



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA REINCORPORACIÓN DEL
EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PINTURAS
EMULSIONADAS ECONÓMICAS**

*Trabajo Especial de Grado, presentado antes la Ilustre Universidad de
Carabobo para optar por el título de Licenciado en Química*

Br. María Andreína Maita Coronel

Bárbula, Octubre 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA REINCORPORACIÓN DEL
EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES AL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PINTURAS
EMULSIONADAS ECONÓMICAS**

*Trabajo Especial de Grado, presentado antes la Ilustre Universidad de
Carabobo para optar por el título de Licenciado en Química*

Autor: Br. María Andreína Maita Coronel

Tutor Académico: Prof. María Villegas

Tutor Empresarial: Ing. Jean Machado

Bárbula, Octubre 2012.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, quien me permitió llegar hasta este punto.

A la Virgen de la Coromoto, quien es mi refugio de fe en los momentos más difíciles.

A mis padres, quienes son mi principal fuente de inspiración, dedicación y compromiso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso y la Virgen de la Coromoto por iluminarme y guiarme durante todo este recorrido.

A mis padres por siempre brindarme las mejores oportunidades y confiar en mí en todo momento.

A mi familia por darme apoyo y comprensión a lo largo de toda la carrera.

A José Miguel por ayudarme y acompañarme con dedicación y cariño durante todo el camino recorrido.

A mis tutores la Prof. Maria Carlota y el Ing. Jean Carlos, por su esmero y dedicación durante la realización de este trabajo.

A las profesoras Sheyla, Ysmel y Elizabeth, por sus palabras de aliento y buenos consejos en cada situación, y por los valiosos conocimientos impartidos.

A mis amigos de FACyT, en especial a Yuri, María Teresa, Lody, Armeliz, Carola, Hendrick, Ramón, Jesús, Angela, Valentina, Andrea y Rossannie, quienes hicieron este recorrido más ameno gracias a su amistad, por estar presente y ser un hombro de apoyo en todo momento.

A mis jurados la Prof. Ygmar y el Prof. Juan Carlos, por su disposición y ayuda prestada durante la realización de este trabajo.

Al personal docente y administrativo del Departamento de Química, quienes con gusto y esmero imparten sus conocimientos y brindan sus servicios a cada uno de nosotros.

A Corimon Pinturas C.A. por brindarme la oportunidad de crecer con la realización de este trabajo y formarme como personal de su corporación.

¡Gracias de corazón!

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Planteamiento del Problema	14
1.2. Objetivo de la Investigación.....	16
1.3. Justificación.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	18
2.1 Antecedentes	18
2.2 Pinturas emulsionadas en base agua	20
2.2.1 Componentes de la pintura emulsionada en base agua	21
2.2.2 Proceso de elaboración de la pintura emulsionada en base agua ...	28
2.2.3 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corimon Pinturas C.A.	33
2.3 Diseño completamente al azar (DCA)	37
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	41
3.1 Estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corimon Pinturas C.A.	41
3.2 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex de Corimon Pinturas C.A.	42
3.3 Diseño de experimento seleccionado para la realización de los pilotos de pintura emulsionada económica con el agua tratada.....	48
3.4 Evaluación de las propiedades de los pilotos de pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada.....	50

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1 Estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de planta látex de Corimon Pinturas C.A.....	55
4.2 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex de Corimon Pinturas C.A.....	56
4.3 Estudio de la variación de las propiedades de la pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada.....	61
4.4 Estudio de la factibilidad de la reincorporación del agua tratada al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas	77
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81
APÉNDICE A	85
APÉNDICE B	87
APÉNDICE C	88
APÉNDICE D	93
ANEXO 1	101
ANEXO 2	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Clasificación de las pinturas emulsionadas en base agua	21
Tabla 2.2 Principales coalescentes en la industria de la pintura	23
Tabla 2.3 Clasificación de los pigmentos orgánicos	24
Tabla 2.4 Clasificación de los pigmentos inorgánicos	25
Tabla 2.5 Requisitos para las pinturas emulsionadas para uso interior y/o exterior.....	32
Tabla 3.1 Parámetros del diseño completamente al azar	48
Tabla 3.2 Niveles del factor del diseño completamente al azar	49
Tabla 3.3 Respuestas analizadas para los diferentes pilotos a realizar	49
Tabla 3.4 Número de corrida y nivel del diseño de experimento completamente al azar propuesto.....	50
Tabla 4.1 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex	57
Tabla 4.2 Determinación de sulfato y aluminio en el agua de proceso y agua tratada.....	58
Tabla 4.3 Evaluación de la tensión superficial del agua de proceso y el agua tratada.....	59
Tabla 4.4 Parámetros de contaminación evaluados para el agua tratada ..	60
Tabla 4.5 Análisis de varianza para el color	62
Tabla 4.6 Análisis de varianza para la viscosidad	64
Tabla 4.7 Prueba de múltiples rangos para la viscosidad.....	66
Tabla 4.8 Análisis de varianza para la estabilidad en el envase	68
Tabla 4.9 Prueba de múltiples rangos para la estabilidad en el envase	69

Tabla 4.10 Análisis de varianza para el peso por galón.....	71
Tabla 4.11 Análisis de varianza para el pH.....	73
Tabla 4.12 Prueba de múltiples rangos para pH.....	74
Tabla 4.13 Análisis de varianza para la relación de contraste	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Copolímero de la resina acrovínílica	22
Figura 2.2 Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales	33
Figura 2.3 Representación esquemática para el modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros	36
Figura 2.4 Componentes de la variación total en un DCA	39
Figura 4.1 Gráfico de la tendencia de descarga de agua tratada	56
Figura 4.2 Gráficas de residuos para el color	62
Figura 4.3 Gráfico de medias de la viscosidad con el método LSD	65
Figura 4.4 Gráficas de residuos para viscosidad	66
Figura 4.5 Gráfico de medias de la estabilidad en el envase con el método LSD.....	69
Figura 4.6 Gráficos de residuos para la estabilidad en el envase.....	70
Figura 4.7 Gráfico de residuos para el peso por galón	72
Figura 4.8 Gráfico de medias de pH con el método LSD.....	73
Figura 4.9 Gráficos de residuos para el pH	75
Figura 4.10 Gráficos de residuos para la relación de contraste.....	76



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD EXPERIMENTAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**Evaluación de la Factibilidad de la Reincorporación del Efluente de la
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales al Proceso de Elaboración
de Pinturas Emulsionadas Económicas**

Autor: Br. María Andreína Maita Coronel

RESUMEN

Se realizó un estudio estadístico de la variación de las propiedades de la pintura emulsionada económica con la reincorporación del agua tratada a la fórmula para evaluar la factibilidad de reutilizar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se caracterizó física y químicamente el agua de proceso y el agua tratada para compararlas y determinar los posibles factores que podrían afectar la calidad de la pintura. Además, se hicieron los pilotos de pintura con cinco (5) proporciones diferentes de agua tratada. Finalmente, se determinó que la cantidad de agua tratada afectó significativamente el pH, la viscosidad y la estabilidad en el envase de la pintura emulsionada, mientras que la relación de contraste, el color y la actividad microbiológica no se vieron afectados. Debido a la gran cantidad de electrolitos, pH, tensión superficial y dureza total del agua tratada, se determinó mediante la comparación de las medias de los diferentes tratamientos realizados que se puede reincorporar hasta un 25% de agua tratada en la fórmula de la pintura emulsionada económica sin que se vean afectadas sus características a un 95% de nivel de confianza.



**Evaluation of the Factibility of the Re-Insertion of the Effluent from the
Waste Water Treatment Plant to the Manufacturing Process of
Emulsified Economic Commercial Paint**

Autor: Br. María Andreína Maita Coronel

ABSTRACT

A statistic study was performed of the economic emulsified commercial paint properties with the re-insertion of treated water to the manufacturing formula to evaluate the feasibility of re-using the plant's effluent coming from the waste water treatment plant, in the manufacturing of economic emulsified commercial paint.

Process water and treated water were physically and chemically characterized to compare and determine the possible factors that may affect the commercial paint quality. Laboratory batches were prepared at five (5) different treated water proportion (percentage). It was determined that the quantity of treated water greatly affected the pH. Viscosity and the emulsified paint stability in its container, while the paint color and contrast, and microbiology activity were not observed affected. Due to the great amount of electrolytes, pH, surface tension and total hardness of the treated water, it was concluded that through the mean comparison of the different treatments performed/studied that the treated water can be successfully re-inserted up to a twenty-five (25%) percent to the manufacturing formula of economic emulsified commercial paint without compromising the paint quality properties.

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

t	tonelada
mL	mililitro
kg	kilogramo
nm	nanómetro
L	litro
g	gramo
mg	miligramo
A	absorbancia
V	volumen
s	segundos
N	normalidad
h	hora
min	minuto
ppm	partes por millón
° C	grados Celsius
dina	unidad de fuerza, sistema CGS
EDTA	ácido etilendiamintetracético
ufc	Unidad formadora de colonias

INTRODUCCIÓN

En la industria de las pinturas y recubrimientos, la gama de productos elaborados es muy amplia, incluyendo pinturas en base agua (látex) o en base a solventes, como por ejemplo, barnices, lacas, impermeabilizantes y anticorrosivos, pinturas marinas, automotrices, industriales, etc. La pintura emulsionada en agua generalmente está compuesta de pigmentos, agentes dispersantes, preservantes, amoníaco o aminas, agentes antiespumantes, resina y por supuesto agua. Las propiedades de los productos acabados se definen fundamentalmente por las características de cada uno de los componentes y por la relación cuantitativa entre ellos.

El presente trabajo de investigación estudia la factibilidad de reutilizar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de una empresa fabricante de pinturas y recubrimientos; el efluente es el volumen de agua tratada generada del proceso de tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales.

Se determinó que el efluente es apto para ser considerado materia prima en la formulación de pinturas emulsionadas económicas, contribuyendo de esta forma a la preservación ambiental y buena gestión ecológica dentro de la empresa.

Con las diferentes características del producto final a estudiar se pudo determinar estadísticamente cómo influye la calidad del agua tratada en las diferentes propiedades de la pintura y determinar si se cumplen con las normas de calidad del producto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema y los objetivos específicos para cumplir con el propósito de la investigación y se desarrolla la justificación de la investigación planteada.

1.1. Planteamiento del Problema

Corimon Pinturas C.A., empresa que pertenece al Grupo CORIMON y se dedica a la fabricación de pinturas y recubrimientos, cuenta con una larga y reconocida trayectoria en la fabricación de pinturas para las áreas arquitectónicas, madera, tráfico, mantenimiento industrial y marino. La empresa tiene como compromiso, alcanzar la excelencia operativa y financiera dentro de un desarrollo sustentable que permita su crecimiento, sin menoscabar el de la comunidad y el entorno; siendo la preservación de los recursos naturales, como el agua, de gran importancia dentro de la misma.

La empresa cuenta con dos grandes áreas de producción: Planta Látex y Planta Industrial, en la primera, se fabrican las pinturas emulsionadas en agua.

Las pinturas emulsionadas en agua, están constituidas principalmente por pigmentos y cargas dispersas en un medio (en este caso agua) y una emulsión de resina, en la cual se emplean una serie de aditivos tales como: humectantes, dispersantes y agentes antiespumantes, además de preservantes como bactericidas y fungicidas para conservar microbiológicamente el producto. De igual forma, se emplean agentes



reológicos, modificadores de pH y pastas acuosas para desarrollar los colores y desempeño del producto final.

Según la ruta de fabricación de las pinturas emulsionadas, se distinguen seis (6) etapas principales: pesaje, dispersión, terminación, ajuste de viscosidad y color, control de calidad y envasado. Debido al lavado de los tanques de terminación y de las líneas de llenado y envasado del producto, se genera el efluente de Planta Látex; el cual es bombeado a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Estas aguas son tratadas para su tratamiento fisicoquímico con sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y un polímero catiónico para su coagulación-floculación, logrando así la desestabilización química de las partículas coloidales bajo agitación controlada y posterior remoción del material sólido particulado mediante sedimentación. El efluente después de su tratamiento fisicoquímico es bombeado al tanque clarificador donde se sedimentan las partículas sólidas, y luego de practicar su análisis y verificación del cumplimiento de las regulaciones ambientales, son descargadas a las redes cloacales.

Actualmente, las políticas de calidad de la Empresa, a través de su Sistema de Gestión de Calidad, desea contribuir aún más con el entorno y el medio ambiente, realizando estudios para reutilizar el lodo y el agua tratada proveniente del tratamiento de las aguas de Planta Látex para fabricar pintura emulsionada económica. Esto en consonancia con la recomendación del Instituto Nacional de Tecnología de Chile del año 2000, donde sugiere como alternativa reutilizar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales para la elaboración de pinturas emulsionadas en agua.

El objetivo planteado en esta investigación, es una oportunidad de minimizar el impacto industrial sobre el medio ambiente desarrollando



mejoras operativas y acciones que van de la mano con el buen uso de los recursos naturales dentro de la empresa; de igual manera se estaría cumpliendo con uno de sus objetivos generales, el cual es la investigación exhaustiva para mejorar la calidad de los productos a corto y mediano plazo.

1.2. Objetivo de la Investigación

1.2.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad de la reincorporación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, en el proceso de producción de pinturas emulsionadas económicas.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Estimar el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Planta Látex.
2. Caracterizar el agua tratada generada en la planta de tratamiento de aguas residuales de Planta Látex.
3. Estudiar la variación de las propiedades de la pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada.
4. Determinar la factibilidad de la reincorporación del agua tratada al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas.

1.3. Justificación

La reincorporación de las aguas tratadas generadas en la planta de tratamiento de aguas residuales al proceso de producción de pinturas emulsionadas económicas, responde a la necesidad de favorecer el cuidado del medio ambiente dentro de la empresa.



Los resultados de esta evaluación proporcionan un estudio estadístico sobre la influencia de las características fisicoquímicas de agua tratada sobre la calidad de la pintura emulsionada.

A la posible disminución de costos de manufactura se le une la ventaja competitiva que genera la imagen ecológica de la empresa, logrando adicionalmente el crecimiento de la competitividad con respecto a las empresas que no posean esta nominación. Esta imagen se reflejará en su consolidación económica.

Adicionalmente, la realización de este tipo de Trabajos de Grado, le brinda a la Universidad de Carabobo la oportunidad de impulsar nuevos perfiles de enseñanza, mediante los cuales, el estudiante podría participar y tomar conciencia de manera activa en la importancia del movimiento ecológico dentro de las empresas, garantizando así la integridad de su formación ética y profesional, promoviendo también la integración Empresa-Universidad con temas culturales, sociales y ambientales.

Finalmente, la realización de este Trabajo Especial de Grado, permitirá adquirir profundos conocimientos sobre áreas de interés, como lo son: las leyes y políticas ambientales, tratamiento fisicoquímico de aguas residuales, preparación de pinturas emulsionadas y análisis de calidad de pintura emulsionada, desarrollando simultáneamente una serie de habilidades y destrezas necesarias para el correcto desenvolvimiento del Licenciado en Química en la industria.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los antecedentes relacionados con la metodología o contenido del objeto de estudio. Además, se desarrolla la base teórica que respalda la investigación.

2.1 Antecedentes

López, D. (2010). **“Recuperación del agua clarificada de la planta de tratamiento de Corimon Pinturas C.A.”** Proyecto de inversión de capital, Planta Látex. Valencia, Venezuela.

