratamiento de agua residual se propone un sistema, el cual conlleva como primer paso un tratamiento primario por medio de la sedimentación, luego un tratamiento fisicoquímico que involucra la coagulación, floculación y filtración. Y para el tratamiento de solvente sucio se propone un sistema de recuperación del mismo por medio de la destilación.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un protocolo para el control, prevención y tratamiento de contaminantes generados por una industria de elaboración de pinturas, en el área de producción de base agua y base aceite, y laboratorio.

### **Específicos**

1. Cuantificar flujos de residuos líquidos y sólidos en la industria de pinturas.
2. Determinar la calidad fisicoquímica del agua residual generada.
3. Diseñar un plan para el control y prevención de contaminantes.
4. Diseñar un método para el tratamiento de residuos.



## INTRODUCCIÓN

La industria de pinturas elabora una amplia gama de productos, entre los que destacan las pinturas (base agua o solvente), barnices, lacas y esmaltes. Estos productos presentan una amplia clasificación de acuerdo a su uso, ya sea industrial (minería, industria pesada, construcción naval, industria en general) o decorativo (arquitectónico, uso doméstico). También son clasificados según el vehículo o disolvente base (agua o solvente), que se evapora luego de la aplicación del producto.

Existen también otros recubrimientos o pinturas especiales, de tipo no volátil, los que se clasifican de acuerdo al método de curado o endurecimiento. Estos incluyen las pinturas en polvo, recubrimientos curados por radiación y pinturas catalizadas.

La industria de pinturas en Guatemala ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, produciendo aproximadamente 35 millones de galones, con el fin de cubrir la demanda del mercado centroamericano, que en la actualidad es de 40 millones de galones, de los cuales, ocho millones se consumen en Guatemala.

El proceso de manufactura de pintura ha evolucionado mucho y Guatemala no es la excepción, implementando modelos de producción que buscan aumentar la producción con el menor costo posible. La empresa bajo estudio es un ejemplo de ello, la cual ha expandido sus instalaciones debido a un aumento en ventas y por ende en la producción de pinturas. Esto conllevó a

grandes cambios que debieron reacondicionarse, uno de los factores que aún no ha sido estudiado en su totalidad es la parte de los residuos.

Como parte del proceso de producción de pinturas se obtienen contaminantes, los cuales deben ser controlados, evaluados y tratados en pro del medio ambiente; los cuales serán estudiados en el presente trabajo de investigación proponiendo un plan de control, prevención y tratamiento del efluente producido.

## 1. ANTECEDENTES

Existen trabajos de investigación en el área de contaminantes tanto a nivel general como para diferentes industrias en Guatemala, sin embargo, para la industria de pinturas no existe un estudio completo. Entre los trabajos se cuenta con: *Evaluación rápida de fuentes de contaminantes en la parte sur de Guatemala* por Claudia María Cordero Fong en 1991, y entrando un poco más a detalle se cuenta con el estudio de *Riesgos de contaminantes en la industria de enderezado y pintura automotriz* por Leonardo Antonio Ortuño Valdivieso en 1997.

En el ámbito ambiental se cuenta con la tesis de Mario Giovanni Valenzuela Méndez, titulada como *Aplicación de una gestión ambiental en el proceso guatemalteco* publicada en el 2006, así como el trabajo de investigación acerca del *Desarrollo de una propuesta de sistemas de gestión ambiental de acuerdo a la Norma ISO 14001:2004 como herramienta de educación ambiental en el Laboratorio de fisicoquímica de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala* por América Salomé González Rivera en el 2012, que da una referencia para la implementación del sistema de Gestión Ambiental

Asimismo se encontraron otros estudios a nivel internacional entre los cuales están:

- *Informe medioambiental del sector de pinturas y barnices*, publicado en junio de 1998, por la fundación Entorno, Empres y Medio Ambiente.

- *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, Industria elaboradora de pinturas*, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente – Región Metropolitana de Santiago de Chile en 1998.

La industria de pinturas, produce grandes volúmenes de pinturas base agua, base aceite, epóxicos, productos para madera, resinas, entre otras. Como todo proceso de producción se generan el producto principal, subproductos y desechos, en donde, los últimos ocultan altos costos e impacto ambiental si no son tratados adecuadamente.

En la industria manufacturera de pinturas en la cual se realizará el presente estudio, no se cuenta con un sistema de control y prevención de generación de contaminantes, tanto sólidos como líquidos, de los cuales se desea encontrar su efecto, su forma de controlarlo y con esta información tomar acciones para prevenir y disminuir la contaminación.

La disposición y tratamiento de los contaminantes actualmente se maneja de forma inadecuada lo cual genera grandes problemas medioambientales, los cuales será posible solucionar mediante la información obtenida en el presente trabajo de investigación.

Para poder cumplir con el estudio es necesario responder las siguientes preguntas, las cuales serán la base para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

¿Cuáles son los puntos críticos de contaminación en el proceso productivo?

¿Cuáles son los flujos de residuos líquidos y sólidos generados por la industria de pinturas?

¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas de los residuos generados por la industria de pinturas?

¿Cómo se puede controlar, prevenir y tratar los contaminantes generados por una industria manufacturera de pinturas?

El estudio de contaminantes se realizará en la planta manufacturera de productos de línea (base agua y aceite), el mismo se realizará durante la temporada alta para la compañía ya que es aquí en donde será mayor el flujo de residuos.

La industria objeto del presente estudio tiene una clasificación según el sistema CIIU (Código Internacional Industrial Uniforme) de ONU núm. 2.4.2.3 que equivale en la legislación nacional especificada en el Listado Taxativo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) como Diseño, construcción y operación de empresas relacionadas con actividades de fabricación de pinturas, barnices y productos de revestimientos similares, tintas de imprenta y masillas.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Concepto de pintura**

Según Geraldine Waelti, se conoce como pintura a un recubrimiento que confiere protección a la superficie en que se aplica buscando también una mejora en la apariencia física. Son líquidos que se solidifican al exponerlos al ambiente.

Según Carlos Giudice y Andrea Pereyra, químicamente se puede definir una pintura líquida como un sistema disperso constituido por sólidos finamente particulados y dispersados en un medio fluido denominado vehículo. Este vehículo está basado en una sustancia aglutinante, también llamada formadora de película o ligante, dispuesta en un solvente o mezcla de solventes al cual se le incorporan aditivos y plastificantes.

### **2.2. Clasificación de pinturas**

La gama de productos elaborados es muy amplia, incluyendo pinturas en base agua (látex) y en base a solventes (aceite), barnices, lacas, impermeabilizantes y anticorrosivos, pinturas marinas, automotrices, industriales, entre otros. A nivel nacional, la industria de pinturas sigue el mismo esquema de procesamiento que se utiliza a nivel mundial, considerando similares etapas de proceso para ambos tipos de pinturas.

### **2.2.1. Pinturas en base agua**

Las pinturas basadas en agua, como el nombre lo dice, generalmente están compuestas de agua, pigmentos, extensores de tiempo de secado (sustancias secantes), agentes dispersantes, biocidas, basificantes, agentes antiespumantes y resina.

La elaboración de pinturas base agua se inicia con la adición de agua, amoniaco y agentes dispersantes a un tanque de premezcla. Posteriormente, se adicionan los pigmentos y agentes extensores. Una vez realizada la premezcla, y dependiendo del tipo de pigmento, el material pasa a través de un equipo especial de molienda, donde ocurre la dispersión y luego se transfiere a un estanque de mezclamiento con agitación. En este se incorporan las resinas y los plastificantes, seguidos de preservantes y antiespumantes y finalmente la emulsión de resina.

Por último, se agrega el agua necesaria para lograr la consistencia deseada. Luego de mezclar todos los ingredientes, el producto obtenido es filtrado para remover pigmentos no dispersos (mayores a 10 mm), siendo posteriormente envasado.

Normalmente solo los esmaltes en base agua pasan por equipos de molienda; los látex y pastas se dispersan y terminan en estanques de mezclamiento.

### **2.2.2. Pinturas en base a solventes**

Las pinturas basadas en solventes incluyen un solvente, pigmentos, resinas, sustancias secantes y agentes plastificantes.

Los pasos en la elaboración de pinturas cuyo vehículo es un solvente son similares a los descritos anteriormente. Inicialmente, se mezclan los pigmentos, resinas y agentes secantes en un mezclador de alta velocidad, seguidos de los solventes y agentes plastificantes. Una vez que se ha completado la mezcla, el material se transfiere a un segundo estanque de mezclado, en donde se adicionan tintes y solventes. Una vez obtenida la consistencia deseada, la pintura se filtra, envasa y almacena.

### **2.3. Componentes**

La composición genérica de una pintura es la siguiente:

- Pigmentos
- Cargas
- Ligante o resina
- Disolvente
- Aditivos

#### **2.3.1. Pigmentos**

Según Calvo, son compuestos orgánicos o inorgánicos cuya misión es proporcionar a la pintura color y poder de cubrición. Los pigmentos son opacos tanto en estado seco como húmedo.

Están constituidos por partículas pequeñas de sólidos finamente divididos, seleccionados para impartirle a la película propiedades específicas.

En resumen, el pigmento es un material particulado ópticamente activo, que debe ser insoluble en el vehículo y además no reactivo químicamente con los restantes componentes del sistema.

Es importante establecer la diferencia entre pigmentos y colorantes. Estos últimos se disuelven en el vehículo y otorgan color; no tienen propiedades cubritivas.

Los pigmentos, que son los empleados en la fabricación de pinturas, según su composición pueden clasificarse en:

- Pigmentos inorgánicos: estos pigmentos generalmente incluyen productos naturales y sintéticos. Los pigmentos inorgánicos imparten en general, entre otras propiedades, color, opacidad, resistencia al calor y a la acción de la intemperie. Tienen un precio relativamente bajo en relación a otros componentes de las pinturas.
- Pigmentos orgánicos: los pigmentos orgánicos más frecuentemente empleados son en la actualidad de origen sintético; conducen, entre otras propiedades generales, a películas fuertemente coloreadas, con reducido poder cubriente, variable resistencia al calor, a la acción de la intemperie y a los agentes químicos. Tienen un costo generalmente elevado en términos comparativos.

Según Carlos Giudice y Andrea Pereyra, los pigmentos en general modifican las características de flujo de la pintura y aumentan la adhesión específica y la cohesión, reducen el brillo e incrementan la permeabilidad de la película seca.

### 2.3.2. Cargas

También conocido como extenderos, son en general de naturaleza inorgánica y de composición química muy variada; en consecuencia también presentan propiedades físicas muy disímiles. Estas características influyen significativamente sobre las propiedades del producto final, por lo que la selección y el control de calidad resultan esenciales. Las cargas naturales son las más abundantes en la composición de pinturas y recubrimientos; luego de la extracción, se someten a un proceso de molienda que en función del tamaño de la partícula permiten clasificarlas en grandes (superior a 250  $\mu\text{m}$ ), medianas (entre 50 y 250  $\mu\text{m}$ ), finas (entre 10 y 50  $\mu\text{m}$ ) y pequeñas o extrafinas (inferior a 10  $\mu\text{m}$ ); en la industria de la pintura a nivel internacional predominan la calcita, seguida del talco, por su alta disponibilidad en calidad bastante homogénea y bajo costo.

- Extendedores derivados de carbonatos

La calcita es un carbonato de calcio natural y de origen orgánico cristalizado por la presión de las capas geológicas (morfología nodular; densidad: 2,7  $\text{g.cm}^3$ ; pH en suspensión, 8-10; índice de refracción, 1,59; diámetro medio: 2 a 3  $\mu\text{m}$ ) o bien un carbonato de calcio precipitado o sintético, también de forma cristalina pero de mayor pureza que el natural (las propiedades citadas son similares, excepto el valor del pH que oscila entre 9 y 10 y el tamaño que es mucho más fino, aproximadamente 0,06  $\mu\text{m}$ ).

- Extendedores derivados de silicatos

El talco es químicamente un silicato de magnesio natural (fórmula:  $2\text{MgO}_4\text{SiO}_2\text{Mg}(\text{OH})_2$ ; densidad: 2,7- 3,5  $\text{g.cm}^3$ ; pH en suspensión, usualmente

entre 8,5 y 9,5; índice de refracción, entre 1,54 y 1,59; índice de absorción de aceite, entre 32 y 37 ml/100 g).

Según Carlos Giudice y Andrea Pereyra, los talcos presentan una alta distribución de tamaño de partícula (entre 5 y 40  $\mu\text{m}$ ) y consecuentemente la absorción de aceite también es muy variable (desde 30 para las más grandes hasta 50 ml/100 g para las más finas).

### **2.3.3. Ligante o resina**

Según Calvo son sustancias cuya acción es mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, una vez la pintura está seca. Según el tipo de resina utilizada la pintura tendrá unas características de secado y resistencias determinadas. La terminología en el campo de las pinturas y recubrimientos es variada y por ello no debe extrañar encontrar indistintamente los términos resina, ligante, polímero, entre otros.

Según la *Guía para el control de la contaminación industrial* Las resinas naturales en su mayoría son de origen vegetal, con excepción de la goma laca; actualmente, su uso ha declinado considerablemente debido al desarrollo de un gran número de resinas sintéticas. Estas últimas normalmente se utilizan en combinación con aceites siendo más resistentes al agua y agentes químicos. Entre las resinas sintéticas más utilizadas se encuentran las resinas alquídicas, acrílicas, fenólicas, vinílicas, epóxicas, de caucho clorado, de poliuretano y de silicona. De todas estas, la primera es la más utilizada.

#### **2.3.4. Disolvente**

El disolvente es la materia prima de mayor proporción en las pinturas. Existen dos tipos de disolventes, el agua y otros productos de naturaleza orgánica cuya misión es la de dar a la pintura una viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse. Los disolventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación. La utilización de disolventes que no disuelven al ligante es frecuente en la formulación de pinturas en este caso se les nombra como cosolventes.

#### **2.3.5. Aditivos**

Son sustancias que se emplean para facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar unas características concretas a la pintura seca, crear las condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y para estabilizar la pintura en el período de almacenamiento. Estos aditivos se dosifican en pequeñas cantidades.

Según Calvo, dentro de este grupo de productos encontramos humectantes y dispersantes, para facilitar el mojado de los pigmentos y cargas, y su posterior dispersión y estabilización; espesantes, que se utilizan para obtener una consistencia determinada; agentes reológicos, para dar un comportamiento determinado a la pintura durante y después del proceso de aplicación; y todo un etcétera de productos con misiones muy concretas.

Los aditivos secantes permiten controlar la velocidad de secado. Normalmente se utilizan sales orgánicas de elementos metálicos (cobalto, manganeso, plomo, calcio, zinc, hierro, vanadio, cerio y zirconio).

Los plastificantes, por su parte, proporcionan flexibilidad y adherencia a los recubrimientos de superficie. Se clasifican en: aceites vegetales no secantes (derivados del aceite de ricino), monómeros de alto punto de ebullición (ftalatos) y polímeros resinosos de bajo peso molecular (poliester).

Según *Guía para el control de la contaminación industrial*, los antisedimentantes previenen o disminuyen la precipitación de los pigmentos, reduciendo la fuerza de atracción entre partículas (ej.: lecitina) o formando geles (ej.: estearato de aluminio, anhídrido de silicio).

#### **2.4. Proceso productivo**

La metodología y el equipamiento técnico de los diferentes procesos varían enormemente en función de los diversos tamaños y estructuras de las empresas y gamas de productos. Por tanto, solo se podrán definir los procesos de un modo muy general.

A continuación se describen de forma resumida las etapas que constituyen el proceso de elaboración de pinturas y barnices: según la fundación entorno.