Este proyecto tenía como alcance la implantación de un sistema de bombeo desde el tanque clarificador de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corimon Pinturas C.A. hasta el tanque de almacenamiento principal de agua empleadas en el proceso. Se realizó un estudio preliminar del agua clarificada y se observó que los valores cumplen con las características de las aguas empleadas en el proceso. Sin embargo, no se desarrolló ningún piloto de pintura con el agua tratada, por lo que no estudiaron el impacto de ésta en la calidad del producto final generándose de este modo un espacio para desarrollar la presente investigación.

Gómez, M. (2010). **“Reutilización del agua residual de las resinas poliéster, alquídicas y urea formaldehído para la fabricación de pintura base agua (látex)”**. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería. Riobamba, Ecuador.



Se estudió la reutilización de las aguas residuales de diferentes procesos de fabricación de resinas en la elaboración de pinturas base agua (látex) con tratamientos de aireación y oxidación. Los ensayos se realizaron con la mezcla de las aguas residuales resultantes de los procesos de fabricación de tres tipos de resinas: alquídicas, poliéster y urea formaldehído. Se logró determinar que es posible la reutilización del 20% de esta agua en la formulación de la pintura verificando que no existió ninguna alteración de sus propiedades, ni emanación de olor desagradable en el momento de su aplicación. La importancia de este trabajo en relación con la actual investigación radica en los parámetros a evaluar de los pilotos de pintura y la metodología a seguir para realizar dicha evaluación.

Contreras, R. (2003). **“Evaluación técnico económica de la reutilización de agua clarificada del tratamiento secundario de una industria papelera”**. Tesis, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Venezuela.

El trabajo de grado tiene como objetivo general evaluar la factibilidad técnico-económica de reutilizar el agua clarificada del tratamiento secundario con el fin de disminuir el consumo de agua fresca por toneladas métricas (TM) de papel producido. Se concluyó que debido a la alta calidad del agua de la planta de tratamiento es posible usar el agua clorada en el proceso y el efluente para riego; además una vez instalado el sistema de reutilización del agua de la planta de tratamiento, se ahorra un volumen diario de 1843.58 m³ de agua fresca destinada al área de servicios generales de la empresa, lo cual representa un 46.32% de disminución en el consumo de agua fresca usada en la planta. Se evaluó técnica y económicamente la reutilización del agua clarificada en una industria papelera, sirviendo de referencia y generando un enfoque diferente a la presente investigación pero en otro ámbito industrial y área de estudio.



2.2 Pinturas emulsionadas en base agua

Las pinturas son desde el punto de vista fisicoquímico un sistema disperso, constituidas generalmente por sólidos finamente particulados y dispersados en un fluido denominado vehículo. Este último está basado en una sustancia filmógena o aglutinante, también llamada formadora de película o ligante, dispuesta en un solvente o mezcla solvente al cual se le incorporan aditivos y eventualmente plastificantes (Guidice, 2009). En el caso de las pinturas emulsionadas o tipo látex el vehículo es principalmente agua y este forma la fase continua, por lo que se considera una emulsión aceite en agua (O/W).

Las características principales de las pinturas tipo látex de acuerdo a la norma COVENIN 1302-96 son:

- Forman películas semi-impermeables que dejan pasar humedad del ambiente al sustrato y viceversa.
- Son excepcionalmente elásticas, capaces de expandirse y contraerse de igual manera que el sustrato.
- Tienen afinidad química con los componentes del concreto, por lo que se adhieren fuertemente a él.
- Se pueden formular pinturas brillantes, semi-brillantes, mates.
- Por su naturaleza son películas resistentes a álcalis moderados y a lavados continuos con agua o soluciones jabonosas.

En la misma norma COVENIN 1302-96 las pinturas emulsionadas en base agua se clasifican en:

Tabla 2.1 Clasificación de las pinturas emulsionadas en base agua

	Clasificación
Según acabado	Pinturas emulsionadas brillantes
	Pinturas emulsionadas semi-brillantes
	Pinturas emulsionadas mates
Según Calidad	Clase A (Tipo A)
	Clase B (Tipo B)
	Clase C (Tipo C)

Fuente: norma COVENIN 1302-96.

2.2.1 Componentes de la pintura emulsionada en base agua

Los componentes de la pintura varían en gran manera en función del tipo de acabado que se requiera y de las condiciones de aplicación y secado. La pintura se encuentra compuesta genéricamente por resina, solventes, pigmento, cargas y aditivos.

Se emplea en muchos casos el “*Slurry*” para ahorrar los costos asociados al uso de pigmentos, debido a que los minerales sustituyentes, presentan características fisicoquímicas muy similares a estos, con la diferencia que son mucho más económicos.

- **Resina**

Las resinas son polímeros de origen natural o sintético con importantes propiedades químicas y una amplia diversidad de aplicaciones a nivel industrial, como por ejemplo abrasivos, adhesivos, pintura entre muchos otros. En pinturas, se encargan de aglutinar las partículas de pigmentos, fijando estas sobre la superficie que se quiere pintar. (Corimon Pinturas C.A., 2001)

La resina es el componente estructural que da cuerpo y consistencia, la cual aparte de la adhesión, le confiere a las pinturas propiedades de

flexibilidad, dureza, resistencia al impacto, abrasión y resistencia a la intemperie química y al agua. Es importante mencionar que las propiedades finales de la pintura serán iguales a las de la resina. (Corimon Pinturas C.A., 2001)

En la industria de las pinturas existe una gran diversidad de resinas que pueden ser empleadas, como lo son: las resinas vinílicas, de poliéster, melamina-formaldehído, acrílicas y acrovínlicas, siendo esta última la empleada principalmente en la elaboración de pinturas emulsionadas en agua económicas. Esta resina acrovínlica es un copolímero de vinil acetato y butilacrilato de metilo en una dispersión acuosa.

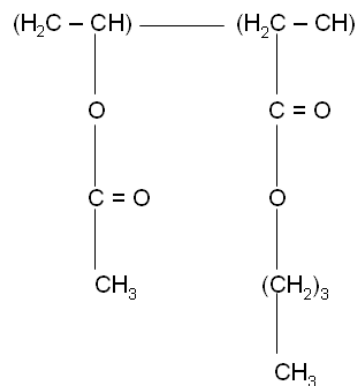


Figura 2.1 Copolímero de la resina acrovínlica

- **Solvente**

El solvente es el agua y otros productos de naturaleza orgánica cuya misión es dar a la pintura la viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse. Los solventes, además se utilizan para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación, estos influyen en secamiento, aplicabilidad, nivelación, brillo y apariencia general de película.

Dentro de los solventes, podemos encontrarnos con los coalescentes y plastificantes, estos son indispensables en la formación de la película en pinturas de resinas emulsionadas. Los plastificantes son incorporados en las

partículas de polímero de resinas emulsionadas, con el fin de ablandarlas y de que formen una película a temperatura ambiente, y los coalescentes son plastificantes temporales porque se evaporan a corto plazo después del secado de la resina. Los coalescentes son disolventes orgánicos con cierto carácter hidrofóbico que separan la fase acuosa de la fase orgánica de la resina y plastifican parcialmente el polímero. (Schweigger, 2005)

En la tabla 2.2 se encuentran los principales coalescentes empleados en la industria de la pintura.

Tabla 2.2 Principales coalescentes en la industria de la pintura

Coalescente	Propiedades
n-butilglicol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-H}_2(\text{OH})$	Eficiente con carácter hidrofílico que apoya el carácter newtoniano de la reología de espesantes asociativos.
Butildiglicol o Butilcarbitol $\text{C}_4\text{H}_9\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	De efecto similar al butilglicol, con una evaporación lenta.
Dowanol ®TPnB	Son tres clásicos disolventes, que se consideran en la normativa Eco Label como plastificantes (temporales). Por su eficacia se consideran como excelentes coalescentes en pinturas plásticas.
Lusolvan ® FBH	
Texanol ® (EA)	

Fuente: Schweigger E. (2005).

- **Pigmento**

El pigmento es un material sólido, finamente dividido, insoluble en el medio. Utilizado para conferir color, opacidad, ciertas características de resistencia y otros efectos. Están divididos en pigmentos coloridos (confieren color), no coloridos y anticorrosivos (confieren protección a los metales). El índice de refracción (I.R.) está directamente relacionado al poder cubriente (propiedad de la pintura para cubrir el sustrato). (Fazenda, 1993)



También se puede definir como una sustancia coloreada y finamente repartida, que confiere su color a otro material, bien cuando se mezcla íntimamente con él, o cuando se aplica a su superficie en una capa fina. Cuando un pigmento se muele y se mezcla con un solvente líquido para formar una pintura, no se disuelve sino que queda disperso o suspendido en el líquido. Las sustancias coloreadas que se disuelven en líquidos e imparten su color a los materiales al ser absorbidos se llaman tintes o colorantes. (Corimon Pinturas C.A., 2001)

A continuación, en la tabla 2.3 y 2.4 se muestra la clasificación de los pigmentos orgánicos e inorgánicos más empleados en la industria química según el Manual de Conceptos Básicos de Corimon Pinturas C.A., (2001):

Tabla 2.3 Clasificación de los pigmentos orgánicos

Pigmentos orgánicos			
Azul ftalocianinas	Azo		Antraquinona
	Ácidos	Insolubles	Alizarina
	<ul style="list-style-type: none">• Litol	<ul style="list-style-type: none">• Rojo toluidina• Hansa• Rojos Naftoles	

Fuente: Corimon Pinturas C.A. (2001)

Tabla 2.4 Clasificación de los pigmentos inorgánicos

Pigmentos inorgánicos		
Blancos	Anticorrosivos	Coloreados
<ul style="list-style-type: none">• Cubriente• Dióxido de Titanio	<ul style="list-style-type: none">• Minio de plomo• Metaborato de bario• Óxidos de Zinc	<ul style="list-style-type: none">• Cromato de plomo• Naranja de molibdato• Óxido de hierro
Negros	Metálicos	Extender
<ul style="list-style-type: none">• Negro de humo	<ul style="list-style-type: none">• Aluminios• Zinc	<ul style="list-style-type: none">• Carbonato de calcio• Baritas• Colines• Talcos• Micas

Fuente: Corimon Pinturas C.A. (2001)

Comúnmente se hace uso de pastas acuosas o también conocidos como concentrados para eliminar la etapa de molienda del pigmento, estas preparaciones son adquiridas en el mercado directamente y poseen ciertas características según la base que lo componga. Las preparaciones de pigmentos orgánicos e inorgánicos son destinadas a la coloración de toda clase de pinturas emulsionadas, ya que este tipo de preparaciones son aceptadas por cualquier tipo de resina, permitiendo así una amplia gama de compatibilidades. Su estandarización se encuentra relacionada con la fuerza de la tinta y no del contenido del pigmento. (Clariant, 2001)

- **Cargas**

Las cargas son materiales inertes que se adicionan a los pigmentos o pastas pictóricas para alargarlos a base de aumentar la masa y en definitiva adulterándola para reducir costos o modificarla para que adquiera nuevas propiedades. Estas materias deben ser de poco poder



colorante y escaso poder cubriente para no cambiar la viveza del pigmento o de las pastas tratadas. (Gumi y Lluís, 1988)

- **Aditivos**

Los aditivos son productos que intervienen en la formulación de un recubrimiento en pequeñas cantidades, facilitando el proceso de fabricación, la estabilidad durante el almacenaje del producto y proporcionando características apropiadas durante y después de la aplicación. Entre estos tenemos los dispersantes y humectantes, biocidas, antiespumantes, etc. (Calvo, 2009)

Los dispersantes-humectantes: son sustancias que al adsorberse sobre la superficie del pigmento mantienen las partículas alejadas mediante repulsión electrostática y/o impedimento estérico, reduciendo así, la tendencia a una floculación incontrolada. (Calvo, 2009)

Considerando las moléculas de pigmento dentro de la pintura líquida como partículas cargadas, el empleo de aditivos busca lograr dos objetivos: a) aumentar el valor de esta carga, y b) procurar que todas las partículas tengan carga del mismo signo. El mecanismo de repulsión electrostática se basa en la redistribución de cargas a nivel de la interfaz sólido/líquido dando lugar a la aparición de una doble capa eléctrica. La estabilidad de la dispersión será directamente proporcional al espesor de dicha capa. A causa de sus estructuras químicas, estos aditivos normalmente no tienen características humectantes, por lo que deben ser combinados con un aditivo humectante. Un agente humectante dispersante es imprescindible para formular concentrados estables de pigmentos. El aditivo “*deflocula*” al pigmento, y como consecuencia reduce de forma significativa la viscosidad. Debido a este efecto aumenta la cantidad de pigmento en la formulación. La “*defloculación*” permite obtener un rendimiento óptimo del pigmento. (Caprari, 2007)



Los biocidas: son sustancias activas y preparadas que pueden contener una o más sustancias activas, destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer el control de otro tipo sobre cualquier organismo nocivo por medios químicos o biológicos. En la formulación de pinturas se agregan para prevenir su descomposición y degradación por la acción de bacterias, hongos y otros microorganismos.

Los antiespumantes: son compuestos empleados para eliminar o minimizar formación de espuma en la fabricación, manipulación y aplicación de recubrimientos dado que esto es un efecto indeseado y perjudicial. La formación de espuma es un inconveniente inevitable en trabajos con recubrimientos plásticos, se origina principalmente por efecto de los tensoactivos, los humectantes y dispersantes en el proceso de elaboración, (Schweigger, 2005). Generalmente los antiespumantes son sustancias con una tensión superficial baja como la silicona, aceites minerales, ácidos grasos y compuestos fluorocarbonados. (EFKA, 2012)

- **“Slurry”**

La técnica denominada “*Slurry*” o mezcla en español, es una suspensión concentrada de uno o más exténderes (sulfatos, silicatos, carbonatos, caolín, talco, entre otros), dispersos en una fase acuosa a diferentes granulometrías o tamaño de partículas, los cuales son utilizados en la industria del papel, cable, cosmética y pintura, para ahorrar costos de materia prima, (Sánchez, 2011). Esta técnica de fabricación es utilizada en la industria de pinturas, con el fin de ahorrar los costos asociados al uso de pigmentos, debido a que estos minerales sustituyentes, presentan características fisicoquímicas muy similares a los pigmentos, con la diferencia que son mucho más económicas.



2.2.2 Proceso de elaboración de la pintura emulsionada en base agua

El proceso de fabricación de pinturas emulsionadas en base agua conlleva seis (6) pasos elementales para su realización, los cuales son:

- **Pesaje**

Es la etapa inicial del proceso de fabricación, en ella se pesan las cantidades de todos los componentes sólidos y líquidos que se indican en la carta de formulación y se dejan especificados y ordenados al alcance del encargado de transportar el material hasta la siguiente etapa.

- **Dispersión**

Es una operación unitaria en la cual se dispersa o distribuye una fase sólida (pigmentos y/o cargas) en una fase líquida a través de mezclamiento a alta velocidad y el empleo de un disco dentado que imparte una fuerza de cizallamiento para romper los flóculos y aglomerados de material sólido, hasta obtener la distribución de partículas requeridas (mallaje o grado de dispersión), según requerimientos de calidad del diseño.

La importancia de esta etapa se atribuye a que esta afecta considerablemente la utilización del pigmento, así como las propiedades del producto final. El grado de dispersión o tamaño de una partícula se ve reflejado en propiedades como el brillo, formación de grumos, viscosidad y tersura de la película aplicada, por esto es importante estudiar a fondo la granulometría de la partícula y lograr la selección apropiada del tiempo de dispersión. Según Sánchez (2009) esta etapa se lleva a cabo en dos pasos:

- Humectación: implica el remplazo de las interfases pigmento-aire y pigmento-humedad, provocando la eliminación de gases u otros contaminantes, que se absorbe sobre la superficie del pigmento.



- Separación de las partículas: Consiste en la trituración de la mezcla formada por el solvente, pigmento y/o cargas y algunos aditivos para disminuir el tamaño de las partículas hasta el deseado, el cual depende del tipo de recubrimiento a preparar. Aquí se logra el grado de dispersión o mallaje, cubrimiento y fuerza de color.

- **Terminación**

Al estabilizar el producto de la etapa de dispersión, éste pasa a otro tanque para proceder a agregar según el orden establecido, el resto de los componentes o aditivos de la fórmula. En el proceso de terminación de la premezcla de la dispersión, al igual que en todo el proceso, se requiere el uso de mezcladores para lograr que la mezcla de resina, solventes y aditivos sea lo más homogénea posible. (Sánchez, 2011)

El mezclador es un tanque cilíndrico el cual consta de un sistema de agitación de paletas, propulsores o discos, para cubrir una amplia gama de aplicaciones y sistemas, en esta etapa la velocidad de la mezcla se ajusta para evitar la deposición de partículas de sólidos, lo cual depende principalmente del o de los productos a ser mezclados. (Sánchez, 2011)

- **Ajuste**

En esta etapa se ajusta el tono del color del lote fabricado al tono del color establecido como estándar, mediante la adición de bases pigmentadas bajo mezclado del producto. Así mismo, en esta etapa se fijan las siguientes propiedades: viscosidad, tiempo de secado, cubrimiento y densidad. (Sánchez, 2011)

- **Control de Calidad**

Tiene como fin primordial el aseguramiento del cumplimiento de los estándares de calidad en las pinturas manufacturadas, es decir en esta



etapa se realizan todas las pruebas y ensayos necesarios para evaluar y ajustar todas las características específicas que debe cumplir cada producto en particular para su aprobación y posterior envasado. (Sánchez, 2011).

En la tabla 2.5, se reflejan las propiedades de la pintura que se evalúan en la etapa de control de calidad según la norma COVENIN 1302-96.

En esta etapa también se controlan algunos parámetros fisicoquímicos de las materias primas. En el caso del agua, ciertas características afectan el desempeño y calidad final de la pintura, las cuales son:

- Cloro residual: la dosificación de soluciones controladoras de la proliferación bacteriana es necesaria para evitar la putrefacción del producto final, es por esto que se controla la dosis que se le agrega al agua de entrada al proceso. (Schweigge, 2011)
- Dureza del agua: no siempre se tendrá la disponibilidad de agua destilada, pero sí será importante trabajar con agua desmineralizada y controlar su dureza. Entre los minerales más abundantes figuran los electrolitos cálcicos y férricos, los cuales hay que evitar por ser perjudiciales en la estabilidad de las pinturas y producen incrustaciones en las tuberías. (Schweigge, 2011)

Se pueden controlar otros parámetros que pueden afectar igualmente la calidad y/o apariencia de la pintura final, así como las instalaciones industriales utilizadas, estos son:

- Aluminio: es anfótero y puede reaccionar con ácidos minerales para formar sales solubles con desprendimiento de hidrógeno, perjudicando la estabilidad de la pintura. (Lenntech, 2012)
- DBO: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Es un parámetro



interesante que debe ser controlado si se sospecha de la calidad del agua, y así evitar la posible descomposición de la pintura. (Loyo, 2008)

- DQO: la demanda química de oxígeno (DQO), es un parámetro analítico de polución que mide el material orgánico biodegradable y no biodegradable que pueden ser oxidados químicamente. Se utiliza para expresar de alguna manera el grado de contaminación de las aguas. Es un parámetro que debe ser controlado para evitar una posible descomposición de la pintura si se sospecha de la calidad del agua. (Loyo, 2008)

- Sulfato: es un factor primordial a controlar para el cuidado de las tuberías industriales.

- Tensión superficial: se puede evidenciar un aumento de la espumabilidad en la pintura si la tensión superficial no se controla. Esta puede verse alterada por surfactantes, tensoactivos, humectantes y dispersantes en el proceso de elaboración. La espuma se debe evitar debido a las irregularidades que forma en la aplicación de la pintura y los problemas que conlleva durante el llenado del producto.

Tabla 2.5 Requisitos para las pinturas emulsionadas para uso interior y/o exterior

Característica	Clase (TIPO)					Método de ensayo
	A			B	C	
	Semibrillante	Brillante	Mate	Mate	Mate	
Viscosidad Stormer (UK)	80-120	70-120	75-120	75-120	75-120	COVENIN 684
pH	7-10	7-10	7-10	7-10	7-10	COVENIN 676
Contenido del material No Volátil (%) mínimo	35	40	40	35	30	COVENIN 680
Resistencia al fregado (ciclo) mín. 175 mm	700	300	100	20	8	COVENIN 993
Secamiento libre de huella	180	60	60	60	60	COVENIN 690
Resistencia al deterioro de microorganismos en el envase	Negativo a las 6 semanas					COVENIN 683
Brillo	50-70	15-35	-	-	-	COVENIN 1142
Flotación uniforme del color	Ausente					COVENIN 402
Estabilidad en el envase:	Insignificante					COVENIN 682
- Presión						
- Corrosión en el envase						
- Olor a descomposición	Ausente					COVENIN 681
- Grado de sedimentación mín.	6	6	6	6	6	
- Viscosidad	Se permitirá una variación de ± 5 UK con respecto a los valores máximo y mínimo establecidos en la Norma					COVENIN 684
CuarTEAMIENTO	Buena					COVENIN 3257
Relación de contraste	-	96	98	97	96	COVENIN 3258

Fuente: norma COVENIN 1302-96.

- **Envasado**

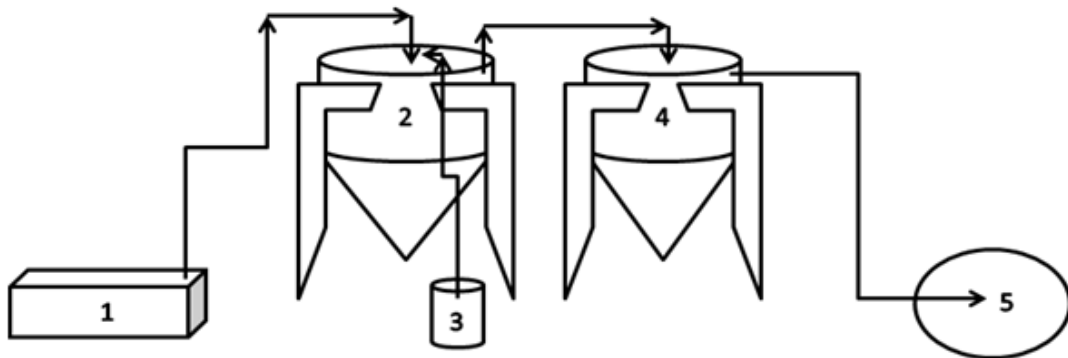
En esta etapa el producto fabricado es envasado en cualquiera de sus diferentes presentaciones (galón, ¼ de galón, cuñete) para contener,

proteger, manipular, distribuir y presentar la mercancía para el traslado y venta.

2.2.3 Descripción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corimon Pinturas C.A.

La planta de tratamiento para aguas residuales es un sistema compuesto por una piscina de bombeo, dos tanques cónicos, el tanque de reacción y el segundo el tanque clarificador, y un tanque cilíndrico pequeño de acuerdo al diagrama observado en la figura 2.2.

El caudal de aguas residuales provenientes de Planta Látex llena la piscina y ésta es bombeada hacia el tanque de reacción. En el tanque cilíndrico pequeño se prepara la solución de sulfato de aluminio, la cual es dosificada por una línea de tubería hasta el tanque de reacción. Después de haber realizado la dosificación y cumplido el tiempo de sedimentación, se bombean las aguas ya tratadas hacia el tanque clarificador, y se procede a descargar las aguas industriales ya tratadas a las redes cloacales municipales por acción de rebose del tanque clarificador.



Leyenda:

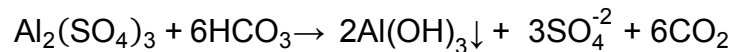
- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1: Piscina de bombeo | 2: Tanque de reacción |
| 3: Tanque cilíndrico pequeño | 4: Tanque clarificador |
| 5: Redes cloacales | |

Figura 2.2 Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales

1. Sustancias activas empleadas durante el tratamiento fisicoquímico del influente

- Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$):

Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en (Al_2O_3) , es decir, 17% aproximadamente (Barrenechea, 2011). Es uno de los coagulantes inorgánicos más empleados para el tratamiento de aguas residuales industriales, muestra un excelente resultado para coagulación de coloides y remoción de turbidez. Su rango de pH óptimo es de 5.0 - 7.0, en este intervalo reacciona para formar hidróxidos insolubles, según la siguiente reacción general (Loyo, 2008):



- Poliamina cuaternaria, en solución al 10% v/v: este tipo de reactivo corresponde a polímeros catiónicos líquidos de diferentes pesos moleculares que actúan de manera eficaz como coagulantes primarios, agentes neutralizadores de carga y/o ayudantes de floculación en procesos de separación líquido-sólido en una amplia gama de industrias. (Kemira, 2006)

Se ha observado que muchas veces los polímeros con carga positiva son efectivos para coagular coloides con carga positiva, fenómeno que no puede ser explicado de acuerdo con modelos basados en la neutralización de cargas.

Se ha desarrollado la teoría del “puente” también conocida como teoría de La Mer por su creador. La figura 2.3 describe gráficamente la teoría de La Mer (Barrenechea, 2011), se pueden observar seis (6) reacciones, las cuales ocurren de la siguiente manera:



Reacción 1. Un polímero tiene ciertos grupos que interaccionan con la superficie de las partículas coloidales y se deja que el resto de la molécula se extienda hacia la solución.

Reacción 2. Si una segunda partícula con algunos sitios de adsorción vacíos entra en contacto con los segmentos extendidos, puede realizarse una unión. El polímero sirve de puente en el complejo partícula-polímero-partícula.

Reacción 3. Si no se dispone de una segunda partícula, los segmentos dispersos del polímero pueden eventualmente adsorberse en otros lados de la partícula original, lo que hace imposible que el polímero sirva de puente y se produce la reestabilización de las partículas.

Reacción 4. El modelo de puente puede explicar cualitativamente la reestabilización como resultado de la saturación de las superficies coloidales por el polímero, sin dejar lugar para la formación de puentes interparticulares.

Reacciones 5 y 6. En algunos casos, los sistemas coloidales desestabilizados pueden ser reestabilizados por medio de agitación intensa, debido a que se rompen las uniones polímero-superficie, y ocurre una adsorción secundaria de los fragmentos de los flóculos.

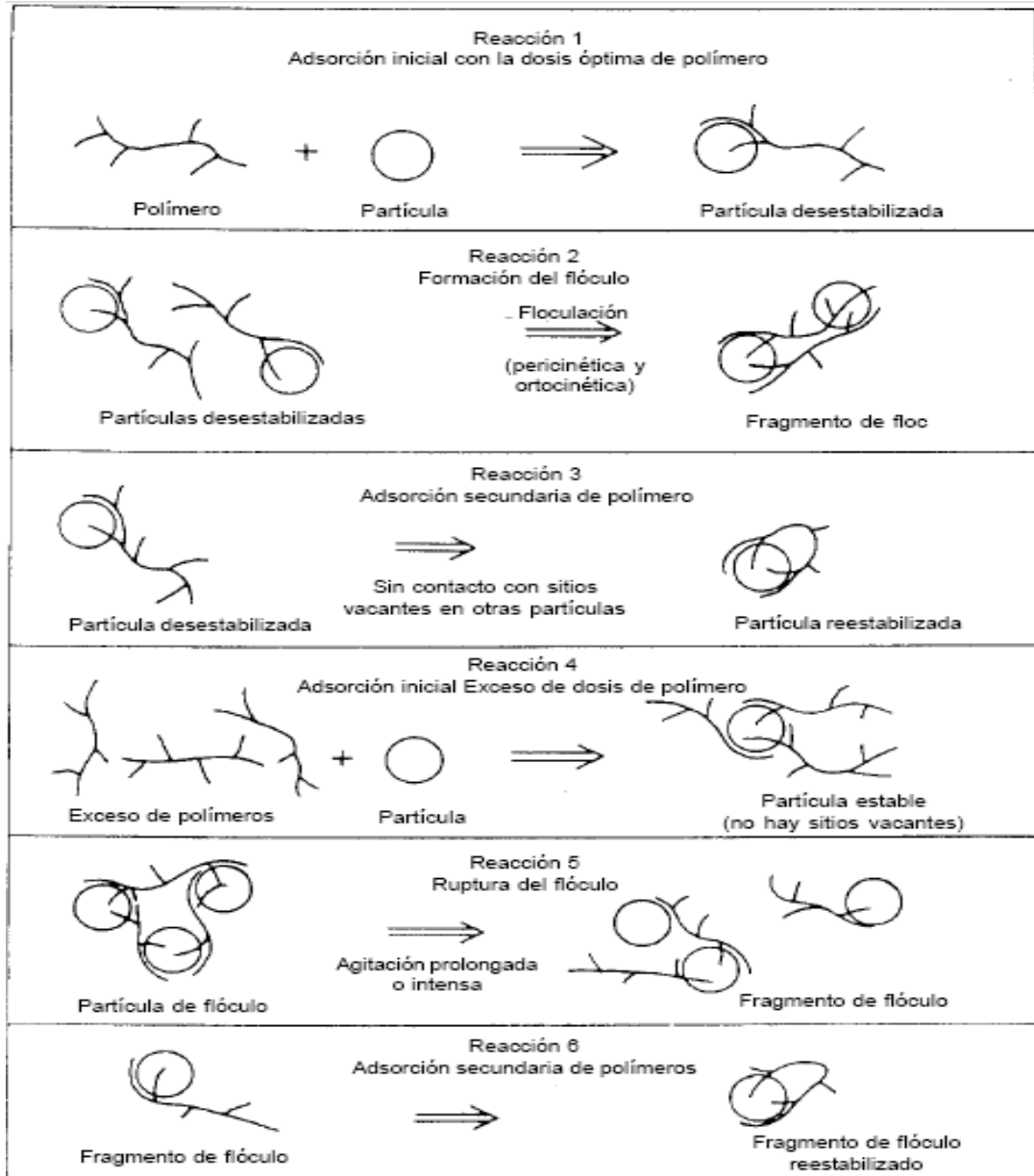


Figura 2.3 Representación esquemática para el modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímeros

Fuente: Barrenechea, 2011



2.3 Diseño completamente al azar (DCA)

El diseño de experimentos es esencialmente una estrategia para la planificación de ensayos de manera que las conclusiones válidas y pertinentes puedan conseguirse eficientemente al menor costo. La selección de un plan experimental específico debería depender de lo que se quiere averiguar, cuán generalizado debe ser la conclusión, y la cantidad de recursos disponibles (material experimental, persona, tiempo). Un experimento correctamente diseñado y ejecutado normalmente conduce a un análisis estadístico relativamente sencillo y a una interpretación clara. (COVENIN 3534-3:01)

Para que un experimento pueda considerarse verdaderamente científico y catalogarse como un buen experimento, las conclusiones obtenidas de este deben tener validez, precisión y amplio cubrimiento. (Díaz, 2009)

A continuación se definen algunos elementos de un experimento: (Lara, 2001)

- Unidades experimentales: pueden estar conformadas por personas, elementos físicos, etc.
- Variable de interés: también la podemos denominar como variable respuesta, es el objeto de estudio.
- Error experimental o perturbación: son las variables no controlables por el experimentador
- Tamaño del experimento: es el número total de observaciones realizadas.

La aleatorización es la piedra angular en la que se fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el diseño experimental. Por aleatorización se entiende que tanto la asignación del material experimental como el orden en



que se realizarán las corridas o ensayos individuales del experimento se determinan al azar. Uno de los requisitos de los métodos estadísticos es que las observaciones (o los errores) sean variables aleatorias con distribuciones independientes.