- **Almacenamiento:** se suministran y almacenan materias primas líquidas y sólidas, como disolventes orgánicos, ligantes, cargas, pigmentos, aditivos, entre otros. Los materiales se pesan y dosifican de acuerdo con la formulación. El almacenamiento también entra en juego para el producto terminado.
- **Fabricación:** se adiciona cada materia prima, se homogeniza o dispersa en la cantidad y en el orden que fije la formulación. Para ello se emplean mezcladores, amasadoras, agitadores, aparatos dispersores, rodillos y

unidades similares. También se utilizan sistemas a base de tuberías y bombas hidráulicas. Normalmente, los elaborados y semielaborados se fabrican en lotes. Si es necesario, ciertos componentes pasan un tratamiento previo (por ejemplo, la trituration de los pigmentos).

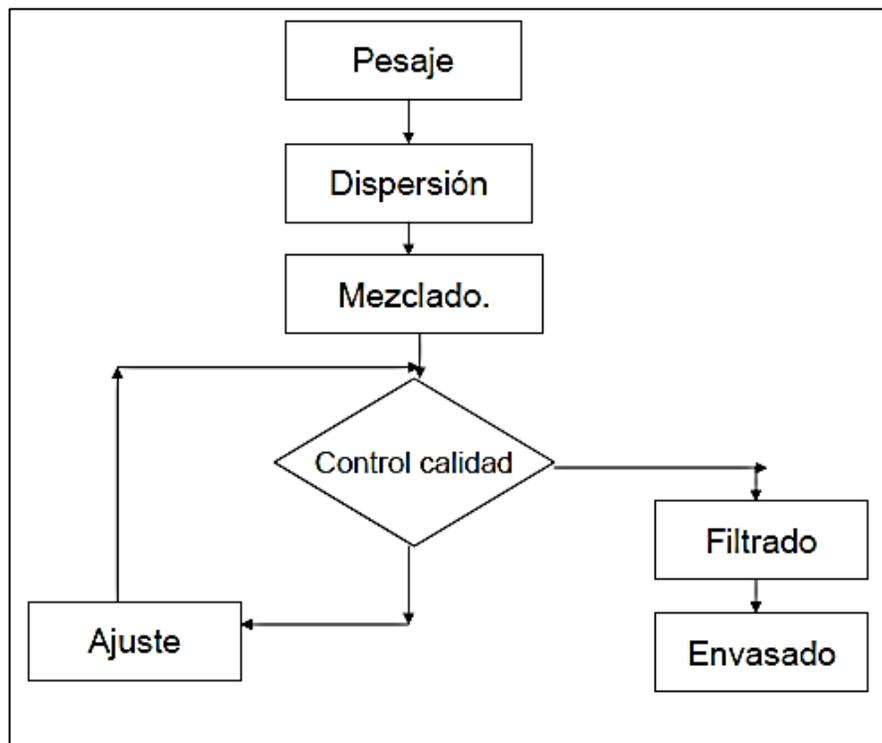
Según Calvo, el proceso de fabricación de las pinturas es totalmente físico y se efectúa en cuatro fases perfectamente diferenciadas:

- **Dispersión:** en esta fase se homogenizan disolventes, resinas y los aditivos que ayuden a dispersar y estabilizar la pintura, posteriormente se añaden en agitación los pigmentos y cargas y se efectúa una dispersión a alta velocidad con el fin de romper los agregados de pigmentos y cargas.
- **Molido y dilución:** este proceso es empleado en algunas ocasiones y se utiliza cuando el producto obtenido en la fase anterior no tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molturación en molinos, generalmente de perlas. La pasta molida se completa, siempre en agitación, con el resto de los componentes de la fórmula. Los productos se deben añadir uno a uno para evitar posibles reacciones entre ellos.
- **Mezclado:** en esta operación se procede a adicionar otros aditivos de fórmula como biocidas, espesantes, basificantes los cuales se adicionan en función de su formulación. Asimismo, aquí se procede a adicionar los tintes para proporcionar el color deseado.

- Ajuste de propiedades: es el último paso en la elaboración de una pintura, consiste en proporcionar a la pintura fabricada un aspecto de fluidez homogéneo en todas las fabricaciones y que se ajuste a las necesidades de aplicación de la misma.
- Eliminación de impurezas: según la fundación Entorno, las partículas gruesas se eliminan del barniz mediante tamizado. El método más simple es el tamizado a través de un material metálico o plástico adecuado. Para aquellos productos difíciles de tamizar, se puede utilizar una criba vibratoria. Para eliminar la turbiedad y las impurezas diminutas de los barnices incoloros y de las soluciones de resinas sintéticas, se procede al filtrado. La separación centrífuga elimina los pigmentos de dimensiones excesivas y otras impurezas.
- Envasado y embalaje: según fundación Entorno, finalmente los productos se envasan en una planta envasadora en recipientes adecuados; se etiquetan; y como punto final de todo el proceso, los productos acabados se preparan para su envío (por ejemplo, se embalan en cajas de cartón y se paletizan).
- Limpieza: según fundación Entorno, cada una de las unidades y tuberías deberá limpiarse y aclararse completamente con cierta regularidad, especialmente entre la producción de lotes diferentes. Según los casos, los productos de limpieza deberán ser, bien agua, bien disolventes orgánicos. La limpieza después de la producción de lacas en polvo ha de ser especialmente minuciosa. Esto es aún más importante cuando se producen diferentes tipos de lacas, a causa de su incompatibilidad entre sí.

A continuación se presenta un diagrama del proceso de producción general de pinturas:

Figura 1. **Diagrama de proceso de fabricación de pinturas**



Fuente: Sierra Consultor.

## 2.5. **Generación de residuos en la industria de la pintura**

Las sustancias contaminantes se pueden clasificar en tres categorías: líquidas (acuosos y orgánicos), sólidas (polvos, envases y contenedores, lodos, entre otros) y atmosféricos (material particulado en suspensión, compuestos orgánicos volátiles, entre otros).

### **2.5.1. Residuos líquidos**

El origen de estos residuos líquidos se debe fundamentalmente a la operación de lavado de los equipos de producción (molinos de dispersión, reactores para la fabricación de resinas, entre otros), de almacenamiento (tanques de concentrados, de adelgazamiento, de tratamientos para el control de la contaminación, entre otros) y de transporte de materias primas y productos terminados (tuberías, bombas, entre otros).

Estos residuos líquidos, los que conforman junto con los contaminantes atmosféricos el mayor problema en la emisión en la industria de la pintura, presentan sustancias orgánicas, metales pesados y productos de naturaleza variada (fosfatos, sulfatos, entre otros).

Los ensayos, usualmente implementados para caracterizar los residuos líquidos, determinan generalmente en forma potenciométrica los valores del pH, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, turbidez; color, olor, DQO y DBO.

Otras determinaciones frecuentes incluyen el nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, sustancias solubles en éter etílico, hidrocarburos totales, cationes pesados (cromo total, níquel, zinc, cadmio, mercurio, cobre, plomo, entre otros), fósforo total, sustancias fenólicas, sulfuros, entre otros.

Para residuos líquidos originales como así también aquellos emergentes de los tratamientos específicos aplicados según el tipo de contaminantes, resulta oportuno mencionar que la normativa vigente fija límites máximos admisibles, para cada uno de los ensayos mencionados, según el destino final de la descarga.

### **2.5.2. Residuos sólidos**

Los residuos sólidos en la industria de la pintura están constituidos fundamentalmente por las materias primas remanentes en sus envases originales luego de la descarga en los equipos de producción, por los propios contenedores de los citados componentes (cajas de cartón, bolsas de papel o plástico correspondientes a pigmentos, resinas y eventualmente aditivos), productos fuera de especificación, materiales vencidos y deteriorados, derrames por descargas accidentales, material de limpieza, cartuchos de los equipos de filtrado que retienen partículas extrañas y la fracción de pigmentos mal dispersados y tapas y recipientes dañados o con defectos de fabricación para el envasado de los productos finales.

### **2.5.3. Emisiones atmosféricas**

Las emisiones atmosféricas están conformadas por sustancias que alteran la composición del aire. Estas están identificadas fundamentalmente por los compuestos orgánicos volátiles provenientes de la evaporación de los disolventes y diluyentes empleados en la elaboración de vehículos de las pinturas, ya sea en la etapa del propio proceso (tanques agitados para la preparación de los vehículos a cielo abierto) o bien en la correspondiente a la limpieza (recipientes de almacenamiento o decantación empleados en una etapa previa al tratamiento de recuperación).

El principal efecto de los solventes usualmente empleados en la elaboración de pinturas es la transformación de la materia orgánica por absorción mientras que los clorados producen cloro atómico que destruye la capa de ozono.

## 2.6. Manejo de residuos

El manejo sustentable de los residuos significa invertir la pirámide de cómo se manejan los residuos actualmente. Hoy en día la gran mayoría de los residuos terminan en vertederos. Sin embargo, se pueden reducir los metros cúbicos de basura, si previamente existe la reducción, reutilización, reciclaje e incluso la recuperación de energía, a partir de ellos.

- La prevención de residuos significa prevenir la producción de basura, y esto se logra a través de la actitud y comportamiento de las personas (menos compras y envoltorios) y la una legislación que apoye las buenas prácticas.
- Reutilizar productos que de otra manera se convierten en basura, pueden proveer de beneficios sociales, económicos y ambientales. Esto se logra a través de donaciones, ferias libres, mantenimiento entre otros.
- Reciclar consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. Para que esto, el material debe ser capaz de ser reconvertido en una forma en que pueda ser usado, y segundo debe haber una demanda por el nuevo producto.
- Se puede recuperar energía de los desechos residuales. Las tecnologías disponibles incluyen: digestión anaeróbica, gasificación, compostaje.
- Todos los residuos que no son reciclados y de los cuales ya no hay valor alguno que recuperar, terminan en los vertederos. Esto representa la última opción deseable de la basura en su jerarquía.

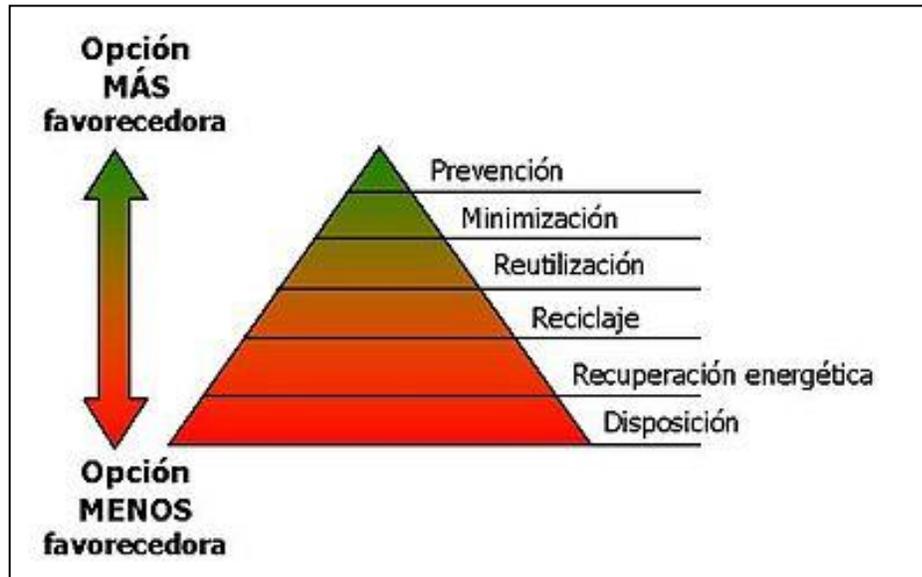
Dicha información es mejor interpretada mediante la pirámide de manejo de residuos.

### 2.6.1. Pirámide de manejo de residuos

La pirámide de manejo de residuos fue desarrollada por la Agencia para la Protección Ambiental Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica. La misma fue publicada por primera vez en el Acta de Prevención de la Contaminación (Pollution Prevention Act.), de 1990.

El gráfico ilustra el orden apropiado en que se deben manejar los residuos, con el fin de obtener resultados de menor impacto negativo para el medio ambiente.

Figura 2. Pirámide de manejo de residuos



Fuente: FLORIDA, Pedro Mateo. *Pirámide de manejo de residuos*. p.150.

## **2.7. Sistema de prevención y control de contaminantes**

El control y la prevención de la contaminación requieren, en una primera etapa, la diagramación de un proyecto y la posterior gestión del mismo, es decir la utilización de todos los recursos disponibles para alcanzar los objetivos propuestos.

La reducción de la contaminación ambiental puede implementarse en el origen, por reciclado o tratamiento de los residuos remanentes. Un programa de reducción de los efectos contaminantes debe contemplar todas las variables involucradas con el fin de alcanzar paralelamente una mejora en la eficiencia de la producción.

En una primera etapa, se debe diseñar el proyecto (aceptación del compromiso por parte de las autoridades de la empresa; selección de los responsables; definición de los objetivos; identificación de las fuentes o áreas de contaminación; difusión de la cultura de controlar la polución; entre otros).

Posteriormente se debe analizar la factibilidad del programa (análisis técnico; evaluación económica; obtención de fuentes de financiamiento, entre otros) y finalmente se debe instrumentar la aplicación (redacción de un manual de operaciones y mantenimiento; formación de recursos humanos; relevamiento de los datos de las principales variables contaminantes; revisiones periódicas de las operaciones; interpretación de la información, entre otros).

### **2.7.1. Clasificación de residuos industriales**

Los residuos industriales, según su peligrosidad para la salud de los seres humanos y el medio ambiente, se clasifican en tres categorías: Peligrosos

(Clase 1, generan agresiones a la naturaleza, es decir al medio ambiente y al ser humano); No Peligrosos (Clase 2, solo producen efectos moderados sobre el ecosistema) e Inertes (Clase 3, no provocan impacto ambiental de significación).

En lo referente al concepto de peligrosidad, este se define considerando las siguientes propiedades:

- Inflamabilidad: líquidos con punto de inflamación inferior a 60 °C; sólidos o lodos que en condiciones normales de presión y temperatura se inflaman espontáneamente por absorción de energía o humedad del medio ambiente, entre otros; materiales que liberan oxígeno gaseoso por reacciones espontáneas, entre otros.
- Reactividad: materiales que generan gases y humos en contacto con agua o bien que producen reacciones violentas por acción térmica o cualquier otra forma de energía absorbida.
- Corrosividad: sustancias que poseen pH fuertemente ácidos o alcalinos en medio acuoso (corrosión electroquímica) o bien materiales que debido a su elevada energía libre presentan inestabilidad, generalmente a alta temperatura (corrosión química).
- Toxicidad: productos que generan consecuencias tales como mortalidad, irritación de la piel y mucosas, asfixia, alergia, entre otros.

## **2.8. Prevención y control de contaminantes en el proceso**

Previamente a considerar el tratamiento correspondiente a cada residuo en particular, resulta fundamental aplicar una serie de premisas que resultan útiles para el correcto manejo de la gestión ambiental. En primera instancia se debe tener en cuenta la importancia de reducir en la fuente la generación de los

residuos a través de la optimización del proceso de producción y de la mejora en el manejo de los materiales.

También resulta prioritario reutilizar cualquier insumo o materia prima vinculada al proceso con el fin de lograr la máxima disminución de los desperdicios. Otra técnica a aplicar consiste en reciclar los residuos finales para lograr una nueva puesta en valor del material y posteriormente implementar su reutilización.

Por otro lado, también debe contemplarse la posibilidad de sustitución de las materias primas que generan residuos peligrosos durante el proceso de producción, modificando las formulaciones para obtener un producto de idéntico desempeño en servicio pero elaborado con materias primas de bajo o nulo impacto ambiental.