El diseño completamente al azar (DCA) es el más simple de todos los diseños que se utilizan para comparar dos o más tratamientos, dado que sólo considera dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio. El diseño se llama *completamente al azar* porque todas las corridas experimentales se realizan en orden aleatorio completo, ya que al no haber bloques, no existe ninguna restricción de aleatorización. Más específicamente, si durante el estudio se hacen en total N pruebas, éstas se corren al azar, de manera que los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos. (Gutiérrez y de la Vara, 2003)

Para el estudio de este tipo de diseños se emplea una herramienta conocida como *análisis de varianza* (ANOVA), en la cual se utilizan cocientes de varianzas para probar la hipótesis de igualdad de medias. La idea general de esta técnica es separar la variación total en las partes con la que contribuye cada fuente de variación en el experimento. En el caso de DCA se separan la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto (figura 4b), o lo que es lo mismo, las medias son diferentes. Cuando los tratamientos contribuyen igual o menos que el error, se concluye que las medias son iguales (figura 4a). (Gutiérrez y de la Vara, 2003)

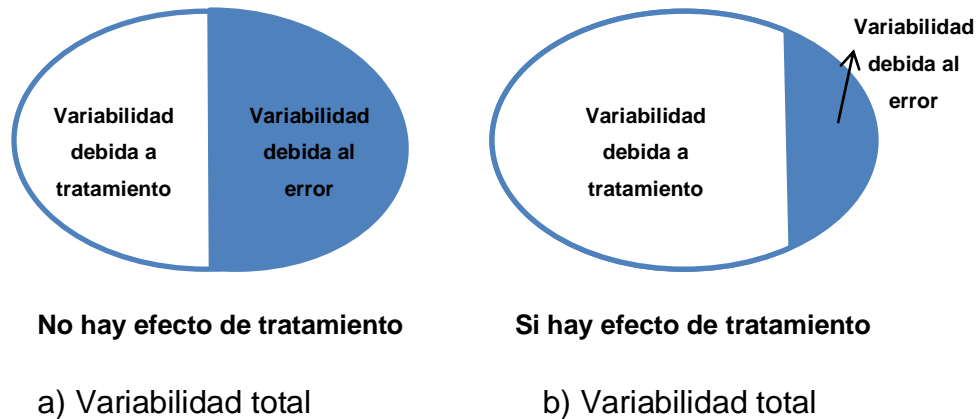


Figura 2.4 Componentes de la variación total en un DCA

Fuente: Gutiérrez, y de la Vara (2003).

El ANOVA utiliza el valor P (significancia observada) de la prueba F para indicar la probabilidad de rechazar la hipótesis planteada, si el valor del P es menor que el nivel de significación prefijado, se concluye que el efecto correspondiente es estadísticamente diferente de cero, es decir, tal efecto está activo o influye de manera significativa sobre la respuesta. Además, entre más pequeño sea el valor P de un efecto, más importante es este.

La validez de los resultados obtenidos en cualquier análisis de varianza queda supeditada a que los supuestos del modelo se cumplan. Estos supuestos del modelo de ANOVA son: normalidad, varianza constante (igual varianza de los tratamientos) e independencia. (Gutiérrez y de la Vara, 2003)

Se utilizan normalmente la muestra de los residuos para comprobar los supuestos del modelo. Los residuos son generados por la diferencia entre la respuesta observada y la respuesta predicha por el modelo en cada prueba experimental. (Gutiérrez y de la Vara, 2003)



Para comprobar cada supuesto existen pruebas analíticas y gráficas. Usualmente se emplean las pruebas gráficas dado que se pueden aplicar razonablemente con pocos datos, cosa que no sucede con las pruebas analíticas. El uso de las pruebas gráficas requiere fuertemente evidencia visual para concluir que el supuesto en cuestión no se cumple, se requiere que la evidencia en contra de un supuesto esté soportada por más de dos puntos. (Gutiérrez y de la Vara, 2003)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se explican el conjunto de pasos que se siguieron para dar cumplimiento a los objetivos planteados y el tipo de investigación a la que responde el estudio realizado.

Este Trabajo Especial de Grado es una investigación experimental ya que se manejó una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o cómo influye la calidad del agua en la pintura emulsionada económica que se desarrolló.

Adicionalmente, responde a una investigación de tipo trabajo de campo ya que la obtención de datos específicos para responder preguntas concretas, ocurrió sobre el terreno en donde se dan los hechos utilizando técnicas distintas al trabajo o laboratorio, como lo fue el muestreo del efluente de la planta de tratamiento de la empresa con el cual se prepararon los pilotos de pintura emulsionada económica a nivel de laboratorio.

3.1 Estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Corimon Pinturas C.A.

Para realizar este objetivo se hizo uso de un medidor de caudal tipo coriolis (Endress Hauser, modelo Promass 40E ®, ver anexo 1.1). Este equipo se instaló a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales para realizar las mediciones cada veinticuatro (24) h durante cuatro (4) semanas, por sugerencia del departamento de calidad de la empresa.



La estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, permitió cuantificar la cantidad promedio de agua tratada que puede ser reincorporada al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas.

El medidor de caudal tipo coriolis (Endress Hauser, modelo Promass 40®) se configuró para que expresara las lecturas en toneladas de descarga, ya que los cálculos y predicciones que posee la planta para el agua de consumo de producción se reportan en toneladas de agua fresca.

3.2 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex de Corimon Pinturas C.A.

Se caracterizó el agua de proceso y el agua tratada para así comparar los resultados y observar las diferencias de calidad entre ellas. Se evaluaron los parámetros controlados actualmente al agua de entrada al proceso de elaboración de pintura emulsionada; el *agua de proceso* es una mezcla entre agua de Hidrocentro C.A. y agua potable de un pozo profundo.

Los parámetros de control son: pH, cloro residual y dureza total. Adicionalmente, se le hicieron análisis de sulfato y tensión superficial, conjuntamente con pruebas preliminares de DBO₅, DQO, aluminio y actividad microbiológica. Todo esto para verificar la calidad y determinar las características fisicoquímicas del agua que pueden afectar la estabilidad en el envase, la resistencia microbiológica, el pH, la relación de contraste, el peso por galón, el color y la viscosidad de la pintura emulsionada económica.

A continuación se presentan cada una de las metodologías utilizadas para desarrollar este objetivo:



3.2.1. Cloro residual

Para la determinación del cloro residual se siguió la metodología indicada en la instrucción de trabajo Q-463 de la empresa.

Se necesitó de los siguientes equipos: un comparador Hellige, discos Hellige 330-D, 331-D, 332-D, tubos de precisión y un gotero de 2 mL. Se empleó aproximadamente 0,5 mL (10 gotas) de solución de orto-tolidina por cada muestra y 10 mL de la muestra de agua tratada.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente: se llenó un tubo de precisión hasta la marca de 10 mL con la muestra a una temperatura de 25°C. Se le agregaron 0,5 mL (10 gotas) de solución de orto-tolidina, mezclándose bien y colocando el tubo en el lado derecho del comparador en reposo por 10 min para que se desarrollara bien el color. Se llenó el segundo tubo hasta la marca de 10 mL con agua destilada y se colocó en el lado izquierdo del comparador. Se colocó el disco en el comparador y se giró hasta que ambos colores coincidieran. El resultado final de la prueba fue el último número que apareció en la parte superior derecha del comparador, este se expresa como la concentración en ppm de cloro (mg/L).

3.2.2. Dureza total

Este parámetro se realizó mediante el método B de la norma venezolana COVENIN 2771-91, la cual consistió en una valoración complejométrica de 50 mL de muestra, a la cual se le agregó aproximadamente 1 mL de solución amoniacal para llegar a pH 10, como titulante se empleó ácido etilendiamintetracético (EDTA) estandarizado y negro de eriocromo T como indicador. El calcio y el magnesio se acomplejan observándose en la solución un cambio de color de rojo a azul, el cual es el



punto final de la valoración. La dureza total se expresó en ppm de CaCO_3 , mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Dureza (ppm CaCO}_3) = \frac{A \times B \times 1000}{\text{mL muestra}} \quad (\text{Ec. 1})$$

donde,

A, volumen de valoración para la muestra en mL

B, peso de CaCO_3 , equivalente a 1,00 mL de solución patrón de EDTA en mg.

3.2.3. pH

Para la determinación del pH de las muestras se siguió la metodología indicada en la instrucción de trabajo Q-002 de la empresa.

Se empleó un pHmetro (ver anexo 1.2) provisto de electrodo de vidrio, un termómetro con apreciación de 1 °C y soluciones tampón de pH 4, 7 y 9 para la calibración del instrumento.

Previo a cada medición se verificó la calibración del pHmetro con las soluciones tampón. Las muestras a ensayar se evaluaron a una temperatura de (25 ± 1) °C, se sumergió el electrodo en la muestra y se esperó a que la lectura se estabilizara. El resultado fue la medida que arrojó el instrumento expresada en unidades de pH.

3.2.4. Sulfato

La determinación de sulfato se realizó mediante el método turbidimétrico indicado en el MS Test 4500-E.

El ión sulfato fue precipitado en un medio de ácido acético con cloruro de bario (BaCl_2) como cristales uniformes de sulfato de bario (BaSO_4). La absorbancia de luz de la suspensión de (BaSO_4) se midió con un espectrofotómetro, y la concentración del ión sulfato fue determinada por la comparación de la lectura con una curva de calibración. Los reactivos que se utilizaron para la determinación de sulfatos en las muestras de agua tratada fueron los siguientes:

- 1 L de solución Buffer, la cual se prepara de la siguiente manera: disolver 30 g de cloruro de magnesio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 5 g de acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 1 g de nitrato de potasio (KNO_3) y 20 mL de ácido acético (CH_3COOH) al 99% en 500 mL de agua destilada y diluir hasta 1 L
- Cloruro de bario (BaCl_2)
- Solución estándar de sulfato 0,02 N: diluir 0,1479 g de Na_2SO_4 anhidro en agua destilada hasta alcanzar 1 L.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

Se tomaron aproximadamente 100 mL de la muestra en un matraz de erlenmeyer, se adicionaron 20 mL de la solución buffer y se mezclaron vigorosamente con el cloruro de bario durante 60 s. Al terminar los 60 s, se colocaron rápidamente en la celda la muestra y se midió a 420 nm. Se midieron igualmente los patrones realizados con la solución estándar de sulfato, siguiendo los pasos anteriores para poder construir la curva de calibración.

Se calculó la concentración de ión sulfato según la siguiente expresión:

$$\text{SO}_4^{2-} \frac{\text{mg}}{\text{L}} = \frac{A \cdot 1000}{V \text{ muestra}} \quad (\text{Ec.2})$$

donde,

A, absorbancia de la muestra

V, volumen de la muestra en mL.

3.2.5. Tensión superficial

Para la determinación de la tensión superficial de las muestras de agua tratada se utilizó un tensiómetro de anillo (Cole Parmer, Surface Tensiomat 21 ®, ver anexo 1.3). Las mediciones se hicieron por triplicado y las muestras estaban a una temperatura de $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Se determinó la tensión superficial de una muestra de agua destilada para poder obtener el factor de corrección en el tratamiento de los resultados de la muestra. Los resultados se obtuvieron mediante las siguientes expresiones:

$$\gamma_{\text{corregida}} = \gamma_{\text{medida}} \times \text{FC} \quad (\text{Ec. 3})$$

donde,

$\gamma_{\text{corregida}}$, tensión superficial corregida con el factor, en dinas/cm

FC, factor de corrección, el cual se obtiene de la siguiente manera,

$$\text{FC} = \frac{\gamma_{\text{H}_2\text{O experimental}}}{\gamma_{\text{H}_2\text{O tabulado}}} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde,

$\gamma_{\text{H}_2\text{O experimental}}$, la tensión superficial del agua destilada medida, en dinas/cm

$\gamma_{\text{H}_2\text{O tabulado}}$, la tensión superficial del agua destilada encontrada en la bibliografía, en dinas/cm.

3.2.6. Actividad microbiológica

Esta prueba consistió en dos análisis independientes, el primero fue el método de recuento de bacterias aerobias en placas de Petri y el segundo, método de membrana filtrante para análisis microbiológico. Ambas metodologías fueron extraídas de las normas COVENIN 902-87 y COVENIN 2409-86 respectivamente.



La primera prueba consistió en mezclar un volumen dado de la muestra representativa y homogénea a analizar, con un medio de cultivo en placas de Petri. Después del período de incubación, se determinó el número de unidades formadoras de colonia (ufc) de las bacterias mediante un contador de colonias.

La prueba de la membrana filtrante consistió en filtrar un volumen determinado de la muestra del agua a analizar a través de una membrana filtrante de porosidad adecuada, después de la filtración se colocó la membrana en medios de cultivo apropiados, para luego incubarlas. Cuando finalizó el período de incubación se contaron las colonias características dadas por el microorganismo en estudio.

3.2.7. Aluminio

La determinación del aluminio contenido en las muestras de agua tratada se llevó a cabo mediante un método colorimétrico con cianina de eriocromo R contemplado en la CONVENIN 2124-84. Se empleó un espectrofotómetro DR2800™ para hacer las mediciones de absorbancia.

Este método consistió en combinar la cianina de eriocromo R con la muestra tamponada a pH 6 para que el aluminio presente en la muestra se acomplejara, pudiéndose observar un color rojo-naranja. La intensidad de este color es proporcional a la concentración de aluminio, por lo que se pudo determinar mediante una curva de calibración la concentración de aluminio en la muestra al medir la absorbancia de la muestra a 535 nm.

3.2.8. DBO

El método para determinar la demanda bioquímica de oxígeno en la muestra consistió en colocar una porción de muestra en una botella de cierre



hermético e incubarla a una temperatura de (20 ± 1) °C durante cinco (5) días. El oxígeno disuelto se midió antes y después de la incubación, y en base a la diferencia obtenida se estimó el valor de la DBO. Este procedimiento se realizó siguiendo el método descrito en la norma venezolana COVENIN 3008-93.

3.2.9. DQO

La medida de materia orgánica oxidable presente en las aguas está dada por el consumo de oxígeno necesario en ese proceso. Se sometió una muestra a reflujo abierto en medio ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio, el reactivo no reducido fue valorado por titulación con sulfato ferroso amónico utilizando como indicador ferroina. El consumo del reactivo puede luego expresarse como gramos de oxígeno por litro. Este procedimiento se realizó según las pautas mostradas en el MS Test 5220-A.

3.3 Diseño de experimento seleccionado para la realización de los pilotos de pintura emulsionada económica con el agua tratada

Se seleccionó un diseño completamente al azar como base, cuyos parámetros se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Parámetros del diseño completamente al azar

Parámetro	Número
Factor experimental	1
Variables respuestas	7
Corridas	15

El factor experimental de estudio es la cantidad de agua tratada que se utiliza en la fórmula de la pintura emulsionada económica. Para evaluar el

factor, se realizaron pilotos de un galón de pintura blanca. En la tabla 7 se encuentran los niveles del factor a los que se realizaron los pilotos.

Tabla 3.2 Niveles del factor del diseño completamente al azar

Factor experimental	Nivel					Unidades
	1	2	3	4	5	
Agua tratada	0	25	50	75	100	%

Las variables respuestas que se estudiaron de los diferentes pilotos ensayados con agua tratada se encuentran reflejadas en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Variables respuestas analizadas para los diferentes pilotos a realizar

Variables respuestas	Unidades	Especificación
Viscosidad	KU	90 – 105
pH	Adimensional	8,0 - 9,0
Estabilidad acelerada	Adimensional	0 – 10
Peso por galón	kg/gal	5,04 ± 0,10
Color	DE	≤ 1,5
Relación de contraste	%	≥ 95
Resistencia microbiológica	Adimensional	Cumple

Para la realización del diseño se empleó un paquete estadístico, el cual creó un diseño completamente al azar. El diseño fue ejecutado en quince (15) corridas, y el orden de los experimentos fue completamente aleatorizado. Esto con la finalidad de aportar protección contra el efecto de variables ocultas.

Las quince (15) corridas se realizaron de acuerdo a los diferentes niveles planteados para el factor experimental en estudio. En la tabla 3.4 se observa el nivel de cada una de las corridas realizadas.

Tabla 3.4 Número de corrida y nivel del diseño de experimento completamente al azar propuesto

Corrida	Nivel
1	1
2	4
3	2
4	5
5	3
6	3
7	1
8	2
9	4
10	5
11	3
12	2
13	5
14	4
15	1

3.4 Evaluación de las propiedades de los pilotos de pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada

Se siguieron las metodologías desarrolladas en este apartado para evaluar las características de los pilotos de pintura emulsionada:

3.4.1. Color

Para realizar la evaluación del color según la metodología de la instrucción de trabajo F-222 de la empresa, se empleó un espectrofotómetro



con las siguientes características: sistema matemático CIELAB, componente de luz incluida, tipo de luz D65 y ángulo del observador 10°, ver anexo 1.4.

La muestra a evaluar se homogenizó con la espátula y luego se aplicó con un espesor de película constante de 250 micrones (10 mils) sobre el sustrato estipulado en la hoja de especificaciones del producto elaborado.

Se prosiguió a calibrar el equipo con cada uno de los estándares, y se colocó la aplicación ya seca en el lector; se seleccionó el estándar en la biblioteca del espectrofotómetro que correspondía al producto en evaluación y se leyó la aplicación.

El espectrofotómetro muestra directamente la diferencia de color entre la aplicación y el estándar. El resultado se expresa con el valor de diferencia de color (DE), y la aprobación se hizo de acuerdo a la hoja de especificaciones del producto evaluado. El resultado se reporta como **pasa**, cuando el color de la muestra, no se diferencia significativamente del estándar, y **no pasa**, cuando el color de la muestra si muestra diferencia significativa con respecto al estándar, ver anexo 2.1

3.4.2. Viscosidad

La evaluación de la viscosidad de cada una de las muestras se realizó bajo la metodología de la instrucción de trabajo F-070 de la empresa.

Se agregó la muestra en un $\frac{1}{4}$ de galón hasta ocupar aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes del mismo y se ajustó su temperatura a (25 ± 1) °C. Se colocó el envase sobre la base del viscosímetro Stormer (ver anexo 1.5) y se ajustó la hélice. La lectura se tomó luego de que se estabilizara el equipo. Se reportó la viscosidad en unidades Krebs-Stormer (KU), y se expresó con el valor obtenido directamente del equipo.

3.4.3. Estabilidad en el envase

Esta prueba consistió en almacenar las muestras en presentaciones de $\frac{1}{4}$ de galón durante seis (6) meses a temperatura ambiente, de acuerdo a la norma venezolana COVENIN 682-96. Luego de haber transcurrido este tiempo, se estudia si ocurrió alteraciones en la pintura y en el envase, como por ejemplo: la liberación de presión o vacío al abrir el envase, corrosión, putrefacción del producto, formación de piel y grumos en el producto. También se determinó el grado de sedimentación con la ayuda de una espátula, moviéndola hacia los lados del envase y observando si había resistencia al movimiento, este método fue tomado de la norma venezolana COVENIN 681-96.

Se agitó la pintura con la espátula dando 300 movimientos en dos (2) minutos, esto se hizo para homogenizar la muestra y poder determinar la viscosidad con la metodología anteriormente explicada.

Por último se realizó la prueba de brochabilidad sobre una cartulina y se dejó secar. Se examinó luego la película de la pintura, presencia o no de granos, grumos gelatinosos y/o huellas producidas por dichos granos o grumos. (Ver apéndice A.1)

Para las muestras ensayadas se reportaron los resultados de la siguiente manera: piel, presión, corrosión del envase y olor a descomposición, cada característica por separado según lo siguiente: “ausente”; “insignificante”; “considerable”; “severa”. El grado de sedimentación se evaluó con una escala del cero (0) que denota un sedimento muy compacto que no se puede reincorporar, al diez (10) que significa una suspensión perfecta y sin cambios en las condiciones de la pintura. La viscosidad se reporta en KU, y se comparan los resultados con los obtenidos en la fecha de fabricación para observar si hubo cambios radicales.

3.4.4. Peso por galón

Para determinar el peso por galón de las muestras a ensayar se siguió el método expuesto en la instrucción de trabajo F-005 de la empresa. Es importante tomar en cuenta que, los pilotos de pintura emulsionada no pueden ser evaluados si contienen burbujas de aire, en caso de que tengan, se debe mezclar la pintura ligeramente, dejándose en reposo por unos minutos. La muestra también debe estar a una temperatura de 25 ° C al comenzar con el procedimiento.

Esta prueba se realizó con un picnómetro cilíndrico, el cual se pesó seco y vacío, llenándose completamente el picnómetro con la muestra a ensayar previamente homogenizada, se colocó la tapa y aseguró que se rebosara una porción de muestra a través del orificio. Luego, se limpió y secó completamente la parte externa del picnómetro, para luego pesarlo lleno y anota este valor. El peso específico de la muestra se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PG = P_e \times 3,785 \quad (\text{Ec. 5})$$

donde,

PG, peso por galón, en kg/gal

P_e , peso específico de la muestra, en g/mL, calculado de la siguiente manera

$$P_e = \frac{M2 - M1}{Vol_{pic}} \quad (\text{Ec. 6})$$

donde,

M1, masa del picnómetro vacío, en g

M2, masa del picnómetro lleno, en g

Vol_{pic} , volumen del picnómetro lleno, en mL.

3.4.5. pH

Para determinar el pH de cada uno de los pilotos de pintura se llevó a cabo la metodología expuesta en la instrucción de trabajo Q-002, anteriormente mencionada en el apartado 3.2.3.

3.4.6. Relación de contraste

Para la evaluación de la relación de contraste o también llamado porcentaje de cubrimiento se utilizó el mismo equipo que para la evaluación del color y se siguió la instrucción de trabajo F-229 de la empresa. Primeramente, se realizó la aplicación del producto con un espesor constante de 75 micrones (3 mils) sobre una cartulina tipo cromokote (ver apéndice A.2). Se procedió a leer el valor de la relación de contraste, leyendo primero sobre el área blanca y luego sobre el área negra utilizando el estándar que se encuentra en la biblioteca del equipo. Se realizaron tres (3) lecturas por zona y se promediaron los resultados. El valor de la relación de contraste se expresa directamente como lo reporta el equipo.

3.4.7. Resistencia microbiológica

Esta prueba consistió en someter a las muestras de los pilotos realizados de pintura al deterioro de microorganismos y observar luego del período de incubación si existía crecimiento de colonias de bacterias en la superficie de la placa. Esto se realizó inoculando una muestra representativa de pintura y manteniéndola bajo incubación a 28 °C, controlando la muestra por ocho (8) semanas para contabilizar las ufc. El resultado de la prueba se expresa con un **cumple**, cuando no existen unidades formadoras de colonia en la muestra y **no cumple**, cuando se observa putrefacción y ufc en la placa. Este procedimiento se extrajo de la norma venezolana COVENIN 683-93.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los objetivos planteados y la discusión de los factores que justifican dichos resultados.

4.1 Estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de planta látex de Corimon Pinturas C.A.

Se estipuló que la medición del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales debía realizarse diariamente durante cuatro (4) semanas. Sin embargo, durante la segunda semana se realizó una parada de producción que acarreó la interrupción en la actividades en la planta de tratamiento, por lo que no se observaron descargas durante esta semana. Los resultados de las mediciones realizadas para la estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales se encuentran en la tabla B.1 en el apéndice B.

El promedio obtenido de efluente de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales fue de (21 ± 5) t diarias. Esta es una variable del proceso que depende de la producción.

Gracias a los resultados obtenidos se puede concluir que si se logra recircular el efluente de la planta de tratamiento, ocurriría una disminución importante del impacto industrial al medio ambiente, ya que el volumen de los desechos líquidos es considerable.

En la figura 4.1 se puede observar la representación gráfica de las medidas de descarga de efluente por semana, donde la línea roja muestra el promedio de toneladas descargadas diariamente a las redes cloacales municipales.

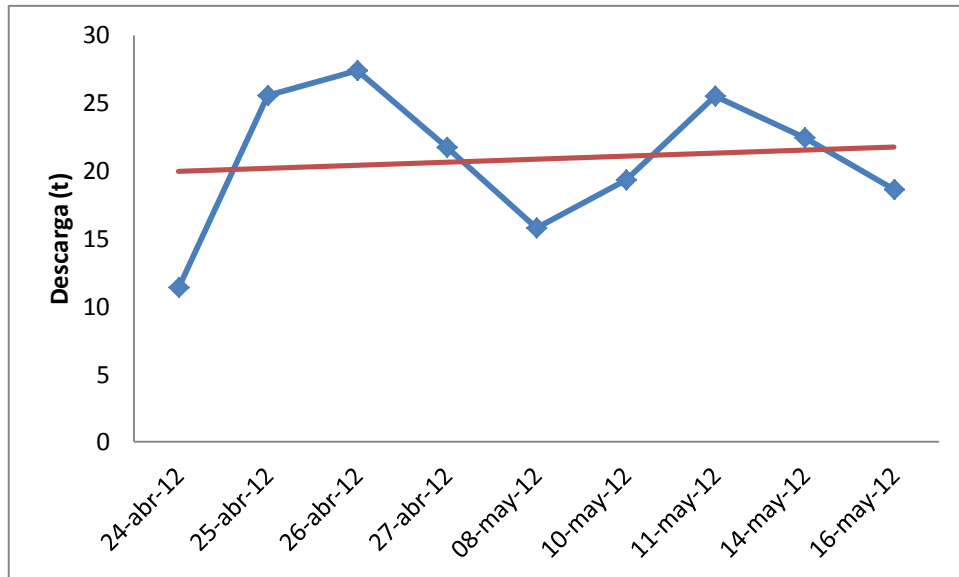


Figura 4.1 Gráfico de la tendencia de descarga de agua tratada

4.2 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex de Corimon Pinturas C.A.

La finalidad de este objetivo se basó en determinar la influencia de factores que pudiesen intervenir en la calidad de la pintura emulsionada económica al reincorporar el agua tratada (coloreada y de aspecto lechoso) al proceso de elaboración de pintura económica tipo látex. En tal sentido, se realizó una comparación de las propiedades del agua de proceso con el agua tratada proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Estas variables determinan la calidad de la pintura ya que alteran dramáticamente el desempeño del producto. Una dureza total mayor a 140 ppm de CaCO_3 es perjudicial en la estabilidad de las pinturas ya que

produce la sinéresis del producto. Se debe mantener el pH controlado entre 7 y 8 ya que afecta la reología de la pintura, y la cantidad de cloro residual presente en el agua de proceso debe estar entre 0,4 y 0,8 ppm para evitar la contaminación del producto por microorganismos. (Corimon Pinturas C.A., 2001)

En primera instancia se estudiaron las variables que se controlan para el agua de proceso actualmente, estas son: cloro residual, pH y dureza total. Los resultados se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Caracterización del agua tratada y el agua de proceso de planta látex

	pH ($x \pm \Delta x$)	Dureza total ($x \pm \Delta x$) ppm CaCO_3	Cloro residual ($x \pm \Delta x$) ppm Cl
Agua de proceso	$7,1 \pm 0,1$	175 ± 30	$0,1 \pm 0,05$
Agua tratada	$6,8 \pm 0,1$	420 ± 100	0
Requerimientos	7,0 - 8,0	≤ 140	0,4 - 0,8

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que en ninguno de los casos los parámetros estudiados de pH, dureza total y cloro residual se encuentran dentro de los requerimientos para el agua tratada.

El efluente de la planta de tratamiento es un agua muy dura ya que posee una dureza total mayor a 300 ppm CaCO_3 (Marín, 2002). Esto debido a que esta agua proviene de un proceso donde se emplean a granel gran cantidad de carbonatos y pigmentos inorgánicos que incrementan esta característica. Tanto el agua de proceso como el agua tratada se encuentran fuera de la especificación requerida (≤ 140 ppm CaCO_3).

El pH para el agua tratada estuvo levemente por debajo del rango expuesto en la especificación, en contraste con el agua de proceso que si se mantuvo en el margen establecido. Esto podría afectar la reología de la pintura.

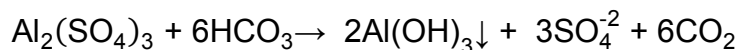
El cloro residual es el remanente de cloro en el agua después de que el hipoclorito de sodio o el ácido hipocloroso añadido haya reaccionado en el proceso de desinfección de ésta. Teniendo esto en cuenta, es entonces comprensible que no se observen trazas de cloro residual en el agua tratada, ya que a ésta no se le hace ninguna dosificación de este tipo en el tratamiento fisicoquímico. Para el agua de proceso existe un sistema de dosificación en los tanques de almacenamiento de agua fresca, pero según las mediciones realizadas no se llega a cumplir con esta especificación actualmente.

Como el efluente que se quiere reincorporar proviene de una tratamiento fisicoquímico con $(Al_2(SO_4)_3)$ se determinó la cantidad de sulfato y aluminio presente en el agua tratada y se compararon estos resultados con las del agua de proceso. En la tabla 4.2 se encuentran los resultados de dichas evaluaciones.

Tabla 4.2 Determinación de sulfato y aluminio en el agua de proceso y agua tratada

	Sulfato ($c \pm \Delta c$) ppm SO_4^-	Aluminio ($c \pm 0,001$) ppm Al^{+3}
Agua de proceso	31 ± 4	0,007
Agua tratada	1009 ± 300	<0,001

A pesar de la gran cantidad de $(Al_2(SO_4)_3)$ dosificada para el tratamiento fisicoquímico todo el reactivo reacciona con la alcalinidad del agua residual y el aluminio precipita como hidróxido de aluminio (Loyo, 2008), según se muestra en la siguiente ecuación:



De acuerdo con los resultados obtenidos, no se encontraron trazas de aluminio en el agua tratada; mientras que en el agua de proceso abastecida directamente de la planta de potabilización Alejo Zuluaga se obtuvo una

cantidad de 0,007 ppm de aluminio. Dicho valor se encuentra dentro de los parámetros de salida establecidos para aluminio de los sistemas de potabilización de HIDROCENTRO C.A. [(0,6 ± 0,1) ppm]. (Consultado para la fecha: 3 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.hidrocentro.gob.ve/hc/sispro/calidadAgua/>).

Tal como se aprecia en la tabla 4.2, el sulfato contenido en el agua de proceso fue de 31 ppm, mientras que el agua tratada posee 1009 ppm, esto se debe a la dosificación en exceso que se realiza de $(Al_2(SO_4)_3)$ para el tratamiento fisicoquímico. Esto puede llegar a ser un factor determinante ya que la adición de electrolitos al sistema puede resultar en una reducción de la estabilidad de la pintura por ser una emulsión O/W. (Salager, 1999)

Adicionalmente, se estudió la tensión superficial del agua tratada, ya que al provenir del proceso de elaboración de pinturas, éstas pudiesen contener tensoactivos. Se pueden observar los resultados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Evaluación de la tensión superficial del agua de proceso y el agua tratada

	Tensión superficial ($\gamma \pm 1$) cm/dinas
Agua de proceso	67
Agua tratada	38

El interés por determinar este parámetro recae en la influencia que tienen en la apariencia del producto, ya que si no se controla la tensión superficial del agua que se utiliza en el proceso de fabricación puede ocasionar problemas de espumabilidad en la pintura, afectando su llenado y/o aplicación.