Las mejoras de las operaciones incluyen políticas de concientización del personal, de modificación en los procedimientos y también de prevención de pérdidas; de esta manera, la mitigación del impacto ambiental permite establecer paralelamente, con base en una mejor gestión, importantes ahorros en materias primas e insumos.

La prevención y el control de la contaminación requieren en primera instancia contemplar los siguientes tópicos:

- Redactar una guía preliminar de trabajo para el diseño del proyecto. Tiene como objetivo definir un marco operativo de todo el proceso para tornarlo más eficiente y disminuir las pérdidas; la implementación de este tipo de gestión resulta oportuno sustentarla en las Normas ISO 9000 (aseguramiento de calidad) e ISO 14000 (gestión ambiental).

Capacitar al personal en actividades que involucran la reducción de residuos. Posee como objetivo difundir los procedimientos y políticas organizacionales destinadas específicamente a la implementación de condiciones operativas técnica y ambientalmente confiables, al funcionamiento óptimo de los equipos bajo condiciones de seguridad y a la adecuada manipulación de las materias primas, insumos y productos.

Los cambios en los procesos, contemplados en el proyecto preliminar, generalmente involucran la modificación de las prácticas operativas, la reducción de los solventes de limpieza, el reemplazo de materias primas e insumos y finalmente la adopción de nuevas tecnologías.

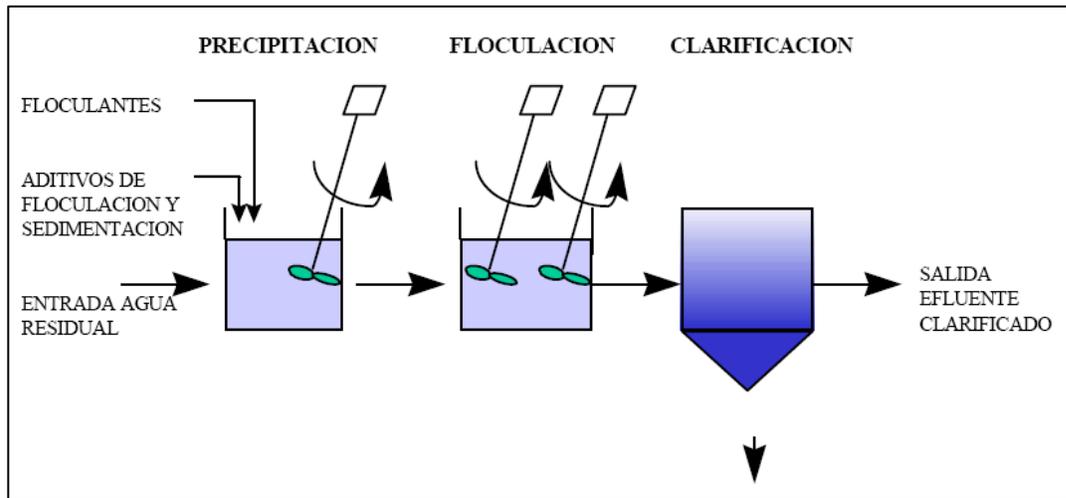
## **2.9. Métodos para el control de contaminantes en efluentes**

La utilización de un tratamiento u otro depende principalmente de las características de las corrientes de residuos a tratar. A continuación se describe en forma general los distintos tipos de pretratamiento y tratamientos y algunos criterios que se deben tener presente al momento de aplicarlos.

### **2.9.1. Tratamiento fisicoquímico**

La mayoría de los efluentes industriales requieren tratamiento químico o separación de sólidos previo al tratamiento biológico. El tratamiento fisicoquímico es más efectivo que el biológico para la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y de fósforo, pero es menos efectivo para la remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y de nitrógeno-amoniaco. Por lo tanto, el tratamiento fisicoquímico por sí solo es insuficiente para la mayoría de los efluentes industriales.

Figura 3. **Esquema de precipitación química y procesos asociados**



Fuente: FLORIDA, Pedro Mateo. *Pirámide de manejo de residuos*. p.180.

### 2.9.2. **Tratamientos biológicos**

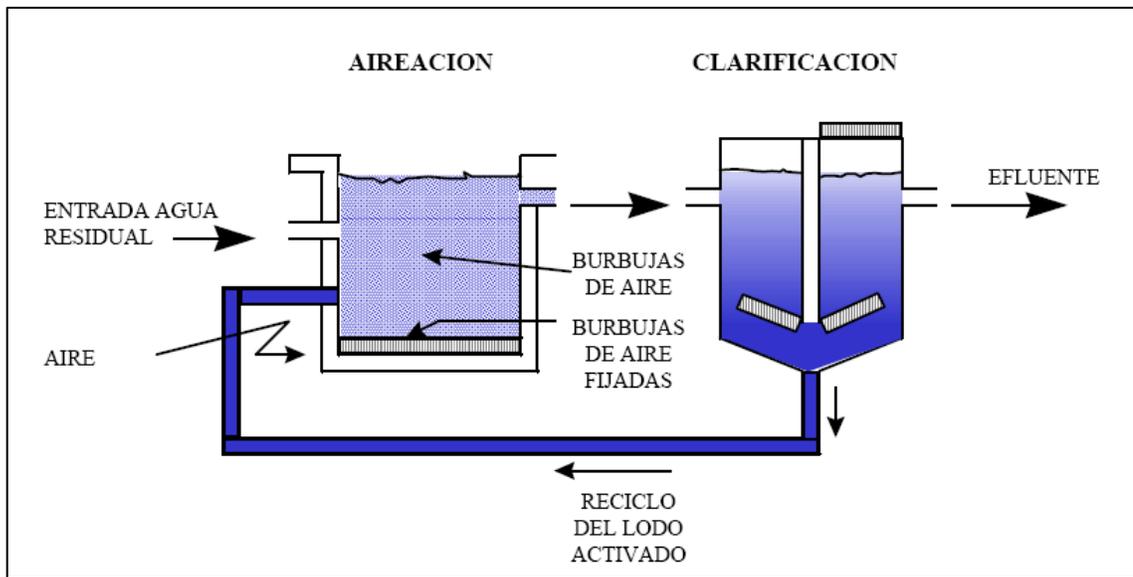
Este tratamiento puede tener lugar tanto aeróbica como anaeróticamente. Su tasa de degradación de materia orgánica depende de la biodegradabilidad del efluente. La biodegradabilidad es el potencial de un efluente a poder ser degradado (oxidado) por medio de un proceso bacteriano.

Un compuesto que en forma aislada es biodegradable, no necesariamente puede ser tratado biológicamente, ya que su biodegradabilidad depende de la presencia de otros compuestos orgánicos. Es el balance de nutrientes y de factores fisicoquímicos lo que es importante. La razón de DBO/DQO es una medida de cuan tratable biológicamente es el desecho en cuestión. Las aguas de desecho industrial tienen por lo común bajos valores de dicha razón.

Para la remoción de la DBO, los residuos líquidos de la industria de pintura son tratados con oxidación aeróbica principalmente.

En la siguiente figura se muestra el esquema de funcionamiento de la aireación, que es el tratamiento biológico más utilizado en la industria

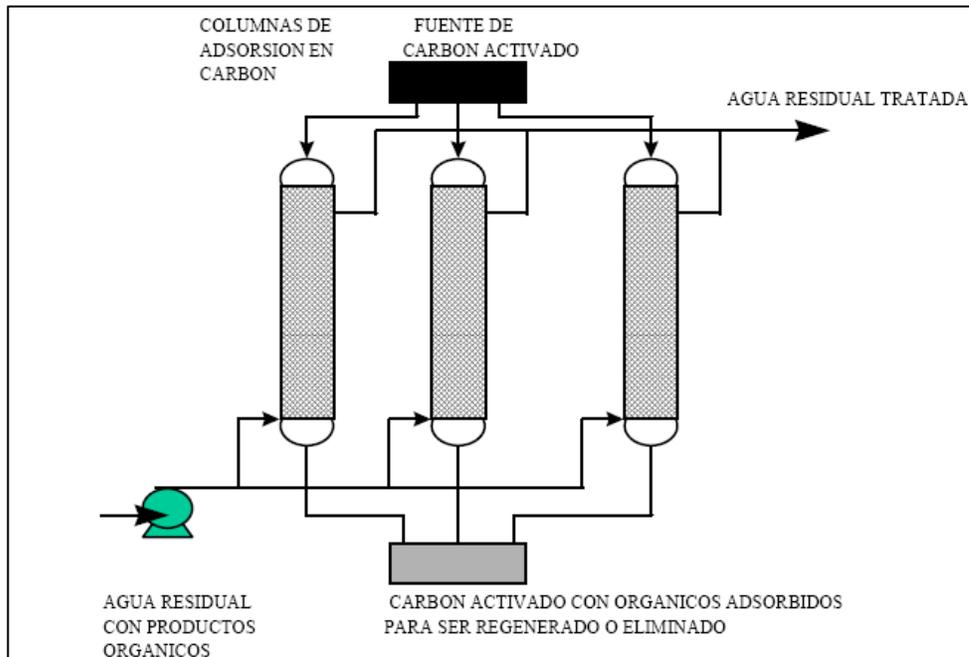
Figura 4. **Esquema de tratamiento de lodos activados**



Fuente: FLORIDA, Pedro Mateo. *Pirámide de manejo de residuos*. p.180.

La utilización de carbón activado granulado, remueve, por adsorción, el color y muchos compuestos orgánicos presente en los residuos líquidos de la industria de pinturas principalmente. En la siguiente figura se presenta un esquema de la operación de adsorción en carbón activado.

Figura 5. Esquema adsorción en carbón



Fuente: FLORIDA, Pedro Mateo. *Pirámide de manejo de residuos*. p.181.

## 2.10. Tratamiento de residuos líquidos en la industria de pinturas

Se tiene conocimiento de que existen diversos métodos de control de contaminación de líquidos, pero este es un diseño muy eficaz en cuanto a residuos desechados por plantas productoras de pinturas. Debe destacarse que en cada una de sus aplicaciones existen diferencias, pero la idea fundamental del proceso es igual en todos los casos.

Este tratamiento presenta las siguientes etapas:

- Remoción de aceites y grasas
- Ecuilización y neutralización

- Floculación
- Aireación
- Clarificación

### **2.10.1. Remoción de aceites y grasas**

Los procesos más utilizados en la remoción de estas especies son los siguientes:

- Separación por gravedad: efectiva en la remoción de las especies en cuestión, ya sea que estas estén dispersas o no en el agua a tratar. Además, la operación de este proceso es simple y económica. Por otro lado, tiene la limitante o desventaja de tener poca eficiencia en la remoción de aceites emulsionados, no puede remover aceites solubles, o sea, se restringe su uso a un tamaño de las gotas de los aceites mayor que 20  $\mu\text{m}$ .
- Flotación con aire: es efectiva en la remoción de aceites suspendidos, dispersos y emulsionados: sin embargo, en los dos últimos casos se hace necesaria la colaboración de ciertos compuestos químicos. La mayor desventaja que este proceso presenta es la difícil manipulación de las borras químicas que se generan cuando se utilizan agentes coagulantes.
- Floculación química: es efectiva para altas cantidades de aceites disueltos, pero presenta problemas en la manipulación de las borras generales, al igual que en el caso anterior.
- Filtración: efectiva en la remoción de sólidos suspendidos, por lo que no presenta mayores problemas con los aceites emulsionados, suspendidos y dispersos en las aguas a tratar. La desventaja que tiene este proceso

es que se necesita de un retrolavado para limpiar el equipo, lo cual genera una corriente que se debe tratar a su vez por otro proceso.

- Coalescencia: efectiva es la remoción de aceites y grasas en todas las formas que se presenten, excepto aquellas en que estas especies sean solubles en la corriente líquida a tratar.
- Procesos con membranas: efectivos en la remoción de aceites solubles, pero presenta la desventaja de no poder tratar altos flujos, además de poseer, las membranas, una vida útil limitada.
- Procesos biológicos: muy efectivos en la remoción de aceites solubles, pero poseen la desventaja de requerir, para las corrientes a tratar, un pre-tratamiento largo para reducir las concentraciones de aceites a valores menores que 40 mg/l.
- Adsorción con carbón activado: efectiva es la remoción de todos los compuestos de aceites, incluyendo los aceites solubles, pero requiere de un tratamiento previo (micro filtración de cloro, de manera de no inhibir el carbón activado) para la alimentación, bastante largo. Además, el carbón se debe regenerar o reemplazar cada cierto tiempo, lo que lo convierte en un proceso de alto costo.

### **2.10.2. Ecuilización y neutralización**

Los efluentes del proceso de lavado con soda cáustica son muy alcalinos y, por lo tanto, requieren de una neutralización para poder ser tratados posteriormente. Estos dos procesos se describen a continuación:

- Ecuilización: es utilizada para minimizar las variaciones de flujo y de composición en las corrientes de residuos líquidos.
- Neutralización: uno de los requerimientos más comunes para el tratamiento químico es la neutralización, es decir, la cantidad de base o

ácido que es necesario agregarle, para que esta alcance un cierto valor predeterminado.

### **2.10.3. Floculación**

Luego de la neutralización, el efluente entra a un proceso de clarificación por floculación. Las borras generadas durante este proceso se someten a una deshidratación con el objeto de reducir el volumen de estos residuos. Este proceso normalmente se lleva a cabo por medios mecánicos. Durante la floculación, el movimiento suave de paletas agitan una mezcla de agua y agentes coagulantes para producir el flóculo, el cual precipita. La floculación consiste en el aumento de la inestabilidad de la suspensión coloidal. Esta inestabilidad es esencialmente controlada por la química del proceso.

### **2.10.4. Aireación**

En la industria de pintura uno de los tratamientos biológicos más utilizados es la aireación. La aireación es un proceso mecánico a través del cual se procura un contacto íntimo del aire con el agua. Aplicada al tratamiento de agua, la aireación transfiere moléculas gaseosas, principalmente oxígeno, del aire al agua. Aunque la meta es disolver oxígeno en agua, la aireación incluye también la remoción del agua, gases indeseables, como dióxido de carbono y metano. La aireación casi siempre acompaña a otros procesos o reacciones, que pueden ser de naturaleza física, química o bioquímica.

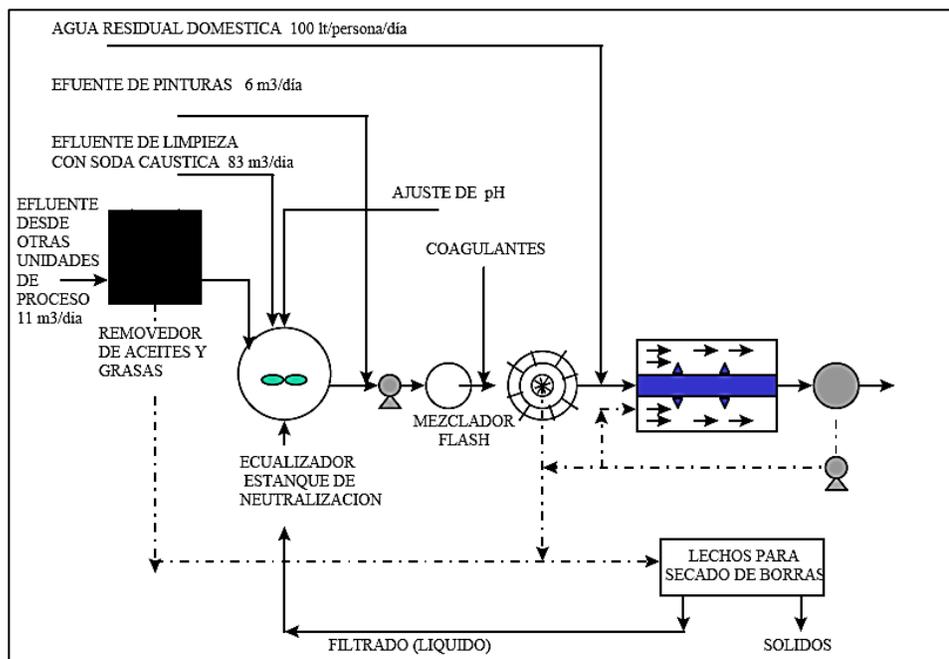
### **2.10.5. Clarificación**

La clarificación es esencialmente un proceso de sedimentación, en el cual la corriente ingresa al equipo y lo abandona con una cantidad de materia en suspensión mucho menor.

Los estanques clarificadores se utilizan para fines como flotación de grasas, igualación y reducción de la DBO y para eliminar la materia precipitable en suspensión. Teóricamente, una partícula suspendida en una solución de aguas residuales precipitará a una velocidad constante con respecto a la solución mientras la partícula permanece aislada. Cuando se une con otras partículas, su tamaño, forma y densidad resultante, cambiará lo mismo que su velocidad de precipitación. La velocidad de precipitación típica también se altera por cambios en la temperatura y densidad del líquido solvente en el cual se mueve la partícula.

El proceso antes descrito se presenta en la siguiente figura para el tratamiento de 100 m<sup>3</sup>/día de residuos líquidos en una planta de pinturas.

Figura 6. Esquema de clarificación de agua



Fuente: FLORIDA, Pedro Mateo. *Pirámide de manejo de residuos*. p.197.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

El siguiente diseño describe las variables independientes y dependientes que se utilizan en los cálculos de los análisis realizados, la delimitación del campo de estudio y se enlistan los materiales y el recurso humano que se tuvo disponible para el desarrollo de la investigación. Se detallan las técnicas cualitativas y cuantitativas así como la recolección, ordenamiento y tabulación de información.

#### **3.1. Variables**

Para el diseño de un plan de control, prevención y tratamiento de residuos en una empresa de pinturas se deben tener distintas variables de control, las cuales se detallan y clasifican a continuación.

##### **3.1.1. Variables independientes**

- Flujo volumétrico de toda la planta de producción de látex y base aceite (gal/ mes).
- Flujo de residuos líquidos (gal efluente/día).
- Flujo de residuos sólidos (lbs/día).

##### **3.1.2. Variables dependientes**

- Temperatura ambiente
- Área de almacenamiento
- Tasa de generación de residuos por proceso

### **3.2. Delimitación de campo de estudio**

- Universo: la compañía bajo estudio, cuenta con cuatro diferentes plantas de producción: planta de resina, aerosoles, productos especiales y productos de línea. Cada planta genera sus propios residuos tanto líquidos como sólidos, de los cuales no se tiene el control de ninguno de ellos.
- Muestra: los análisis se tomarán de la planta de producción de pinturas de línea, las cuales se encuentran clasificadas en base agua y base solvente, por lo tanto solo son dos procesos de producción. Esta planta es la que más produce en cuanto a volumen y por ende es la mayor generadora de residuos tanto líquidos como sólidos. El protocolo podrá ser aplicado para la demás plantas, acoplándolo según los contaminantes generados.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Los recursos humanos con que se contará son:

- Tesista: Lucía Pamela Rodas Rodríguez
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada
- Asesor interno: Ing. Guillermo Meneses
- Otros: personal operativo de la planta de producción

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Los recursos necesarios para cumplir con dicho trabajo son:

- Equipo de cómputo
- Equipo de laboratorio
- Medidor de volúmenes
- Cronómetro
- Toma muestras

### 3.5. Técnicas

A continuación se presentan las diferentes técnicas a utilizar.

#### 3.5.1. Técnicas cuantitativa

Para evaluar las muestras obtenidas de los lotes de producción, se procederá a realizar un análisis fisicoquímico para lo cual se necesitará determinar la presencia y cantidades de:

Figura 7. Variables cuantitativas

VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO
DBO	Cantidad de material susceptible a ser consumida por medios biológicos.	Test de DBO
DQO	Cantidad de material susceptible a ser consumida por medios químicos.	Test de DQO
Total de sólidos en suspensión	Cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro - mg/l), presentes, en suspensión.	Método TSS
Volumen de residuos líquidos	Volumen de residuos líquidos por galones producidos de una línea específica de pintura.	
PH	Medida de acidez o alcalinidad de una solución.	Potenciómetro

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.2. Técnica cualitativa

Se deben de tomar en cuenta características del efluente líquido producto del lavado de los tanques y reactores, las cuales se describen a continuación:

Tabla I. **VARIABLES cualitativas**

<b>VARIABLE</b>	<b>CARACTERÍSTICA</b>
Olor	Ayudará a reconocer los tipos de solventes presentes en el efluente.
Material flotante	Material visible en la superficie

Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para cumplir con los objetivos establecidos en el presente estudio de investigación se hizo un análisis acerca de la situación actual de la empresa, determinando los residuos generados, sus flujos y los puntos de generación.

Con dicha información se procedió a tipificar los residuos de mayor generación para enfocar en ellos la propuesta de prevención, control y tratamiento.

Al agua residual se determinó sus propiedades fisicoquímicas y otros parámetros de control para determinar qué tipo de sistema de tratamiento necesita ser implementado.

En función de la información recolectada del sistema de limpieza de taques, de la recolección de solventes de limpieza y de los posibles usos, se

propuso un sistema de control y prevención tanto de residuos líquidos como de los sólidos.

Para la recolección y ordenamiento de la información requerida para dicha investigación, se procedió a la observación y cuantificación de flujos mediante tablas, recolectando datos por un mes.

### **3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

La fase experimental de dicho trabajo de investigación inicia en el momento en el que determina los residuos generados por la planta de producción y sus flujos. Continuando con la evaluación fisicoquímica del agua y las propuestas de control, prevención y tratamiento de los residuos.

Los cuales se detallan a continuación.

#### **3.7.1. Flujo de residuos sólidos producidos**

- Se cuantificó el número de bolsas utilizadas para el despacho de materia prima por lote producido.
- Se multiplicó por el número de lotes producidos diarios según temporada. Para determinar así el número de bolsas por día.

#### **3.7.2. Flujo de residuos líquidos producidos en látex**

- A la entrada del tanque de almacenamiento se hicieron 10 corridas diarias, determinando el tiempo en el que se llenaba una cubeta de 5 galones. Obteniendo así el flujo en galones por minuto.

- Se midió el tiempo de lavado de los tanques de látex, diferenciando según su capacidad volumétrica.
- Se multiplicó dicho tiempo con el flujo volumétrico para obtener la cantidad de galones de agua residual producidos.

Tabla II. **Volumen de agua residual**

<b>Capacidad del tanque (gals)</b>	<b>Min</b>	<b>gal de agua residual</b>
500	2,81	34,14
1 000	4,13	50,20
2 000	5,17	62,89
5 000	8,17	99,39

Fuente: elaboración propia

- Se determinó el porcentaje del agua residual según la capacidad el tanque. Dividiendo gal de agua residual entre la capacidad del tanque.

Tabla III. **Porcentaje de agua residual por tanque de producción**

<b>Capacidad del tanque (gals)</b>	<b>Agua de limpieza (gal)</b>	<b>% de agua residual</b>
500	34,14	7 %
1 000	50,20	5 %
2 000	62,89	3 %
5 000	99,39	2 %

Fuente: elaboración propia.

- A partir de mayor porcentaje se calculó los galones de agua residual producidos diarios, multiplicándolo por los galones diarios de pintura producidos en promedio.

Tabla IV. **Galones de agua residual diaria**

<b>Galones de pintura diarios producidos</b>	<b>Galones de agua residual diaria</b>
25 000	1 750,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.3. Flujo de solvente de limpieza producidos en aceite

- Utilizan medio tonel para la limpieza de cualquier tanque de producción, esto equivale a 27 galones.
- En función de los lotes producidos según temporada, se determinó los galones de solvente para limpieza diarios.

Tabla V. **Galones de solvente de limpieza por día**

<b>Temporada</b>	<b>Núm. Max de lotes diarios</b>	<b>Gal/día</b>
Baja	10	270
Alta	18	486

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.4. Costo de agua de proceso

- La dosificación de cloro y biocida suma Q 0,74 por galón de agua.

- Se multiplicó dicho costo por la cantidad de galones de agua para la limpieza de tanques.

Tabla VI. **Costo de agua de proceso**

	<b>Q/gal</b>	<b>Q/día</b>
Agua de pozo (gal)	Q 0,00	Q 0,00
Agua de proceso (gal)	Q 0,74	Q 1 295,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.7.5. Costo de floculante

- Se procedió a calcular la cantidad máxima de agua residual por tratar semanalmente, multiplicando 1 750 galones por 7 días.
- Luego se calculó la cantidad de ferrifloc necesaria para esa cantidad de agua residual, tomando de base que se requieren 50 mL de ferrifloc por cada 220 galones.
- Por último se costeo semanalmente, teniendo de base que 1 mL cuesta Q 0,03

Tabla VII. **Costo de ferrifloc**

<b>Gal de agua residual / semana</b>	<b>mL de ferrifloc / semana</b>	<b>Q / semana</b>
12 250	2 785	Q 83,55

Fuente: elaboración propia.

### **3.8. Análisis estadístico**

El presente trabajo de investigación será puramente descriptivo por lo que no aplica realizar un análisis estadístico.

- Plan de análisis de los resultados

El plan para el análisis de los resultados obtenidos se basará en la comparación con el Acuerdo Gubernativo 509-2011 y 236-2006.

A partir de ello se tomarán medidas para el control de los contaminantes por medio de cambio en el proceso y proponiendo su respectiva forma de tratar dichos contaminantes.

Según sean los resultados algunos de los tratamientos que podrían llevarse a cabo sería:

- Remoción de aceites y grasas
- Equalización y neutralización
- Floculación
- Aireación
- Clarificación

#### **3.8.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

No se utilizarán métodos ni modelos de los datos según sus variables ya que no aplica para la presente investigación.

### **3.8.2. Programas a utilizar para análisis de datos**

Se utilizarán los programas de Office, como Excel y Word para el análisis de datos, ya que se necesitan hojas de cálculo para obtener resultados y posterior a ello su respectiva interpretación.

Asimismo se utilizará el programa Visio para la realización de diagramas de flujos de proceso para las propuestas de limpieza y tratamiento de los residuos.

Para tener acceso a las fórmulas de cada una de las líneas que produce tanto laboratorio como planta y así conocer la materia prima que conlleva se utilizará el programa AS400, proporcionado por la empresa.

## 4. RESULTADOS

Para la presentación de resultados del presente trabajo de investigación se procederá al desarrollo de capítulos. El cual conlleva un análisis de la situación actual de la planta de producción bajo estudio, a partir de ello se plantea una propuesta de control y prevención de contaminantes y por último el tratamiento de los residuos líquidos generados en el proceso de fabricación de la planta productora de pinturas, los cuales serán detallados por capítulos.

### 4.1. Capítulo I: diagnóstico inicial

La revisión inicial tiene como objetivo conocer la situación actual del proceso productivo, las fuentes de generación de residuos, tipos de residuos, flujos volumétricos y los parámetros fisicoquímicos de los mismos.

- Descripción del proceso de producción

Actualmente la compañía bajo estudio cuenta con una planta de producción de pinturas. Dicha producción se divide en dos líneas:

- Pintura látex= base agua
- Pintura de aceite= base solvente

La producción de dicha planta se divide en dos temporadas: temporada baja que es de febrero a agosto, en donde se producen hasta 500 000 galones al mes y de septiembre a enero, en temporada alta, se producen aproximadamente 1 millón de galones al mes.

El proceso de producción puede ser descrito de forma general para ambas líneas de pintura, látex y aceite, por medio de dos procesos:

- Fabricación de slurrys:

Los *slurrys* o lodos son dispersiones de cargas, en su medio ya sea agua o solvente, según su línea de producción. Existen *slurrys* de carbonato de calcio de diferentes tamaños de poro, de dióxido de titanio y de silicato de aluminio, las cuales son conocidas como cargas.

Adicional a las cargas, la materia prima que conforman los *slurrys* son solvente, biocidas, dispersantes y agentes reológicos.

El proceso productivo de *slurrys* consiste en la dispersión de las cargas, en donde se requieren altas velocidades y flujos axiales que se logran por medio de dispersores de discos dentados.

- Fabricación de pintura:

Una vez fabricados los *slurrys* se procede a la mezcla con otras materias primas que requiera la fórmula de cada producto.

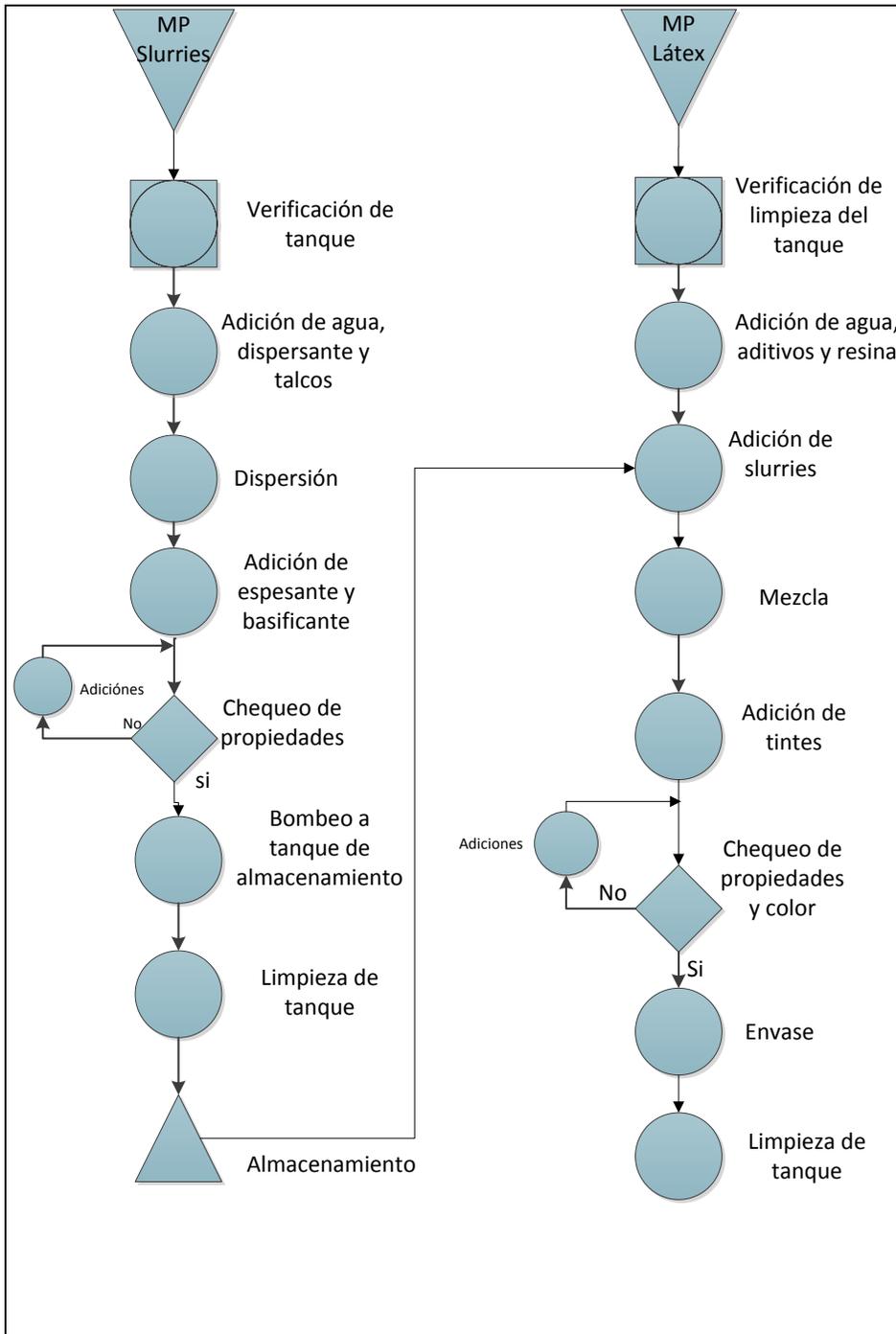
La materia prima necesaria, adicional a los *slurrys*, son: resina, solvente, dispersante, espesante, basificante, tintes y biocidas. Los cuales en el Marco Teórico se encuentra detallado la función de cada uno de ellos.