La tensión superficial promedio que presentó el agua de proceso fue de 67 dinas/cm, valor que se encuentra cercano al de referencia del agua

destilada 72,75 dinas/cm (Castellan, 1987). En el caso del agua tratada, la misma reportó una tensión superficial de 38 dinas/cm; este resultado indica una fuerte presencia de tensoactivos en el agua residual después del tratamiento fisicoquímico, lo que podría generar tal como se mencionó anteriormente, la presencia de espuma en el producto. (Salager, 1999).

Además, se hicieron pruebas preliminares de DBO₅, DQO y actividad microbiológica a una muestra compuesta de agua tratada, por ser esta un efluente residual. En la tabla 4.4 se muestran los resultados de dichas pruebas. Es de hacer notar que, la pintura es un sistema que es fácilmente afectado por la actividad de microorganismos, por lo que se estudian estos indicadores de contaminación para el agua residual. La DBO representa una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente y la DQO se utilizó para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en el agua residual. (Sánchez, 2007)

Tabla 4.4 Parámetros de contaminación evaluados para el agua tratada

DQO	DBO ₅	Actividad microbiológica
2300 ppm	288,42 ppm	No cumple

Los resultados obtenidos para el agua tratada corresponden a los valores de DBO y DQO de un agua tipo residual industrial con una alta carga de contaminantes. La prueba de actividad microbiológica realizada resultó negativa, lo que significa que el agua tratada no cumple con los requisitos microbiológicos en los parámetros evaluados establecidos en la Gaceta de la República Bolivariana de Venezuela 36.395 de “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable”.



4.3 Estudio de la variación de las propiedades de la pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada

Con base a los objetivos ambientales de la empresa y a los antecedentes de reutilización de aguas residuales en procesos de producción industrial, se evaluó el efecto del agua tratada sobre la calidad de la pintura emulsionada económica empleando un diseño de experimento completamente al azar.

Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables respuesta, ya que es una herramienta de gran utilidad para el análisis de los resultados.

En el apéndice C se encuentran las tablas con los resultados de las variables respuesta.

4.3.1. Color

Esta variable respuesta se mide comparando una aplicación de pintura con el estándar que tiene el equipo, y la diferencia se expresa en unidades DE. Todas las pruebas realizadas a los pilotos cumplieron con la especificación exigida, la cual es de $\leq 1,50$ DE.

El color representaba una de las variables más importantes a estudiar porque se sospechaba que el agua tratada, por tener aspecto lechoso y ser coloreada, podría alterar el color final del producto (pintura blanca). En la tabla 4.5 se presenta el ANOVA realizado para estudiar esta variable respuesta.

Tabla 4.5 Análisis de varianza para el color

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	0,0122267	4	0,00305667	2,00218	0,1702
Intra grupos	0,0152667	10	0,00152667		
Total (Corr.)	0,0274933	14			

La tabla del ANOVA descompone la varianza de la variable respuesta color en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón F, que en este caso es igual a 2,00218, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor P de la razón F es mayor que 0,05, se puede concluir que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la variable respuesta color entre un nivel de agua tratada y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

En cuanto a la verificación de los supuestos del modelo, se presentan una serie de gráficas en la figura 4.2 para el estudio de la validez de los resultados.

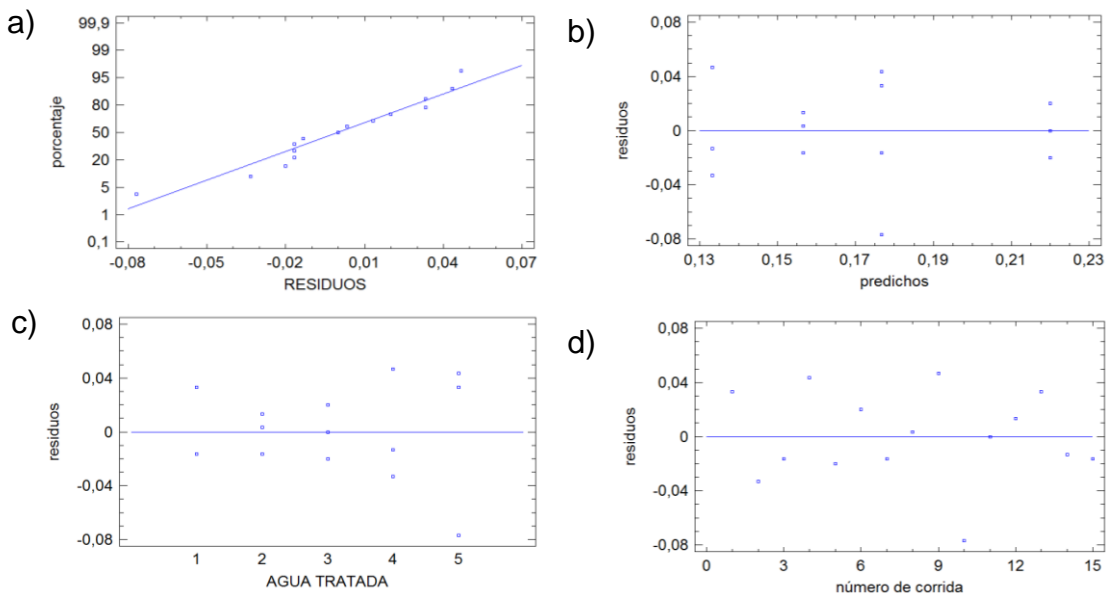


Figura 4.2 Gráficas de residuos para el color

Se verificó el cumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos, plasmando los residuos en una gráfica de probabilidad normal, ver figura 4.2a. Observando esta gráfica se puede decir que se cumple con el supuesto de normalidad de los residuos, ya que estos tienden a estar alineados en una línea recta.

Se estudió el supuesto de varianza constante graficando los residuos contra los predichos, ver figura 4.2b. Los residuos se distribuyen aleatoriamente en una banda horizontal, sin ningún patrón claro y contundente, en señal de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igual varianza. Este supuesto también se pudo verificar con la figura 4.2c, en la cual se puede observar que al graficar los residuos contra los niveles del factor en estudio, los puntos muestran una amplitud similar en cada nivel de factor, comprobándose el supuesto.

Por último, la suposición de independencia se verificó al graficar el orden en que se recolectaron los datos contra el residuo correspondiente como se observa en la figura 4.2d. En la gráfica no se detecta una tendencia o patrón no aleatorio, por lo que es evidencia que el supuesto de independencia también se cumple.

En base al análisis de varianza y conjuntamente con la verificación de los supuestos, se puede afirmar que la utilización del agua tratada no afecta de manera significativa el color del producto final en ninguno de los cinco (5) niveles estudiados.

4.3.2. Viscosidad

La viscosidad es fundamental en la pintura ya que de ella depende en parte la estabilidad del producto y afecta su aplicación sobre la superficie. Se

espera que su valor se encuentre entre 90 y 105 KU para cumplir con la especificación exigida, ver tabla 3.3.

El resultado del análisis de varianza para la viscosidad se encuentra en la tabla 4.6. Se puede observar que el valor P es menor a 0,05, lo que quiere decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de viscosidad entre un nivel de agua tratada y otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Tabla 4.6 Análisis de varianza para la viscosidad

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	2,26667	4	0,566667	4,25	0,0289
Intra grupos	1,33333	10	0,133333		
Total (Corr.)	3,6	14			

Para visualizar las diferencias entre las medias de manera gráfica se ha realizado un gráfico de medias y así comparar los distintos tratamientos.

En la figura 4.3, se presenta el gráfico de medias para la viscosidad, en donde se puede observar que los cinco (5) tratamientos no se traslapan entre sí. Se pueden detectar gráficamente las diferencias $1 \neq 5$ y $1 \neq 4$, ya que dichos tratamientos no se solapan en ningún momento. También se puede decir mediante este gráfico, que el mejor tratamiento parece ser el 1 que corresponde a 0% de agua tratada, por estar su media más alejada del límite inferior de la especificación requerida.

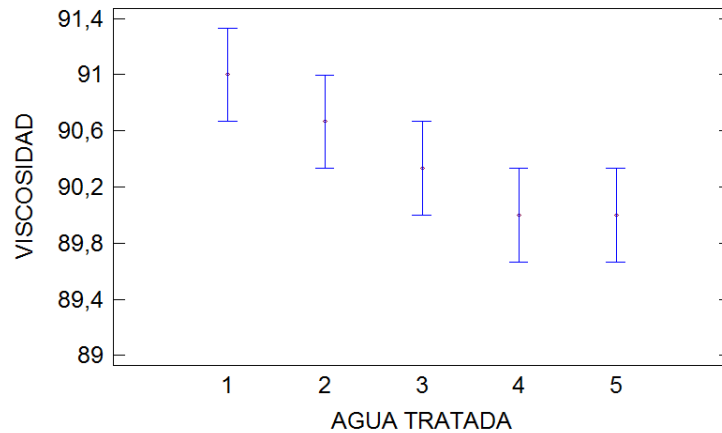


Figura 4.3 Gráfico de medias de la viscosidad con el método LSD

Para un estudio más exhaustivo acerca de las diferencias entre las medias de los tratamientos se realizó la prueba de múltiples rangos, se utilizó el método LSD (diferencia mínima significativa) de Fisher con un nivel del 95% de confianza. En la tabla 4.7 se puede observar la comparación múltiple realizada para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Se marcaron con asterisco 5 pares de medias, las cuales son $1 \neq 3$, $1 \neq 4$, $1 \neq 5$, $2 \neq 4$ y $2 \neq 5$ ya que muestran diferencias estadísticamente significativas entre sí, mientras que se pudo observar que $1=2$, $2=3$, $3=4$, $3=5$ y $4=5$, las cuales no presentan diferencia entre ellas a un 95% de nivel de confianza.

Tabla 4.7 Prueba de múltiples rangos para la viscosidad

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		0,333333	0,664304
1 – 3	*	0,666667	0,664304
1 – 4	*	1,0	0,664304
1 – 5	*	1,0	0,664304
2 – 3		0,333333	0,664304
2 – 4	*	0,666667	0,664304
2 – 5	*	0,666667	0,664304
3 – 4		0,333333	0,664304
3 – 5		0,333333	0,664304
4 – 5		0,0	0,664304

Se logró determinar un número mayor de pares diferentes entre las medias de los tratamientos al aplicar la prueba LSD a un 95% de confianza. Para darle validez a estos datos se verificaron los supuestos para la viscosidad con las gráficas observadas en la figura 4.4.

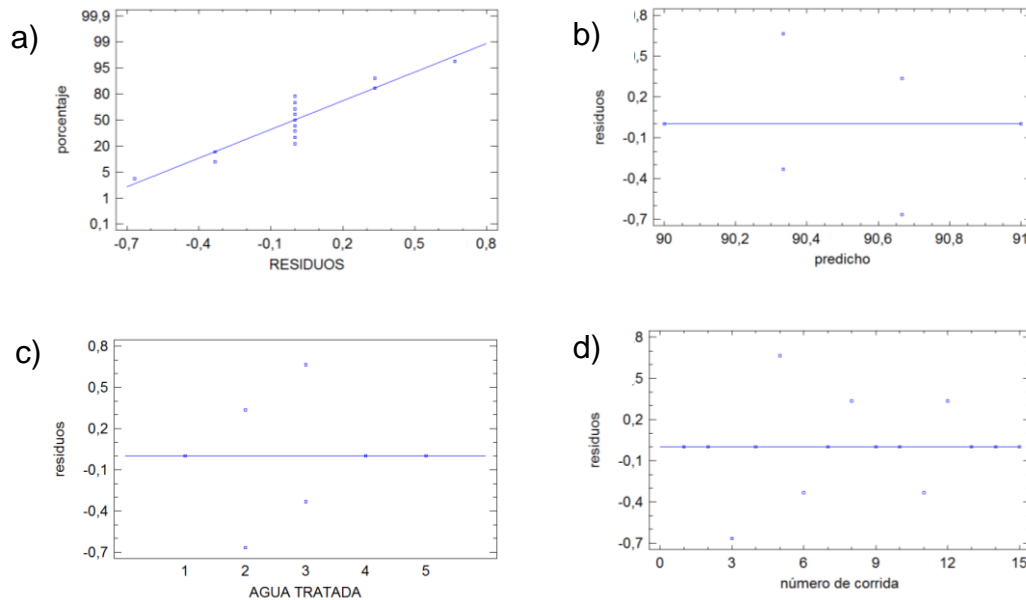


Figura 4.4 Gráficas de residuos para viscosidad

El supuesto de varianza constante se evaluó con las gráficas 4.4b y 4.4c, donde se evidenció que este supuesto se cumple. El estudio de la

independencia de los datos se corroboró con la gráfica 4.4d donde se puede apreciar que no hay un patrón determinado en la disposición de los residuos sobre la línea horizontal, verificando que el supuesto se cumple.

Al observar la figura 4.4a para el estudio del supuesto de normalidad, se aprecia que los residuos no muestran una tendencia lineal, lo que podría significar que estos no siguen una distribución normal. Se hizo un estudio de medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma de los residuos para comprobar analíticamente esto, y mediante las pruebas de sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales son utilizadas para determinar si la muestra proviene de una distribución normal, observando para este caso que ambas pruebas se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal, por lo que no se puede invalidar cualquier prueba estadística con referencia a este supuesto.

A pesar de que todos los pilotos realizados lograron cumplir con la especificación de esta variable respuesta, la cual es de 90 a 105 KU, el análisis estadístico determinó que la viscosidad se ve afectada con la cantidad utilizada de agua tratada, esto ocurre debido a que el efluente posee una gran cantidad de electrolitos que al adicionarlos al sistema tienden a comprimir la doble capa eléctrica y por lo tanto a reducir la repulsión electrostática, alterando el tamaño de la gota y por ende afectando la viscosidad. (Salager, 1999)

Para garantizar cumplir con esta especificación se deberá mantener una cantidad menor o igual a 25% de agua tratada en la fórmula de la pintura emulsionada económica.

4.3.3. Estabilidad en el envase

Esta prueba se realiza para determinar el cambio en consistencia y otras propiedades afines que puedan producirse en las pinturas cuando son almacenadas a temperatura ambiente durante 6 meses. En el apéndice D, se puede observar el formato elaborado para la evaluación de la estabilidad de los pilotos y los resultados.

Esta variable denota gran importancia para la factibilidad de la reincorporación del agua tratada al proceso, ya que la adición de un agua fuertemente cargada de electrolitos, como la del caso en estudio, puede provocar la inestabilidad del sistema, observándose grumos, sinéresis, e inclusive putrefacción del producto por el alto contenido de contaminantes.

La tabla 4.8 muestra el valor P de la razón F, el cual es menor que 0,05, indicando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de estabilidad entre un nivel de agua tratada y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó el gráfico de medias y las pruebas de múltiples rangos.

Tabla 4.8 Análisis de varianza para la estabilidad en el envase

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	15,7333	4	3,93333	19,67	0,0001
Intra grupos	2,0	10	0,2		
Total (Corr.)	17,7333	14			

Mediante el gráfico de medias, observado en la figura 4.5, se pudieron detectar las siguientes diferencias: 1≠3, 1≠4, 1≠5, 2≠3, 2≠4 y 2≠5. Las cuales se pudieron corroborar con las pruebas de múltiples rangos que se encuentra en la tabla 4.9, donde se encontraron diferencias significativas

entre los mismos pares de medias observados en la figura anteriormente mencionada.