El proceso de producción únicamente requiere mezcla según el orden de adición de materia prima, velocidades y tiempo que requiera el instructivo de fabricación de cada pintura. Por último, el ajuste de color o propiedades que requiera el lote de pintura, para cumplir con especificación.

El proceso de producción de dicha planta, es por lotes, tanto en la línea de látex como en aceite. Actualmente, se cuenta con 14 tanques para la producción de látex, con capacidad de 5 000, 2 000, 1 000 y 500 galones y 10 tanques para la producción de pintura de aceite con capacidad de 5 000, 1 000, 500 y 200 galones.

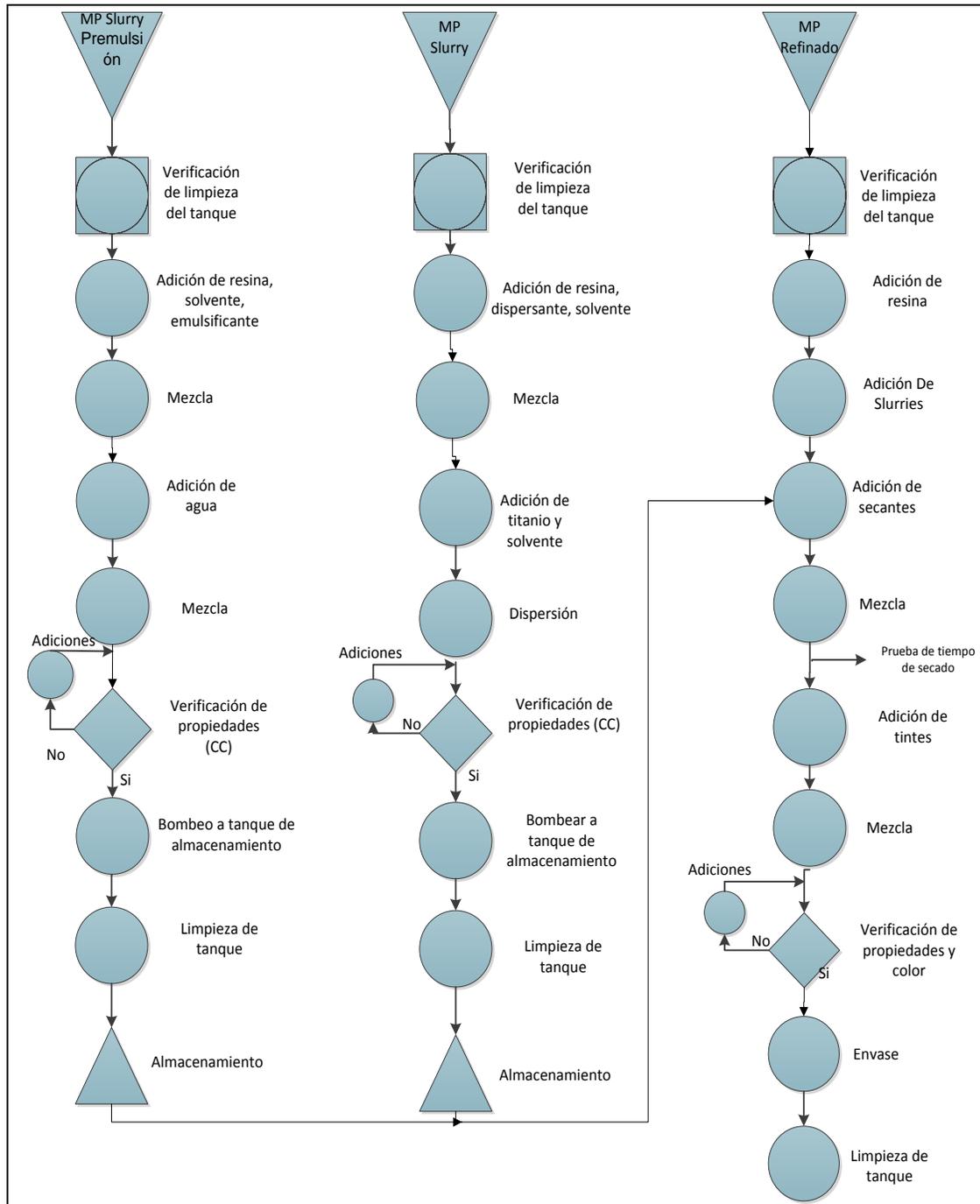
A continuación se presenta el proceso de producción de cada línea de pintura mediante diagramas de operación.

Figura 8. **Proceso de fabricación de látex**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Proceso de producción de pintura base aceite



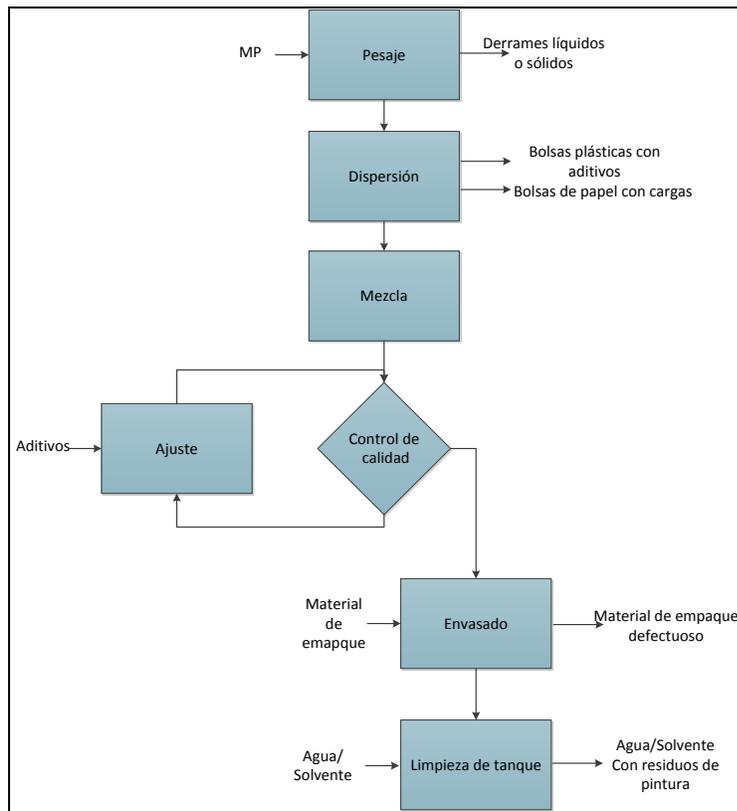
Fuente: elaboración propia.

- **Generación de residuos**

Como todo proceso productivo, se generan desechos y subproductos los cuales, para aumentar la eficiencia de la planta y la utilidad de la misma, deben ser controlados y tratados de la mejor manera.

Es por ello que una vez detallado el proceso de fabricación actual de la planta de producción bajo estudio, se procede a especificar los residuos generados en dicho proceso de producción, mediante el siguiente diagrama.

**Figura 10. Generación de residuos**



Fuente: elaboración propia.

- Residuos sólidos

Como se puede visualizar la figura 8, los residuos sólidos obtenidos en el proceso de producción de pintura, son las bolsas de despacho de materia prima y material de empaque que se encuentre defectuoso, pero esto es poco probable ya que existe un previo control de calidad de todo el material de envase que ingresa.

En cuanto a las bolsas de despacho de materia prima, estas llegan a un máximo de 10 bolsas tanto plásticas como de papel, por lote producido.

A continuación se tabula los datos de residuos sólidos generados:

Tabla VIII. **Flujo de residuos sólidos producidos**

<b>TEMPORADA</b>	<b>Núm. MAX DE LOTES DIARIOS</b>	<b>BOLSAS/DÍA</b>
Baja	10	110
Alta	18	180

Fuente: elaboración propia.

- Residuos líquidos

Todo líquido, sea agua o solvente, que ya no forma parte de la materia prima para la producción de pintura, es considerado como efluente residual. En cuanto al efluente generado en la producción de pinturas, este proviene de la limpieza de los tanques, lo cual fue descrito en figura 8 y se tipifica según la línea de pintura fabricada.

- Agua

La limpieza de tanques de pintura látex, se ejecuta con mangueras de agua con el objetivo de limpiar y arrastrar la materia prima presente en el tanque.

El efluente de todos los tanques de fabricación de pintura látex desemboca bajo una misma línea de tubería que termina en un tanque de almacenamiento. A partir de este tanque de almacenamiento inicia una planta de tratamiento de agua que se encuentra operando, pero con muchas deficiencias tanto del proceso como del equipo, razón por la cual en el capítulo III se hace una propuesta diferente de tratamiento para descargar agua sin causar daños medio ambientales.

El flujo volumétrico del efluente es continuo, dado a que existe una bomba centrífuga que lleva el efluente al tanque de almacenamiento. El cual se especifica en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Flujo de residuos líquidos producidos en látex**

<b>gal/min</b>	<b>galones diarios</b>
12,17	1 750

Fuente: tabla núm. 3, 4 y 5.

Se tomaron muestras de dicho efluente y se enviaron a un laboratorio certificado de análisis de aguas, para determinar las propiedades fisicoquímicas del mismo, las cuales se especifican en la siguiente tabla:

Tabla X. **Propiedades fisicoquímicas del efluente de látex**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DIMENSIONAL</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>DQO</b>	mg/L	46 500
<b>DBO</b>	mg/L	2 458
<b>Temperatura</b>	°C	
<b>Material flotante</b>	Ausencia /presencia	Ausente
<b>Sólidos suspendidos</b>	mg/L	2,07E+05
<b>Sólidos sedimentables</b>	mg/L	<1
<b>pH</b>		9,91
<b>Coliformes fecales</b>	No. En 100 mL	<2
<b>Color</b>	Unidades PT-Cobalto	1,03E+06
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	5
<b>Fósforo total</b>	mg/L	60,8
<b>Nitrógeno total</b>	mg/L	8,3

Fuente: resultados Hidroaqua, anexos 1.

Según los límites máximos permisibles que establece el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, para la descarga al alcantarillado público en la etapa uno del reglamento. El efluente no cumple con las especificaciones del acuerdo, por lo tanto es indispensable un estudio de tratamiento del mismo.

- Solvente

En cuanto al efluente de solvente, este es generado en la limpieza de tanques de pintura de aceite. En donde actualmente se utilizan 27 galones de solvente por lote producido para limpiar dicho tanque.

A continuación se presenta una tabla de los flujos volumétricos del solvente utilizado para la limpieza de tanques y que se convierte en solvente sucio, llegando a ser un desecho.

Tabla XI. **Flujo volumétrico de solvente para limpieza**

<b>TEMPORADA</b>	<b>Núm. MAX DE LOTES DIARIOS</b>	<b>GAL DE SOLVENTE / LOTE</b>
Baja	10	270
Alta	18	486

Fuente: tabla núm. 6.

Los tanques de producción de pintura de aceite, cuentan con la limitante que tiene una única entrada por la parte de arriba, muy pequeña, lo cual dificulta su limpieza. En donde la metodología actual de limpieza es distribuir el solvente por las paredes del tanque, luego dar una mezcla vigorosa a fin de limpiar las aspas y por último recuperar este solvente sucio en toneles.

En un inicio el objetivo principal con estos toneles era venderlos a empresas que se encargaran de darle su tratamiento, a fin de obtener un beneficio de este desecho y sobretodo porque la planta actualmente no cuenta con un sistema de recuperación de solvente.

Por lo tanto al tratar tanto el efluente recuperado de la planta como los toneles de solvente sucio se estarían abarcando todas las fuentes de contaminación de la fabricación de las pinturas.

## **4.2. Capítulo II: control y prevención de contaminantes**

El principal objetivo del control y prevención de contaminantes es reducir la cantidad de residuos generados, aprovechándolos al máximo previo a su disposición final.

Al cumplir con estos objetivos del control y la prevención, se reducen costos que requiere el tratamiento de los mismos, disminuye el volumen de residuos aportando una mayor eficiencia al proceso productivo. Así como, cumplir con la legislación nacional y aumentar la responsabilidad social de la compañía.

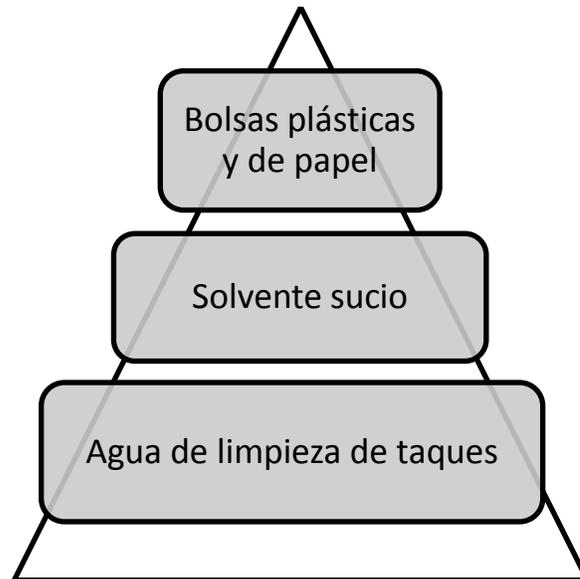
Para el control y la prevención se tomarán de base los siguientes aspectos:

- Reducción de residuos
  - Cambio en el proceso
  - Cambio en el producto
- Reciclaje
- Tratamiento (ver capítulo III)
- Reducción de residuos

La reducción de residuos consiste en minimizar todo material que no forma parte del producto final, pintura de aceite o látex, sin disminuir la eficiencia y el volumen de producción.

Para plantear un eficiente plan de reducción se necesita establecer una jerarquía de residuos. La cual se basa en la información del capítulo anterior y se visualiza por medio del siguiente diagrama.

Figura 11. **Jerarquía de residuos**



Fuente: elaboración propia.

La mayor fuente de residuos proviene de la limpieza de los tanques, predominando el agua sobre el solvente y posterior las bolsas de despacho de materia prima.

En función de la jerarquía de residuos se plantean las siguientes acciones:

- Cambios en el proceso
  - Mejoramiento en las prácticas

Actualmente y como anteriormente fue descrito en el capítulo I, la limpieza de los tanque de látex se hace por medio de mangueras y para los tanques de aceite, por medio de la distribución manual de solvente y con la ayuda de brochas.

Para optimizar este proceso y mejorar las prácticas de limpieza, se debe buscar disminuir el volumen de líquido empleado para la limpieza de los mismos.

Para lo anterior se propone el uso de mangueras de alta presión para aprovechar la fuerza que proporcionan estas, lo cual ayudará a una mejor limpieza sin necesidad de utilizar mucho líquido, reduciendo tiempos y logrando una mayor eficiencia en la limpieza.

La misma mejora puede implementarse para la limpieza de los tanques de producción de pintura base aceite, con la excepción de utilizar mangueras de alta presión resistente a solventes.

Para seleccionar el tipo de manguera y tener una mayor eficiencia, incrementar la productividad y reducir tiempos de limpieza y mantenimiento es importante considerar los siguientes aspectos:

Tabla XII. **Aspectos para la selección de mangueras**

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>PINTURA LÁTEX</b>	<b>PINTURA DE ACEITE</b>
<b>Nivel de limpieza</b>	Profunda	Profunda
<b>Líquido de limpieza</b>	Agua	Solvente
<b>Tamaño de tanque max</b>	5 000 gals	5 000 gals
<b>Impacto</b>	Fuerte	Fuerte

Fuente: elaboración propia.

Con base en la tabla anterior se recomienda utilizar para la limpieza de tanque de látex, mangueras flexibles de PVC reforzada con tejidos de poliéster para alta presión. Y para la limpieza de solvente, mangueras de alta presión de tubo tipo Z de *nylon* flexible que tiene una alta resistencia a productos químicos,

tranzada con fibras de textil sintético que presenta una alta resistencia a la ruptura y bajo coeficiente de deformación y con una cubierta para que sea resistente a la abrasión.

- Reutilización

En la reutilización se maximiza el uso de los materiales, reduciendo así costos actuales.

Basándose en la jerarquía de residuos producidos, para obtener mayores resultados, la reutilización debe efectuarse en el agua y solvente. Las bolsas debido a que se contaminan con la materia prima que contenían no pueden ser reutilizadas.

El agua producto de la limpieza de tanques de pintura látex trae consigo materia prima que es parte de la pintura, pudiendo ser considerada como una pintura demasiado diluida. Aprovechando estas propiedades, puede ser utilizada como agua de proceso. Se debe crear un sistema de recuperación de la misma y darle un tratamiento para que se mantenga libre de una contaminación microbiana. El sistema de recuperación debe basarse según el volumen de producción.

A continuación se muestra una tabla de los volúmenes de agua residual que se generan según la capacidad volumétrica de los tanques de fabricación de pintura látex.

Tabla XIII. **Agua de limpieza según capacidad volumétrica de tanques**

Capacidad del tanque (gals)	Agua de limpieza (gal)
500	34,14
1 000	50,20
2 000	62,89
5 000	99,39

Fuente: tabla núm. 4.

Dichos volúmenes de agua de limpieza no exceden al 7 % del volumen de producción. Es decir que por cada lote de pintura fabricado se genera como máximo 7 % de agua residual.

Dado que las pinturas fabricadas en la planta de producción bajo estudio llevan como mínimo 45 % de agua en sus fórmulas, esta opción de reutilización es factible para la compañía.

Asimismo, esa agua puede clasificarse en dos, el agua utilizada para limpiar tanques de color y por aparte el agua utilizada para limpiar tanques que fabricaron colores blancos, esto con el objetivo de no dañar el color del proceso siguiente de producción, por utilizar un agua con color. En el almacenamiento de la misma se debe adicionar un biocida, lo cual mantendrá libre de microbios y asimismo ayudará en la fabricación de la pintura, ya que los biocidas son parte de las fórmulas base agua.

- Reducción del consumo

Para la reducción de consumos se busca minimizar el uso de recursos y a la vez maximizar el ahorro. El mayor consumo son los líquidos para la limpieza de tanques.

Al existir un plan de limpieza semanal exhaustivo de los tanques de producción en el que se involucre un raspado completo de los mismos, se disminuyen los tiempos de limpieza del tanque en cada lote de producción, ya que solo se limpiará lo que esté incrustado del lote recién envasado. Por el contrario si los tanques acumulan suciedad será más difícil la limpieza y por lo tanto se requerirá de más agua o solvente.

- Capacitación del personal

Se debe programar un plan de capacitación a todo el personal de la planta de producción con el fin de concientizar, de dar a conocer los cambios y mejoras que se implementarán y los resultados que se lograrán con estos cambios con el objetivo de incentivar al personal y fomentar la conciencia ambiental tanto dentro como fuera de la planta.

- Manual de operación y procedimientos

Crear manuales de operación y procedimiento de limpieza en el que se detalle el volumen, tiempo, medio y proceso de limpieza. Asimismo, las acciones a tomar en casos de fuga y la forma correcta de la disposición final de todo el solvente utilizado para la limpieza de los equipos.

- Cambio en el producto

Otro cambio sustancial en la reducción de residuos involucra un cambio en el producto.

En el proceso productivo de pinturas, el agua extraída de pozo requiere un tratamiento para convertirla en agua de proceso, el cual conlleva cierta

dosificación de cloro y biocidas. Por ende el agua de proceso tiene un costo adicional al agua de pozo.

Si bien es cierto que al utilizar esta agua ayuda a la sanitización del tanque, no se requiere sanitizar en cada lote los tanques, ya que el producto no lo requiere, como lo es por ejemplo en los alimentos. Adicional la planta actual cumple con un procedimiento de sanitización semanal que involucra biocidas de alto contacto. Por lo tanto, la mejora en el cambio de producto para reducir costos es utilizar el agua de pozo para la limpieza de tanque y no la de proceso.

A continuación se muestra la diferencia en costo entre agua de pozo y agua de proceso.

Tabla XIV. **Costos de agua**

	<b>COSTO POR GAL</b>	<b>COSTO DIARIO</b>
Agua de pozo	Q 0,00	Q 0,00
Agua de proceso	Q 0,74	Q 1 295

Fuente: tabla núm. 7.

Al efectuar el cambio propuesto se obtendría un ahorro diario de Q1 295,00.

- Reciclaje

Una parte importante del reciclaje fue mencionado anteriormente en la reutilización de los flujos de agua o solvente utilizados en la limpieza de tanques.

Asimismo, todas las bolsas tanto plásticas como de papel empleadas para el despacho de materia prima puede ser recicladas. Como primer paso hay que utilizar solo las necesarias y luego de que se encuentran ya contaminadas por la materia prima, deben ser clasificadas según sus propiedades (plástico o papel) y luego venderlo para su debido reciclaje con alguna empresa externa que se dedica al reciclaje. Esto aportará un ingreso adicional a la planta de producción.

A continuación se resumen las acciones a tomar para el control y prevención de contaminantes para el proceso productivo actual.

Tabla XV. **Control y prevención de contaminantes**

<b>Reducción de residuos</b>	Cambios en proceso	Mejoramiento en las prácticas	Mangueras de alta presión
		Reutilización	Recirculación de agua tratada y solvente recuperado
		Reducción del consumo	Plan de limpieza de tanques
		Capacitación	Concientización
	Manual de proceso y procedimientos	Procedimientos de limpieza	
	Cambios en producto	Uso de agua de pozo	
<b>Reciclaje</b>	Recirculación de agua tratada y solvente recuperado		
	Clasificación de bolsas de despacho de MP		

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3. **Capítulo III: tratamiento**

- Tratamiento de agua

Con base en los resultados de la tabla III se puede observar que el agua residual posee propiedades fuera de los límites permisibles por el Acuerdo

Gubernativo No. 236-2006, estas propiedades son: DBO, DQO, sólidos suspendidos y color. Los cuales deben ser reducidos y en función a ello se propone el siguiente diseño de planta de tratamiento.

Acoplando el tratamiento primario de aguas residuales a la información propuesta en el capítulo I, el diseño se basará por el flujo volumétrico de agua residual obtenido en temporada alta trabajando 7 días a la semana.

Tabla XVI. **Flujo de agua residual**

<b>Gal pintura / día</b>	<b>Gal de agua residual / día</b>	<b>Gal de agua residual / semana</b>
25 000	1 750	12 250

Fuente: tabla núm. 5.

Dado a que el volumen de pintura producido no es el mismo siempre y tomando un índice de crecimiento, la planta de tratamiento de agua propuesta funcionará por lotes de 2 000 galones semanales.

Como primer paso se requiere la instalación de un tanque de almacenamiento de agua con capacidad mínima de 2 000 galones. Dicho tanque estará conectado a la tubería actual que transporta el agua que se utilizó para la limpieza de tanques.

El tanque debe ser cilíndrico de aproximadamente 1,5 m de diámetro por 4,5 m de altura, preferiblemente de acero inoxidable, lo cual contribuirá a la limpieza del mismo. Este debe estar a una mayor altura de la planta de

tratamiento, con el objetivo de aprovechar la fuerza gravitacional del agua residual para el primer paso de la planta que se detalla a continuación.

- Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es la eliminación de sólidos en suspensión que se mantienen estables en el agua. El tratamiento primario también contribuye a la reducción de DQO y DBO.

Dentro del tratamiento primario existen varios procesos que se pueden considerar como:

- Separación sólido líquido
- Sedimentación o decantación primaria
- Flotación

La separación sólido-líquido es un proceso desactualizado por lo que no es una opción, en cuanto a la flotación es un proceso que se emplea cuando existen tanto sólidos en suspensión como material flotante. Según los análisis fisicoquímicos, resumidos en la tabla III no hay presencia de material flotante en el efluente. Por lo tanto el proceso de mejor aplicación es la sedimentación o decantación primaria.

- Sedimentación o decantación primaria

La sedimentación funciona principalmente bajo la acción de la gravedad en donde las partículas individuales chocan y tienen a aglomerarse formando partículas de mayor tamaño, las cual contribuirá a la sedimentación.

Para ello se propone la instalación de un equipo de decantación. La selección de un decantador corrector debe basarse en los siguientes aspectos:

- Según el tipo de proceso

Un decantador primario es el óptimo ya que trata agua por simple proceso físico, a excepción del secundario que separa agua que ha sido previamente tratada biológicamente.

- Según el flujo hidráulico

Dado que el agua no fluirá de abajo hacia arriba por el decantador, se recomienda un decantador primario horizontal, en donde el agua fluirá de un lado al otro lado del decantador de forma horizontal, en donde por lo regular son rectangulares.

- Según la concentración de fangos

Por el tipo de fango este requiere de raquetas de arrastre que estarán acumulando el fango que se ha producido en todo el decantador.

- Según la reutilización de lodos

Debe ser decantador dinámico ya que el lodo producido será un concentrado de cargas, es decir de carbonatos de calcio y pigmentos en su mayoría junto con resina y otros aditivos que se pueden aglomerarse. Si el lodo se seca se formará una pasta muy dura, lo cual complicará la extracción de sólidos y limpieza del equipo.

Dicho lodo por su alto contenido de cargas puede ser muy útil como relleno de *blocks* o parte de la mezcla para pavimentar.

El decantador ayudará a eliminar los sólidos en suspensión que por su tamaño pueden observarse a simple vista. Sin embargo, hay partículas muy finas que presentan gran estabilidad en el agua. Esta estabilidad se debe a que las partículas presentan cargas superficiales electroestáticas del mismo signo, por lo que se genera fuerza de repulsión entre ellas y por lo mismo no pueden aglomerarse.

Estas partículas de naturaleza coloidal pueden ser eliminadas en un 80-90 % mediante un tratamiento fisicoquímico, asimismo, reducir de un 40 a 70 % el DBO y un 30 a 40 % el DQO.

- Tratamiento fisicoquímico

El tratamiento fisicoquímico tiene como finalidad la alteración del estado físico de las partículas para que puedan aglomerarse y sedimenta, todo esto mediante la adición de químicos.

Para ello es necesario realizar tres fases: Coagulación, Floculación y Separación, las cuales serán descritas a continuación.

- Coagulación

La coagulación de las partículas coloidales se logra adicionando un producto químico llamado coagulante, que viene siendo un electrolito. es un proceso que requiere de un sistema que permita una mezcla rápida y homogénea del coagulante con el agua, con un tiempo de retención entre 3-5

minutos. Es por ello que se requiere de un agitador o turbina en un tanque que proporciona la velocidad óptima para su correcta mezcla.

Los coagulantes más comunes son los cloruros de hierro o de aluminio, en el cual se puede preparar la solución o comprarlas con un proveedor de productos químicos. La dosificación de los mismos puede variar en función de cómo se desempeñe la planta de tratamiento.

- Floculación

El segundo paso es la floculación que tiene como objetivo unir los flóculos ya formados en la coagulación para hacerlos más grandes. Es un proceso químico que mediante la adición de floculante logra aglomerar con mayor velocidad y eficiencia las partículas para favorecer el proceso de sedimentación.

La floculación puede darse de forma natural o se puede optimizar mediante una mezcla muy lenta, ya que se debe tener cuidado que los flóculos no se rompan. El tiempo de retención en este tanque es mucho mayor a la de la coagulación, aproximadamente de 20 a 40 minutos.

Luego de la mezcla lenta se debe dejar en reposo entre 1,5 a 2,5 horas para terminar la separación.

Los sólidos que sedimenten deben ser extraídos periódicamente para que no se sequen y la limpieza del tanque se dificulte, estos sólidos deben unirse a los primeros recolectados en el decantador.

Actualmente, en la industria de tratamiento de aguas, se maneja un nuevo coagulante que cumple también con propiedades de floculante, es un producto

a bases de sales ferrosas y férricas, bajo la forma de sulfato y cloruro. Dicho producto forma hidróxido ferroso y férrico, los cuales absorben sílices, aceites, grasas y a la vez bajan el contenido de oxígeno. Por lo tanto para el tratamiento fisicoquímico solo se necesita la adición de este único químico, conocido comercialmente como Ferrifloc. Es una opción bastante factible ya que dos procesos de separación se convierten en uno solo.

La dosis recomendada del producto (ver ficha técnica, en anexos 2) es de 50 mL por cada metro cúbico de agua residual a tratar. Es decir 50 mL de Ferrifloc por cada 220 galones.

Con un costo de Q 35,00 la botella, es decir Q 0,03 por mL. Por tanto al hacer un análisis de costo, mensualmente el costo de dicho químico es de:

Tabla XVII. **Costos de floculante**

<b>Gal de agua residual semanal</b>	<b>mL de ferrifloc semanal</b>	<b>Costo semanal</b>
12 250	2 785	Q 83,55

Fuente: tabla núm. 8.

Un aspecto muy importante a considerar es el pH ya que una óptima coagulación requiere de pH alcalinos. Según la tabla III, el pH del agua residual se encuentra en 9,91, este pH puede variar luego de decantados todos los sólidos visibles, por lo que es necesario realizar varias mediciones de pH para confirmar su alcalinidad. De no ser así, se necesitará adicionar cal junto con el coagulante y la mezcla deberá ser la misma.

- Filtración o separación

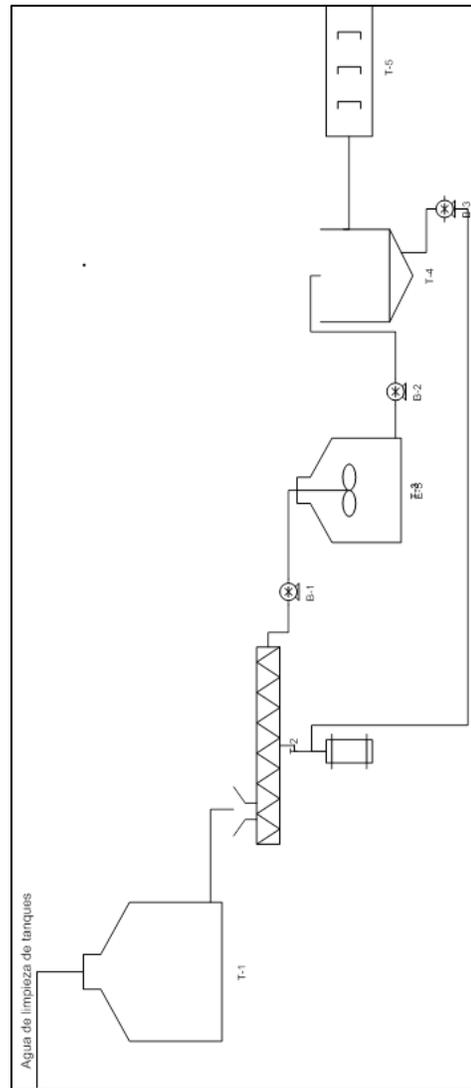
Luego de cumplir el tiempo de retención de la floculación, los flóculos se sedimentarán por lo que el agua ya se encuentra clarificada. A pesar de la sedimentación, todavía pueden existir flóculos disueltos en el agua que deben ser eliminados, para ellos y como último paso del tratamiento de agua se debe filtrar el agua, previo a su descargue al alcantarillado.