Tabla 4.9 Prueba de múltiples rangos para la estabilidad en el envase

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		0,666667	0,813603
1 – 3	*	2,0	0,813603
1 – 4	*	2,333333	0,813603
1 – 5	*	2,666667	0,813603
2 – 3	*	1,333333	0,813603
2 – 4	*	1,666667	0,813603
2 – 5	*	2,0	0,813603
3 – 4		0,333333	0,813603
3 – 5		0,666667	0,813603
4 – 5		0,333333	0,813603

Mediante la figura 4.5 también se puede determinar que el mejor tratamiento es el 1, el cual contiene 0% de agua tratada ya que presenta la mayor ponderación en la escala utilizada para la evaluación de la estabilidad en el envase.

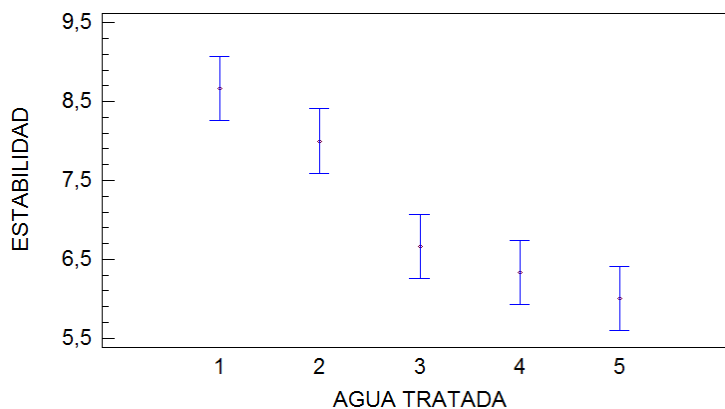


Figura 4.5 Gráfico de medias de la estabilidad en el envase con el método LSD

Se comprobaron los supuestos del modelo para la estabilidad en el envase. Los gráficos 4.6b y 4.6c permitieron validar el supuesto de varianza constante, el gráfico 4.6d demostró que el supuesto de independencia se cumple.

El gráfico de probabilidad normal mostrado en la figura 4.6a, sugiere que hay una desviación moderada con respecto al supuesto de normalidad. Mediante las pruebas de curtosis y sesgo estandarizado se obtuvieron valores correspondientes a datos que siguen una distribución normal, por lo que se comprueba este supuesto.

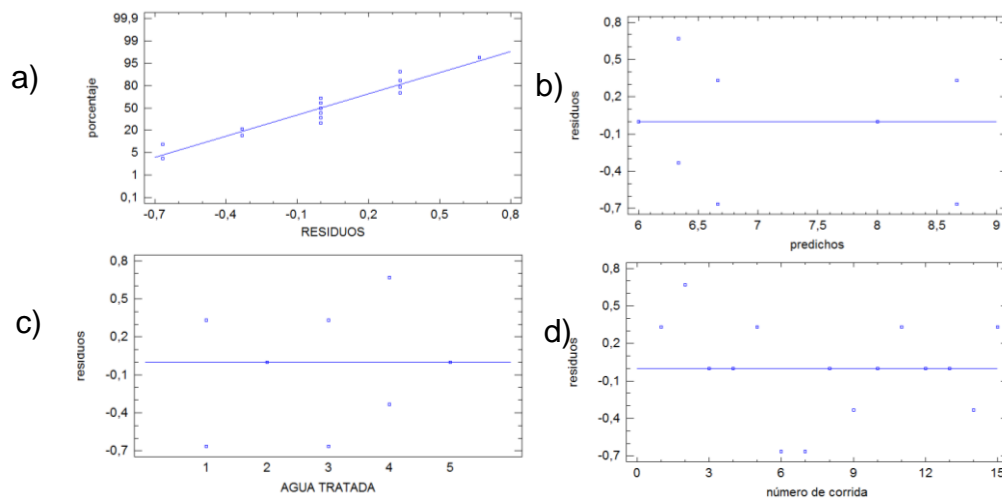


Figura 4.6 Gráficos de residuos para la estabilidad en el envase

Adicionalmente, una vez transcurridos seis (6) meses, se observó al evaluar el grado de sedimentación de la pintura se encontró que los pilotos desarrollados con un 50%, 75% y 100% de agua tratada, tenían una definida porción de sedimento, pero no se observó corrosión, mal olor, ni presión al destapar el envase. Se pudo observar desmejoras en la apariencia del producto por pequeñas formaciones de grumos y leve sinéresis.

El pH inicial varió aproximadamente en 1 unidad al compararlo con el pH final del producto, y la viscosidad fluctuó aproximadamente en 10

unidades con respecto a la viscosidad inicial, lo que indica poca estabilidad del sistema.

Durante las pruebas de aplicaciones con brocha de la pintura se observó que las corridas realizadas con 50%, 75% y 100% de agua tratada presentaban mayor presencia de espuma.

Finalmente, mediante el ANOVA y los supuestos de la estabilidad en el envase se comprobó que la cantidad de agua tratada si tiene un efecto significativo sobre esta variable respuesta. Según los resultados de comparación de tratamientos, es evidente que para mantener esta especificación controlada no debe superarse el 25% de agua tratada en la fórmula, ya que la baja tensión superficial y el alto contenido de sulfato del agua tratada afecta la calidad del producto aumentando la espumabilidad y estabilidad del sistema.

4.3.4. Peso por galón

El peso por galón es el término empleado en pinturas para definir la densidad de las mismas, de acuerdo a las especificaciones que se tienen para el producto elaborado este valor de ser $5,04 \pm 0,10$ kg/gal.

En la tabla 4.10 se puede observar el ANOVA realizado para identificar los factores que afectan esta variable respuesta. Con un 95% de nivel de confianza se pudo determinar que la cantidad de agua tratada no afecta significativamente al peso por galón de los diferentes pilotos ensayados.

Tabla 4.10 Análisis de varianza para el peso por galón

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	0,008	4	0,002	2,65	0,0959
Intra grupos	0,00753333	10	0,000753333		
Total (Corr.)	0,0155333	14			

Como el ANOVA no resultó significativo se procedió a estudiar los residuos, ver figura 4.7, para comprobar que no se violan los supuestos del modelo y que no se tienen datos atípicos que contaminan el análisis.

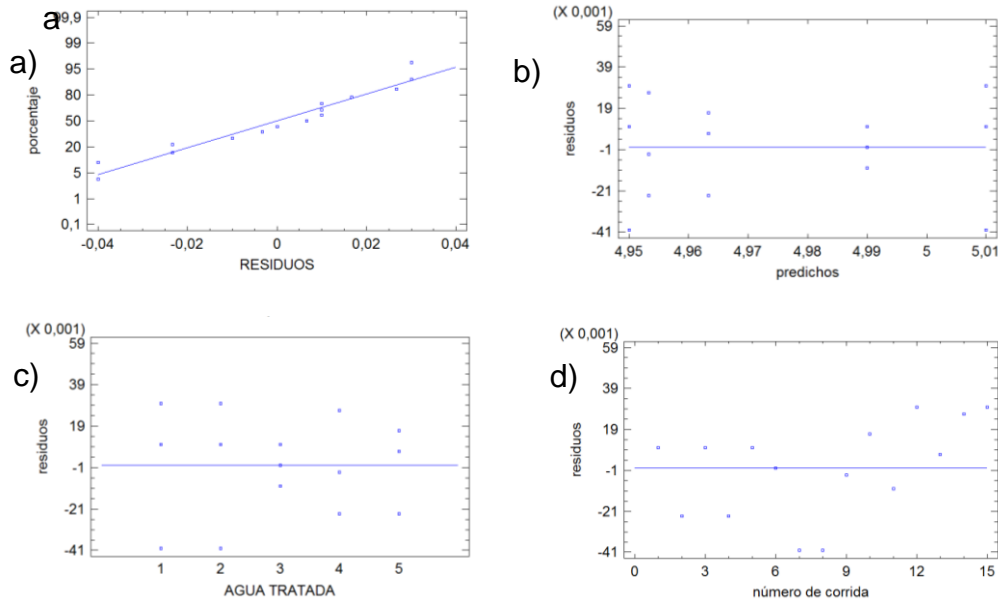


Figura 4.7 Gráfico de residuos para el peso por galón

Los tres (3) supuestos del modelo se comprueban como se puede observar en la figura 4.7, con lo cual se puede afirmar de manera veraz que el peso por galón de la pintura emulsionada económica no se ve afectado por el agua tratada en ninguno de sus niveles, ya que la cantidad de agua no fue modificada en la fórmula por lo que se mantuvo la misma relación peso/volumen.

4.3.5. pH

El pH es otra especificación controlada para la pintura emulsionada económica, este se debe encontrar entre 8,0 y 9,0 unidades de pH. En la tabla 4.11 se encuentra el ANOVA realizado para esta variable respuesta.

Puesto que el valor P de la razón F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pH entre un nivel de agua tratada y otro, con un nivel del 95,0% de confianza, ver tabla 4.11.

Tabla 4.11 Análisis de varianza para el pH

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0906667	4	0,0226667	4,86	0,0195
Intra grupos	0,0466667	10	0,00466667		
Total (Corr.)	0,137333	14			

Mediante un gráfico de medias se puede determinar gráficamente los pares de medias que son significativamente diferentes, en la figura 4.8 se puede observar este gráfico.

Con la figura 4.8 se pudieron detectar gráficamente las diferencias 1≠5 y 1≠4, donde los tratamientos 4 y 5 (75% y 100% de agua tratada) se muestra como los más idóneos, ya que su media es la que se encuentra más alejada de los límites de la especificación.

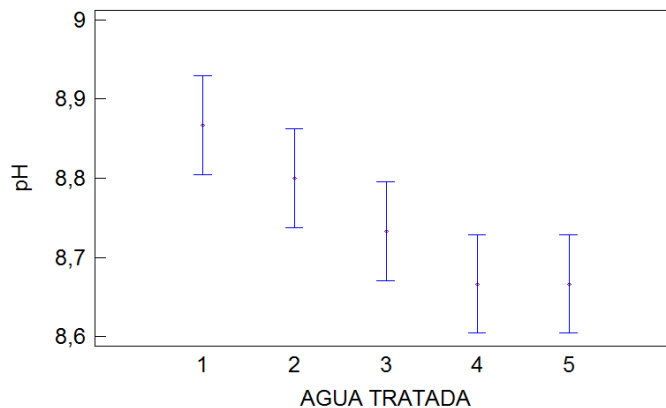


Figura 4.8 Gráfico de medias de pH con el método LSD

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras con un poco más de precisión, se realizó la prueba de múltiples rangos, y cuyo resultado se puede observar en la tabla 4.12.

Tabla 4.12 Prueba de múltiples rangos para pH

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2		0,0666667	0,12428
1 – 3	*	0,133333	0,12428
1 – 4	*	0,2	0,12428
1 – 5	*	0,2	0,12428
2 – 3		0,0666667	0,12428
2 – 4	*	0,133333	0,12428
2 – 5	*	0,133333	0,12428
3 – 4		0,0666667	0,12428
3 – 5		0,0666667	0,12428
4 – 5		0,0	0,12428

El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Adicionalmente de las diferencias detectadas en la figura 4.8 también se encuentra que $1 \neq 3$, $2 \neq 4$ y $2 \neq 5$.

En la figura 4.9 se observan las gráficas de diagnósticos realizadas para revisar los residuos y comprobar que no se violan los supuestos del modelo.

Se puede apreciar que los supuestos para el pH se cumplen. Se observa una desviación moderada en la gráfica de probabilidad normal pero el análisis de varianza resiste estas desviaciones al supuesto de normalidad. (Gutiérrez y de la Vara, 2003)

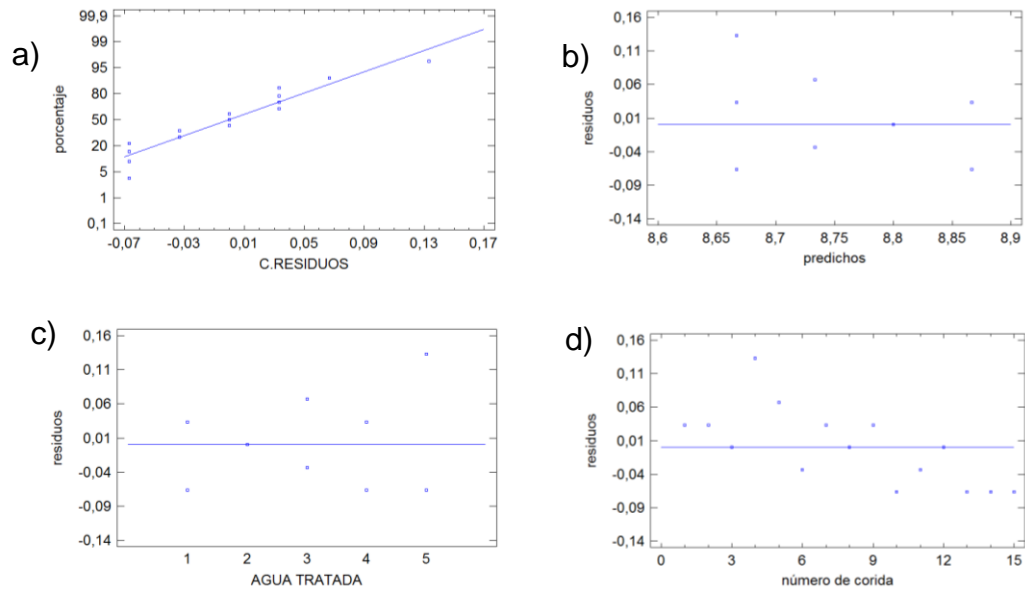


Figura 4.9 Gráficos de residuos para el pH

A pesar de que todos los pilotos cumplieron con la especificación del pH, se comprobó mediante el ANOVA y los supuestos de esta variable respuesta que la cantidad de agua tratada si tiene un efecto significativo sobre el pH de la pintura emulsionada económica.

4.3.6. Relación de contraste

Esta variable respuesta también es conocida como radio contraste o porcentaje de cubrimiento. Su valor debe encontrarse en mínimo 95% para cumplir con la especificación requerida.

El ANOVA realizado para esta variable arrojó que los factores en estudio no la afectan significativamente con un nivel de confianza de 95%. Se puede observar el análisis de varianza en la tabla 4.13.

Tabla 4.13 Análisis de varianza para la relación de contraste

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Entre grupos	0,64776	4	0,16194	1,65	0,2363
Intra grupos	0,9796	10	0,09796		
Total (Corr.)	1,62736	14			

En la figura 4.10 se encuentran los gráficos de diagnósticos estudiadas para verificar los supuestos del modelo para la relación de contraste. Los tres (3) supuestos se cumplen, por lo que se puede descartar que no se tienen datos atípicos que contaminan el análisis.

Se puede afirmar entonces de manera veraz, que la cantidad de agua tratada no afecta significativamente a la relación de contraste del producto final en ninguno de los 5 niveles estudiados, esto es de esperarse ya que esta característica de la pintura depende directamente de la cantidad de pigmentos que se agreguen en la fórmula, y ese componente no fue alterado durante la realización de los pilotos.