Existen diversos filtros pero el que mejor se acopla a las condiciones anteriormente descritas es el filtro prensa.

Un filtro prensa es un equipo que trabaja bajo presión, el cual consta de una serie de placas y marcos rodeados de tela filtrante, en el cual se hace pasar el agua por cada una de las placas, las cuales retendrán los sólidos. Por lo tanto a medida que pasa el agua por las placas de filtro, así es la retención de los sólidos. Es un equipo bastante eficiente pero se debe tener un estricto mantenimiento para que las telas no sufran daño y se rompan y que por lo tanto no filtren lo necesario.

A continuación se presenta un diagrama de equipo de la planta de tratamiento anteriormente descrita.

Figura 12. **Planta de tratamiento de agua**



<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
T-1	Tanque de almacenamiento
T-2	Decantador
T-3	Tanque de coagulación
T-4	Tanque de floculación y separación
T-5	Filtro prensa
B-X	Bomba

Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

- Tratamiento de solvente

La limpieza de los tanque de fabricación de pinturas de aceite se hace por medio de solvente, el cual arrastra todas las cargas, pigmentos y demás aditivos que se encuentran en el tanque, convirtiéndose en solvente sucio.

Actualmente la empresa, recolecta este solvente sucio en toneles y los almacena en bodega de materia prima. La cantidad de toneles de solvente sucio se ha vuelto incontrolable y hoy en día llega la suma de \$250 000,00.

La mejor opción para el manejo del residuo de solvente es su regeneración y recuperación mediante procesos de destilación. Existen dos formas de darle un segundo uso al solvente, por un lado para reusar el producto como solvente o en mezclas de combustibles. En este caso es lo más viable.

La propuesta de tratamiento de solvente se basará en la recuperación del mismo con el objetivo de limpiarlo y obtener un segundo uso, según las propiedades del solvente que se recupere. Dicha propuesta consiste en dos procesos principales, los cuales se detallarán a continuación:

- Tratamiento inicial

Como primer tratamiento se deben eliminar los sólidos suspendidos por medio de una separación mecánica, estos pueden ser por filtración o por decantación.

Debido a que los toneles han sido almacenados desde hace más de un año, el solvente que los contiene ya se encuentra separado, por lo tanto la decantación es una opción viable.

Asimismo, se puede colocar un filtro a la entrada del destilador lo cual contribuirá a eliminar la mayor cantidad de sólidos disueltos que aún estén presentes en el solvente.

- Destilación

Después del tratamiento inicial, la destilación buscará purificar el solvente eliminando las impurezas disueltas en él.

Debido a que no se tiene una mezcla de solventes sino que únicamente se tiene solvente mineral sucio, la destilación propuesta será simple.

Para ello se debe introducir el solvente sucio en un reactor de acero inoxidable con capacidad de 200 galones aproximadamente, el cual debe contar con un enchaquetado en el cual pasará aceite térmico a altas temperaturas (220- 240 °C), para lograr así transferencia de calor entre el aceite térmico y el solvente sucio. Esto con el objetivo de aumentar la temperatura del solvente hasta sobrepasar su temperatura de evaporación.

El punto de ebullición del solvente mineral utilizado en la planta se encuentra alrededor de los 157-208 °C (ver ficha técnica, en anexo 3).

Al alcanzar el punto de ebullición el solvente cambiará de fase líquida a fase gaseosa, en el que por diferencia de densidades el gas subirá hasta encontrarse con un condensador.

Un condensador es un intercambiador de calor de fluidos, en el que un fluido frío enfriará el otro fluido, de mayor temperatura, pasando de estado gaseoso a estado líquido.

Por lo tanto el gas producto de la destilación pasará en contracorriente con agua fría, logrando así la transferencia de calor entre el agua y el solvente gaseoso, provocando un cambio de fase y por lo tanto recuperar el solvente en estado líquido.

Para promover la evaporación y que esta sea homogénea se sugiere instalar un agitador en el reactor. La velocidad del mismo debe ser controlada, ya que una muy vigorosa afectará en sentido contrario la evaporación.

Debido a que el solvente cuenta con gran cantidad de cargas y solventes, al destilarlo se obtendrá como subproducto, todos estos sólidos que formarán una pasta. Esta pasta puede ser muy útil como relleno por su alto contenido de carbonatos de calcio.

Al obtener el solvente recuperado, este deberá pasar por una prueba de cromatografía de gases, para determinar su composición y proporciones de cada una, para así determinar su uso en la pintura o nuevamente como solvente para la limpieza de tanques.

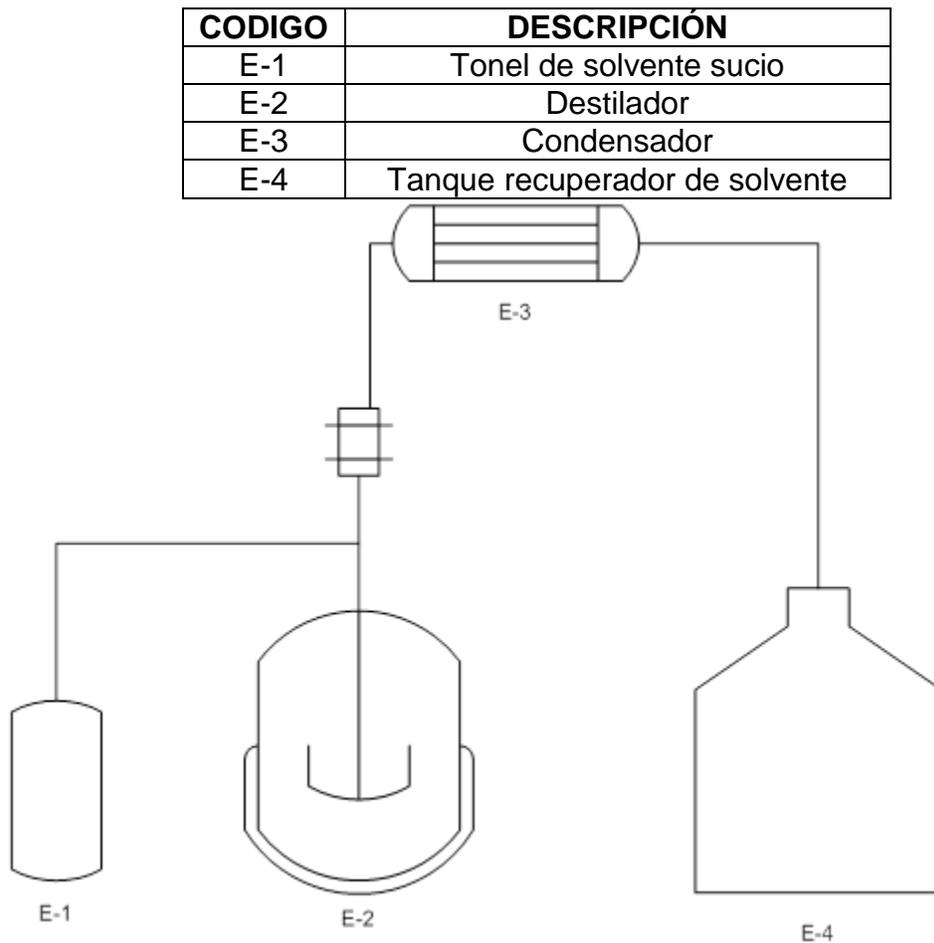
El equipo debe ser diseñado para obtener un 80 % de recuperación. La cantidad de galones actuales de solvente sucio es de 50 000, al lograr recuperar el 80 % con el sistema previamente descrito se estarían recuperando 40 000 galones, lo cual corresponde a un valor aproximado de \$200 000,00. Siempre es importante recordar que el porcentaje de recuperación dependerá del porcentaje de sólidos presentes en el solvente sucio.

Asimismo, cabe mencionar que existe un mejor proceso para la destilación de solventes que sucede a temperaturas mayores de 155 °C. Este proceso es destilación al vacío, en el que el vacío reducirá la temperatura o la

cantidad de calor requerida para lograr la destilación, pero esto dependerá de la capacidad instalada y la inversión que la empresa desea ofrecer para la implementación de dicho proyecto.

La propuesta de tratamiento de solvente consiste en el siguiente diagrama de proceso.

Figura 13. **Diagrama de recuperación de solvente**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La planta de producción bajo estudio cuenta con la producción de dos líneas de pinturas, látex que son las pinturas base agua y aceite que están fabricadas con solvente, en donde la mayor fuente generadora de residuos se origina en la limpieza de tanques de ambas líneas de pintura. En cuanto al laboratorio este opera con las mismas bases de pintura y sus desechos son acumulados junto con los que son generados por planta.

Se determinó que la planta de producción bajo estudio genera tres tipos de residuos: agua producto de la limpieza de tanques de látex, solvente producto de la limpieza de tanques de aceite y bolsas de despacho de materia prima.

Una vez determinados los residuos se procedió a cuantificar los flujos de cada uno, lo cual proveerá información para el planteamiento de control, prevención y tratamiento de los mismos. En donde la cantidad de residuos sólidos generados son de 110 a 180 bolsas por día, tanto plásticas como de papel. Asimismo, un flujo de residuos líquidos, clasificados en 1 750 galones al día de agua y de solvente de 275 a 495 galones por día. Todas las cantidades de residuos generados son representativas y requieren de un método de control, prevención o tratamiento.

El efluente de agua producto de la limpieza de tanques de látex presentó propiedades fuera de los rangos permisibles por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Obteniendo valores de 46 500 mg/L en DQO y 2 458 mg/L en DBO, asimismo, 2,07E+05 mg/L de sólidos suspendidos, PH de 9,91 y 1,03E+06 de

color, asimismo, no hay presencia de material flotante. Lo cual indica que dicho efluente es dañino para el medio ambiente, por lo tanto no puede ser desechado al alcantarillado sin ser tratado previamente.

Para que la propuesta de gestión de residuos sea correcta se necesita jerarquizar todos los residuos, en la cual se determinó que el agua es el principal residuo, seguido por el solvente y por último las bolsas de materia prima.

En cuanto al control y prevención de contaminantes se propone la reducción de residuos mediante un cambio en el proceso y en el producto. En el que se sugiere cambiar la metodología de limpieza de los tanques, utilizando mangueras de alta presión, con las cuales se logrará una limpieza mucho más eficiente utilizando menos cantidad de líquido de limpieza.

Una vez se utilice la menor cantidad de líquido de limpieza se propone la reutilización, y es aquí en donde se obtendrán los mayores beneficios para la compañía. Tomando de referencia la gráfica de gestión de desechos (ver figura 2).

La propuesta consiste en recolectar el agua que fue utilizada para la limpieza de tanques y que por ende trae consigo materia prima que quedó impregnada en el tanque, entre la materia prima están los pigmentos, por lo que al ir recolectando el color de la misma cambiará. Por lo tanto, lo idea es separar el agua de limpieza de tanques de fabricación de pintura blanca y colores pasteles y por aparte los que fabricaron colores intensos. La adición de biocida que se propone es esencial para mantenerla libre de organismos microbiológicos y que esto no cause problemas de contaminación en la pintura. Una vez tenga biocida, el agua puede utilizarse como agua de proceso, como

materia prima para la producción de pintura. Con esta propuesta de reutilización se reduce fundamentalmente la cantidad de agua que requiere tratamiento, lo cual se traduce a menores costos de proceso para la compañía.

Asimismo, se propone la reducción del consumo y capacitación al personal para lograr una cultura de un correcto uso del agua y demás insumos, por medio de manuales y procedimientos de operación.

Para los desechos sólidos que son las bolsas plásticas y de papel, dado que son utilizadas para el despacho de materia prima, estas son contaminadas y ya no pueden ser reutilizadas, razón por la cual la forma de poder tratar este residuo es por medio del reciclaje. En el que se propone clasificar las bolsas, algún otro material de desecho según su composición orgánica o inorgánica y hacer uso de empresas dedicadas al reciclaje, teniendo un ingreso extra para la planta.

En el siguiente capítulo se plantean métodos de tratamiento, tanto del agua como de solvente. En cuanto al tratamiento del agua dado que se tiene como objetivo la disminución de sólidos en suspensión y la reducción del DQO y DBO principalmente, se propone seguir los pasos para un tratamiento primario.

El cual consiste en el que la primera separación sólido - líquido se realizará por medio de la sedimentación o decantación primaria, ya que no se tiene material flotante, únicamente sólidos en suspensión. Una vez separados estos sólidos, como segundo paso se requiere de un tratamiento fisicoquímico el cual conlleva la coagulación, floculación y separación. Estos pasos ayudan a eliminar más sólidos que aún estén en suspensión y sobretodo disminuir valores de DQO, DBO, PH y color.

En cuanto al tratamiento de solvente, se propone un sistema de recuperación del mismo, el cual consiste en a destilación del mismo basándose en los puntos de ebullición, con ello se logra obtener solvente puro, libre de sólidos. Se sugiere que previo a la destilación el solvente pase por un filtro para eliminar la mayor cantidad de sólidos posible, para contribuir al proceso de destilación y así obtener un solvente más puro.

Con los sólidos obtenidos de los procesos de tratamiento, estos pueden ser vendidos como selladores de *block* o como pintura de altos sólidos, la cual es muy útil para pintar techos, pisos, estanterías, entre otros.

## CONCLUSIONES

1. Los residuos líquidos generados en la planta de fabricación de pinturas bajo estudio son producto de la limpieza de tanques tanto agua como solvente, y los residuos sólidos son bolsas de despacho de materia prima ya sean plásticas o de papel.
2. El flujo de agua residual es de 1 750 galones por día, de solvente de 275 a 495 galones por día y de 110 a 180 bolsas al día. Los rangos radican en función de temporada baja y alta.
3. El efluente de agua producto de la limpieza de tanques de látex presentó propiedades fisicoquímicas fuera de los rangos permisibles por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.
4. El plan de control y prevención de contaminantes se basa en la reducción de residuos por cambios en el proceso y en el producto, en el reciclaje y en el tratamiento de los mismos.
5. El 7 % de agua residual obtenida por lote de producción, es una opción de reutilización en lotes de pintura base látex.
6. Para el tratamiento de agua residual se propone un sistema, el cual conlleva como primer paso un tratamiento primario por medio de la sedimentación, luego un tratamiento fisicoquímico que involucra la coagulación, floculación y filtración.

7. Para el tratamiento de solvente sucio se propone un sistema de recuperación del mismo por medio de la destilación, en el cual se separa los sólidos del solvente.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar la *Guía para el manejo de residuos*, la cual conlleva un resumen del presente trabajo de investigación y fue creada con el objetivo que pueda servir de base y pueda ser aplicada para cualquier industria. La misma se encuentra en la sección de anexos, anexo 3.
2. Actualmente los tanques cuentan con una costra de pintura seca, la cual crece y complica la limpieza del mismo, requiriendo más líquido de limpieza, por lo tanto se recomienda crear un plan de limpieza profunda de taques mensual, para optimizar la limpieza del mismo por cada lote producido.
3. Gestionar la compra de equipos más eficientes de limpieza de tanques, adicional a las mangueras de alta presión.
4. Planificar la producción según escala de colores, de colores claros y pasteles a intensos y oscuros, para que tenga mayor beneficio y llevar a cabo de manera más fácil la propuesta de reutilización de agua.
5. Para la limpieza de tanques con solvente es recomendable utilizar dos tipos de solventes, para la primera limpieza utilizar solvente sucio del que se haya generado de la limpieza de otros tanques, ya que las propiedades del solvente aún no se han perdido y para dar los últimos toques de limpieza, usar solvente limpio. Con ello se estaría reutilizando el solvente sucio se estaría generando menores cantidades del mismo.



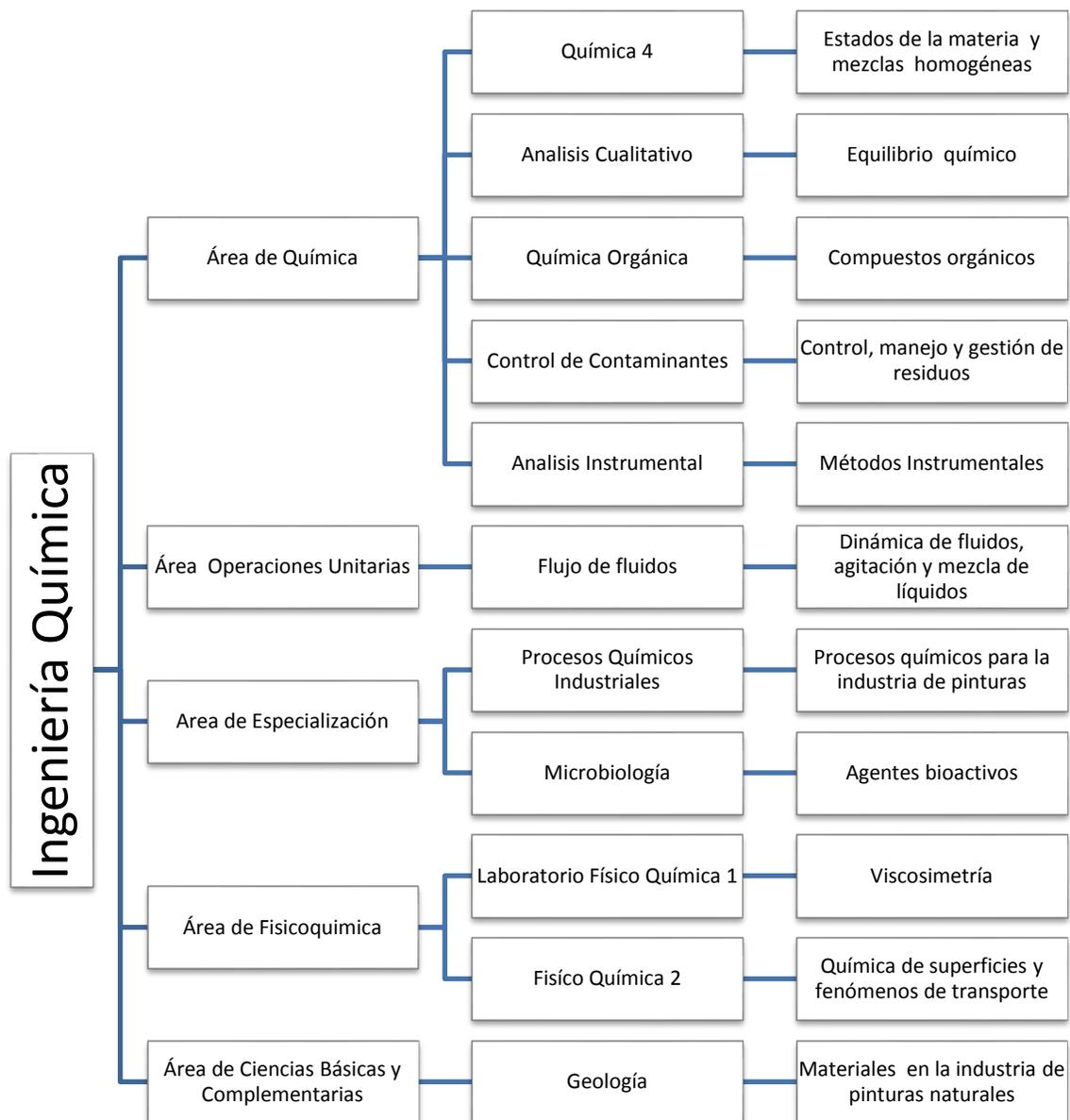
## BIBLIOGRAFÍA

1. ARAVENA, Claudia, et al. Aplicación de lodos de planta de tratamientos de celulosa: efecto en algunas propiedades físicas y químicas de suelos volcánicos. 2001, *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*.
2. CARBONELL, Jordi Carvo. *Pinturas y recubrimientos, Introducción a su tecnología*. Madrid : Diaz de Santos, 2009.
3. Comisión Nacional del Medio Ambiente. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial*. Santiago : s.n., 1998.
4. ENCINAS, Luna y DEL RIO, Anaya. *Determinación de metales pesados en agua residual en proceso de galvanoplastia*. 2003, Tecnología química.
5. FLORIDA, P. s.f.. *Gestión de la higiene industrial en la empresa*. Madrid : FC Editorial.
6. Fundación Entorno. *Informe medioambiental del sector pinturas y barnices*. Santiago 1998.
7. GIUDICE, Carlos y PEREYRA, Andrea. *Tecnología de pinturas y recubrimientos*. Buenos Aires : Edutecne, 2009.

8. *Isolation and functional characterization of lead-resistant enterococci from paint industry effluent contaminated site.* Lawrence, Macklin, Rajogopalan, Muthukumaran y Munisamy, Govindaraju. 2003. Fresenius Environmental Bulletin.
9. RIOS, J. *Caracterización de las Aguas Residuales de una industria farmacéutica y propuesta de un proceso para la reducción y control de los contaminantes presentes.* Guatemala : Universidad de San Carlos , 2011.
10. TORRES, Patricia, y otros. *Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales.* 2007, Engenharia Agricola vol 27.
11. Turner. C.A.P. *Introduction to paint chemistry principle of paint technology.* Londres : Chapman and Hall, 1988.
12. WAELTI, Geraldine. *El efecto de la globalización sobre la fabricación de pinturas domésticas en Guatemala.* Guatemala : Universidad Francisco Marroquín, 1998.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.



# ANEXOS

## Anexo 1. Informe de Análisis de Agua por Hidroaqua

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES** 

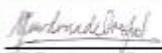
<b>EMPRESA:</b> GRUPO SOLIO	<b>DIRECCIÓN:</b> KM. 64.5 CARRETERA A MARADUA, ECUEINTLA.
<b>REGISTRO HIDROAQUA:</b> 00514-AR	<b>TIPO DE MUESTRA:</b> PUNTUAL
<b>PUNTO DE MUESTREO:</b> ENTRADA DE PLANTA DE TRATAMIENTO.	<b>FECHA Y HORA DE CAPTACIÓN:</b> 13-02-14; A LAS 8:00 HORAS
<b>RESPONSABLE DE LA CAPTACIÓN:</b> CLIENTE	<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN:</b> 13-02-14; A LAS 14:15 HORAS
<b>RESPONSABLE:</b> PAOLA RODAS	<b>FECHA INICIO DE ANÁLISIS:</b> 13-02-14
	<b>FECHA DEL INFORME:</b> 26-02-14

PARÁMETROS	DIMENSIONALES	00514-AR ENTRADA PLANTA DE TRATAMIENTO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO 236-2006 DEBERA AL ACORDADO PÚBLICO ETAPA UNA RESOLUCIÓN VALORES VIGENTES HASTA ETAPA DOS (2013)
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	MILIGRAMOS POR LITRO	48,800	**
DEMANDA BIQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	MILIGRAMOS POR LITRO	2,488	**
TEMPERATURA	GRADOS CELSIUS (°C)	NO REGISTRADA	<40
MATERIA FLOTANTE	¿PRESENCIA?	¿PRESENTE	¿PRESENTE
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	MILIGRAMOS POR LITRO	2.07 x 10 <sup>4</sup>	1,500
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	MILIGRAMOS POR LITRO	<1	---
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	UNIDADES DE POTENCIAL DE HIDRÓGENO	9.91	6 A 9
COLIFORMES FECALES	NÚMERO MÁS PROBABLE EN 100 ML	<5	<1 X 10 <sup>4</sup>
COLOR	UNIDADES Pt-COBSALTO	1.02 x 10 <sup>4</sup>	1,300
GRASAS Y ACEITES	MILIGRAMOS POR LITRO	8	200
FÓSFORO TOTAL	MILIGRAMOS POR LITRO	40.8	75
NITRÓGENO TOTAL	MILIGRAMOS POR LITRO	830	100

--- = NO REQUERIDO POR EL REGLAMENTO    < = MENOR QUE  
 \*ANÁLISIS REFERENCIAL.  
 \*\*PARA SU INTERPRETACIÓN CONSULTAR REGLAMENTO VIGENTE (ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006).  
 METODOLOGÍA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 19th ED., 2005, APHA, WEF 21 ED., A. C. C. C. HARD WATER ANALYSIS HANDBOOK.

  
**Q5 JULIO SAY**  
 ANALISTA

  
**QF GISELA DE CRESPO**  
 COLEGIADO No. 708

**NOTAS:**  
 \*LOS RESULTADOS SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LA MUESTRA ANALIZADA.\*  
 \*\*ESTE INFORME SOLO PUEDE SER REPRODUCIDO EN SU FORMA TOTAL Y CON APROBACIÓN DEL LABORATORIO.\*

---

17 CALLE 23-96, ZONA 7 VILLA LINDA II TEL: 2435-0167 \* TELEFAX: 2434-9879  
 HIDROAQUA@GMAIL.COM  
 WWW.HIDROAQUA.COM

## Anexo 2. Hoja Técnica de Ferrifloc



1

Tratamientos de Agua, Azúcar y Petróleo.  
RIF.J-30099436-8, NIT:0059821709.  
[WWW.QITSUM.COM](http://WWW.QITSUM.COM), [WWW.QITSUM.NET](http://WWW.QITSUM.NET);

# INFORMACIÓN TÉCNICA

## QITSUM FERRIFLOC

**GENERALIDADES:** El QITSUM FERRIFLOC, es un coagulante tipo primario a base de sales ferrosas y férricas, bajo la forma de sulfato y cloruro . El FERRIFLOC está recomendado en la clarificación de aguas que se flocculan a pH bajos por el riesgo de que el agua tratada salga contaminada con iones ferrosos. El FERRIFLOC forma hidróxido ferroso y férrico, los cuales absorben silice, aceites, grasas y a la vez bajan el contenido de oxígeno por oxidación del ión ferroso a férrico. Entre sus ventajas como coagulantes primario está su alto peso molecular, lo cual permite una mayor velocidad de asentamiento.

### PROPIEDADES FISICO QUIMICAS:

Color: Amarillo claro.  
pH: Solución al 1 % 4,5 – 6 (aproximado).  
Contenido sales de hierro: 20 % aproximado.

**DOSIS:** La dosis del producto QITSUM FERRIFLOC, tal como está preparado a usar en un pH de 9 o más de acuerdo al punto isoeléctrico de los coloides, es de 50 ml del FERRIFLOC por m<sup>3</sup> a tratar, y por cada 10 ppm del coagulante.

**Ejemplo:** Se van a tratar 10 m<sup>3</sup> de agua por hora a un pH de 10 y se necesitan 10 ppm de sales del FERRIFLOC, la cantidad de FERRIFLOC por hora a usar es: 50 ml \* 10 m<sup>3</sup> = 500 ml de FERRIFLOC por hora (0,5 lts. Por hora).

**PRECAUCION:** Manténgase bien cerrado, para evitar oxidación y precipitación. En caso de almacenaje muy prolongado, o sea más de un año, agregue al tambor alrededor de 300 ml de ácido clorhídrico comercial para mantener en solución el hierro. Este producto es de duración indefinida si se mantiene bien tapado.

**PRESENTACIÓN:** Se presenta al mercado en tambores de plástico o revestidos de 200 Kg. netos.

Fuente: [www.quitsum.com](http://www.quitsum.com)

## Anexo 2. Hoja Técnica de Solvente Mineral

HOJA TÉCNICA

F59-01

### VAR SOL 1

#### DESCRIPCION DEL PRODUCTO:

Los disolventes alifáticos entre los que se encuentra el Varsol, son hidrocarburos volátiles de la destilación de naftas o gasolina natural.

Los disolventes son separados según límites de ebullición controlados y luego sometidos a procesos de purificación, neutralización y rectificación de sus límites de destilación.

Estos productos son incoloros, de color agradable y con poder de solvencia que permiten una variedad de utilización en la industria.

#### VENTAJAS

- Es un efectivo quitamanchas multiusos ideal para la limpieza en el hogar y la oficina.
- Desmancha, desengrasa, limpia y despercude.
- Efectivo en diversos elementos como prendas, pisos, alfombras, muebles, etc.

#### USOS

- Fabricación de resinas, ceras y betunes, lavanderías y para limpieza en general.
- Practico removedor de manchas en tejidos de algodón, nylon, fibras sintéticas tales como: prendas de vestir, dacrones, paños, gabardinas, etc.
- Ideal para el lavado de prendas en seco.
- Disolvente efectivo para diluir pinturas a base de aceite.
- Excelente para despercudir, desmanchar, remover grasa y residuos de cera en todo tipo de pisos, baldosas, azulejos y mosaicos de cocinas y baños.

#### PROPIEDADES FISICO QUÍMICAS:

Densidad	0.8 ±0.1 grs./cm <sup>3</sup> .
Color	Ambar transparente.
Punto inicial de ebullición	Mín. 156°C.
Punto seco	Máx. 230°C.
Punto de inflamación	38°C.
Valor Kauri-Butanol	29-45.

#### PRECAUCIONES

- Manténgase fuera del alcance de los niños
- En caso de contacto con los ojos, enjuague con abundante agua limpia
- No perfore, incinere o almacene a temperaturas superiores a 40°C
- Use con ventilación adecuada
- Puede causar irritación en la piel si el contacto con el producto es permanente.

#### PRESENTACION:

CODIGO	TAMAÑO
75100-0400	400 CM3
75100-0800	800 CM3
75100-5001	1 Galón
75100-5055	55 Galones

Fuente: Hoja Técnica de Grupo Transmerquim.

|Anexo 3. **Guía para el manejo de residuos**

<b>GUIA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS</b>			VERSION: 2015	
Fecha:	Centro de generación:	Responsable:		
1	Diagnóstico inicial			
2	Reconocimiento de puntos de generación de residuos			
3	Tipificar residuos			
4	Cuantificar residuos producidos			
5	Jerarquizar residuos			
6	Definir objetivos y metas			
7	Planear la prevención y control			
7.1	Reducción de residuos	7.1.1 Cambios en proceso	7.1.1.1 Mejoramiento en las practicas	
			7.1.1.2 Reutilización	
			7.1.1.3 Reducción del consumo	
			7.1.1.4 Capacitación	
			7.1.1.5 Manual de proceso y procedimientos	
		7.1.2 Cambios en producto		
7.2	Reciclaje	7.2.1 Recirculación de agua tratada y solvente recuperado		
		7.2.2 Clasificación de bolsas de despacho de MP		
8	Planear el tratamiento previo a la disposición final			
8.1	Separa los residuos a disponer			
8.2	Tipificar residuos según su estado y grado de contaminación			
8.2.1	Ordinarios o Inertes	Relleno sanitario		
	Biodegradables	Compostaje, lombricultura, alimentación de animales, etc.		
	Peligroso	Incineración, rellenos de seguridad, tecnologías de tratamiento		
	Dañinos al medio ambiente	Tratamientos físicos, fisicoquímicos o biológicos		
Realizado por:		Revisado por:	Aprobado por:	

Fuente: Hoja Técnica de Grupo Transmerquim.