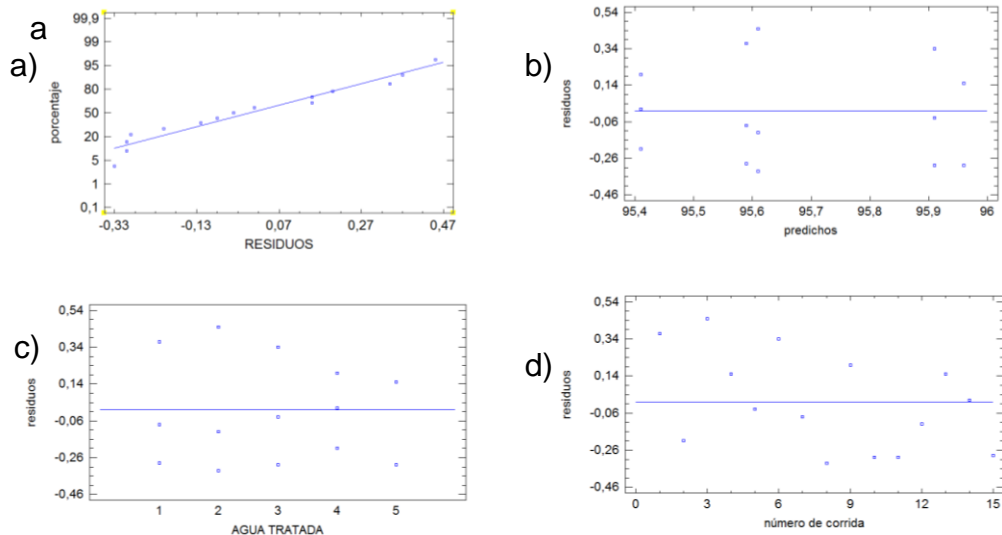


Figura 4.10 Gráficos de residuos para la relación de contraste

4.3.7. Resistencia microbiológica

Los pilotos de pintura emulsionada económica fueron evaluados según la metodología expuesta en la norma venezolana COVENIN 683-93, las quince (15) muestras estudiadas lograron cumplir con los requisitos establecidos en la norma anteriormente mencionada.

Por ser el resultado de esta variable respuesta no numérico no se realizó el análisis estadístico correspondiente.

Sin embargo, se observó que el agua tratada utilizada para elaborar los pilotos de los 5 niveles de tratamiento, no conduce al deterioro del producto por microorganismos a pesar de tener elevados niveles de DBO_5 y DQO, indicando que la cantidad de biocidas empleado en la fórmula es suficiente para controlar la proliferación de microorganismos, debido al alto contenido de contaminantes del agua tratada.

4.4 Estudio de la factibilidad de la reincorporación del agua tratada al proceso de elaboración de pinturas emulsionadas económicas

Mediante las evaluaciones realizadas se determinó que no se puede utilizar un máximo de un 25% de agua tratada en la fórmula de la pintura, debido principalmente al pH, la cantidad de sulfatos, la tensión superficial y la dureza total que presenta el efluente de la planta de tratamiento.

El estudio estadístico arrojó que se ven afectadas significativamente (con un 95% de nivel de confianza) la estabilidad en el envase, la viscosidad y el pH de la pintura, por lo que se debe mejorar en el tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales para optimizar la calidad del agua tratada, y tener la posibilidad de reincorporarla en mayor proporción a la



pintura emulsionada económica sin que se vean afectadas ninguna de sus características.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El efluente diario de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales es de (21 ± 5) t.
- El pH del agua tratada es de $(6,8 \pm 0,1)$ unidades de pH. No se encontraron trazas de cloro residual en el agua tratada, y su dureza total fue de (420 ± 300) ppm CaCO_3 , por lo que la misma no cumple con los requerimientos exigidos para el agua de proceso.
- Mediante el estudio de la caracterización fisicoquímica del agua tratada no se detectó presencia de aluminio, se determinó que la cantidad de sulfato es de (1009 ± 300) ppm, no se cumplió con las especificaciones requeridas en las pruebas aplicadas de resistencia microbiológica, y la tensión superficial fue de (38 ± 1) dinas/cm.
- Las pruebas preliminares de contaminación realizadas al agua tratada mostraron que la misma correspondía a un agua tipo residual con alto contenido de contaminantes, ya que presentó una DBO_5 de 288,42 ppm, y una DQO de 2300 ppm.
- A través del análisis de varianza se determinó que la cantidad de agua tratada utilizada para elaborar los pilotos de pintura emulsionada económica no afecta significativamente (con un nivel de confianza del 95%) a las variables respuesta: relación de contraste, color y peso por galón.



- Se determinó a través del ANOVA que la viscosidad, el pH y la estabilidad en el envase se ven afectadas significativamente con un nivel del 95% de confianza por la cantidad de agua tratada que se utiliza para realizar los pilotos de pintura emulsionada económica.
- A través de la comparación de las medias de los tratamientos se determinó que se puede usar una cantidad máxima de 25% de agua tratada para la elaboración de pintura emulsionada económica.
- La cantidad de sulfatos en el agua tratada sobrepasa los límites expuestos en Gaceta Oficial. Por lo que, se recomienda que se mejore el tratamiento fisicoquímico efectuado al agua residual de la empresa.
- A pesar de los resultados obtenidos se necesita del estudio de la factibilidad técnica de la reincorporación del agua tratada al proceso de elaboración de la pintura emulsionada económica para conocer dimensiones de tanques e incorporación de tuberías a la planta, conjuntamente con la determinación de la rentabilidad económica del proyecto.
- Se recomienda continuar el estudio de la factibilidad de agua tratada para la incorporación en pinturas tipo A y B, para tener la posibilidad de incorporar el agua tratada de manera continua al proceso de elaboración de pinturas de planta látex.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrenechea, A. Coagulación. Capítulo IV. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>. Consultado en la fecha: 12 de noviembre de 2011.
- BYK CHEMIE. (2006). Aditivos para concentrados de pigmentos. Manual Técnico.
- Calvo, J. (2009). "Pinturas y recubrimientos: Introducción a su tecnología". Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España.
- Caprari, J. (2007). "Aditivos: dispersantes y humectantes (Volumen II)". (Consultado para la fecha: 12 de enero de 2012. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/2007080232/articulos/pinturas-y-recubrimientos/aditivos-dispersantes-y-humectantes-ii.html>).
- Castellan, G. (1987). "Fisicoquímica". Segunda Edición. Pearson Educación.
- Clariant. Manual de Pigmentos. Septiembre 2001. Sao Paulo, Brasil.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1996). "Norma 681: Pinturas. Determinación del grado de sedimentación". FONDONORMA.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1996). "Norma 682: Pinturas. Determinación de la estabilidad en el envase". FONDONORMA.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1993). "Norma 683: Pinturas emulsionadas y afines. Determinación de la resistencia al deterioro por microorganismo en el envase". FONDONORMA.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1987). "Norma 902: Alimentos. Método para el recuento de bacterias aerobias en placas de petri". FONDONORMA.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1996). "Norma 1302: Pintura Emulsionada para uso interior y/o exterior". FONDONORMA.



Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1984). “Norma 2124: Agua potable. Determinación de aluminio por colorimetría. Método de referencia”. FONDONORMA.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1986). “Norma 2409: Agua. Método de membrana filtrante para análisis microbiológico”. FONDONORMA.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1991). “Norma 2771: Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de dureza”. FONDONORMA.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (1993). “Norma 3008: Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno”. FONDONORMA.

Comisión Venezolana de Normas Industriales COVENIN (2001). “Norma 3534-3: Estadística. Vocabulario y Símbolos. Parte 3: Diseño de Experimentos”. FONDONORMA.

Contreras, R. (2003). “Evaluación técnico económica de la reutilización de agua clarificada del tratamiento secundario de una industria papelera”. Tesis, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería. Venezuela.

Corimon Pinturas. (2001). Manual: Conocimientos Básicos de Pintura. Unidad I.

Díaz, A. (2009). Diseño estadístico de Experimentos. 2° Edición. Editorial Universidad de Antioquia.

EFKA. “Tecnología de los antiespumantes”. Artículo disponible en internet:<http://www.artisam.org/descargas/pdf/ANTIESPUMANTES.pdf> Consultado en la fecha: 20 de enero de 2012.

Fazenda, J. (1993). Tintas e Vernizes. Ciencia y Tecnología. Vol. I y II. Sao Paulo Brasil. ABRAFAT.

Gómez, M. (2010). “Reutilización del agua residual de las resinas poliéster, alquídicas y urea formaldehído para la fabricación de pintura base agua



- (látex)". Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería. Riobamba, Ecuador.
- Guidice, C. y Pereyra, A. (2009). Tecnología de Pinturas y Recubrimientos. Editorial, Edutecne. Argentina.
- Gumi, J y Luis, R. (1988). Diccionario de Técnicas Pictóricas. Edición 62. Barcelona-España.
- Gutiérrez, H y de la Vara, R. (2003). Análisis y diseño de experimentos. McGraw-Hill Interamericana. México D.F. México.
- HIDROCENTRO C.A. "Parámetros de calidad del agua potable". (Consultado para la fecha: 3 de septiembre de 2012. Disponible en: <http://www.hidrocentro.gob.ve/hc/sispro/calidadAgua/>).
- Instrucción de trabajo F-005. "Determinación de densidad e líquidos, peso específico y peso por galón". Corimon Pinturas. C.A.
- Instrucción de trabajo F-070. "Determinación de viscosidad en unidades Krebs-Stormer". Corimon Pinturas. C.A.
- Instrucción de trabajo F-222. "Evaluación de color". Corimon Pinturas. C.A.
- Instrucción de trabajo F-229. "Determinación de la relación de contraste". Corimon Pinturas. C.A.
- Instrucción de trabajo Q-002. "Determinación del pH". Corimon Pinturas. C.A.
- Instrucción de trabajo Q-463. "Determinación del cloro residual". Corimon Pinturas C.A.
- Kemira de México, S.A. Ficha técnica SUPERFLOC 577. Consultado en la fecha: 24 de agosto de 2006.
- López, D. (2010). "Recuperación del agua clarificada de la planta de tratamiento de Corimon Pinturas C.A." Proyecto de inversión de capital, Planta Látex. Valencia, Venezuela.
- Loyo, R. (2008). Manual de Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales. Modulo I. Venezuela. FUNDIUTVAL.



Lara, A. (2001). "Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS". Ediciones Proyecto Sur.

Marin, M. (2002). "Manual químico de suelos y aguas". Universidad Politécnica de Valencia.

Polo, C. (2009). "Desarrollo de una tinta universal anaranjada empleando diseño de experimentos y bajo los parámetros de aceptación de una empresa de pinturas". Universidad de Carabobo. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

Salager, J. (1999). "Propiedades de las emulsiones y su medición". Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos. Universidad de Los Andes, Venezuela.

Sánchez, O. (2007). "Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México". Instituto Nacional de Ecología.

Sánchez, R. (2011). "Implementación del proceso de fabricación vía Slurry, para disminuir el tiempo de fabricación de las líneas premium de la marca Montana". Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". Programa de Ingeniería Química.

Schweigger E. (2005). "Manual de pinturas y recubrimientos plásticos". Ediciones Díaz de Santos. Madrid; España.

Soluciones al agua tratada. Características del Aluminio. Consultado el: 23 de abril de 2012. Disponible en: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm#ixzz247pfWzlc>

Test 4500-E. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. (1992). 18th edition.

Test 5220-A. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. (1992). 18th edition.

APÉNDICE A

- Aplicaciones de la pintura sobre las diferentes superficies para el estudio de algunas variables en estudio.



Figura A.1 Prueba de brochabilidad aplicada a la pintura emulsionada



Figura A.2 Aplicación de la pintura emulsionada sobre la cartulina cromokote para la evaluación de la relación de contraste

APÉNDICE B

- Resultados obtenidos durante la estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla B.1 Mediciones realizadas para la estimación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales

Semana	Fecha	Descarga (t)
1	24/04/2012	11
	25/04/2012	25
	26/04/2012	27
	27/04/2012	21
3	08/05/2012	15
	10/05/2012	19
	11/05/2012	25
4	14/05/2012	22
	16/05/2012	18

APÉNDICE C

- Resultados obtenidos durante la evaluación de las propiedades de la pintura emulsionada económica con la incorporación del agua tratada.

Tabla C.1 Evaluación de la viscosidad para los pilotos de pintura ensayados

Factor (AT)	Viscosidad ($V \pm 1$) KU
1	91
4	90
2	90
5	90
3	91
3	90
1	91
2	91
4	90
5	90
3	90
2	91
5	90
4	90
1	91



Tabla C.2 Evaluación del pH para los pilotos de pintura ensayados

Factor (AT)	pH (pH \pm 0,05)
1	8,90
4	8,70
2	8,80
5	8,80
3	8,80
3	8,70
1	8,90
2	8,80
4	8,70
5	8,60
3	8,70
2	8,80
5	8,60
4	8,60
1	8,80



Tabla C.3 Evaluación de la relación de contraste para los pilotos de pintura ensayados

Factor (AT)	Relación de contraste (RC \pm 0,05) %
1	95,96
4	95,20
2	96,06
5	96,11
3	95,87
3	96,25
1	95,51
2	95,28
4	95,61
5	95,66
3	95,61
2	95,49
5	96,11
4	95,42
1	95,30



Tabla C.4 Evaluación del peso por galón para los pilotos de pintura ensayados

Factor (AT)	Peso por galón (PG \pm 0,10) kg/gal
1	4,96
4	4,93
2	5,02
5	4,94
3	5,00
3	4,99
1	4,91
2	4,97
4	4,95
5	4,98
3	4,98
2	5,04
5	4,97
4	4,98
1	4,98



Tabla C.5 Evaluación del color para los pilotos de pintura ensayados

Factor (AT)	Color (DE \pm 0,01) DE
1	0,21
4	0,10
2	0,14
5	0,22
3	0,20
3	0,24
1	0,16
2	0,16
4	0,18
5	0,10
3	0,22
2	0,17
5	0,21
4	0,12
1	0,16

APÉNDICE D

- Resultado de la evaluación de la estabilidad en el envase de cada uno de los pilotos de pintura emulsionada económica ensayados.

Corrida: 1

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel	✓			
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 108 KU

pH: 7,7

Grado de sedimentación: 9



Corrida: 2

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel		✓		
Presión		✓		
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 103 KU

pH: 7,6

Grado de sedimentación: 7

Corrida: 3

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel		✓		
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 107 KU

pH: 7,6

Grado de sedimentación: 8



Corrida: 4

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel	✓			
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 107 KU
pH: 7,6
Grado de sedimentación: 6

Corrida: 5

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase	✓			
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 110 KU
pH: 7,6
Grado de sedimentación: 7



Corrida: 6

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 102 KU
pH: 7,6
Grado de sedimentación: 6

Corrida: 7

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión		✓		
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 107 KU
pH: 7,6
Grado de sedimentación: 8



Corrida: 8

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 102 KU

pH: 7,5

Grado de sedimentación: 8

Corrida: 9

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis			✓	

Viscosidad: 104 KU

pH: 7,5

Grado de sedimentación: 6



Corrida: 10

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 96 KU
pH: 7,5
Grado de sedimentación: 6

Corrida: 11

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 103 KU
pH: 7,5
Grado de sedimentación: 7



Corrida: 12

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana
COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel		✓		
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 102 KU

pH: 7,6

Grado de sedimentación: 8

Corrida: 13

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana
COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel		✓		
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 103 KU

pH: 7,4

Grado de sedimentación: 6



Corrida: 14

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel			✓	
Presión	✓			
Corrosión del envase		✓		
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis			✓	

Viscosidad: 105 KU
pH: 7,7
Grado de sedimentación: 6

Corrida: 15

Evaluación de estabilidad en el envase según Norma Venezolana COVENIN 682-96

Característica	Calificación			
	Ausente	Insignificante	Considerable	Severa
Piel	✓			
Presión	✓			
Corrosión del envase	✓			
Olor a descomposición	✓			
Sinéresis		✓		

Viscosidad: 102 KU
pH: 7,7
Grado de sedimentación: 9

ANEXO 1

- Instrumentos y equipos utilizados durante la metodología seguida para cada uno de los objetivos.



Anexo 1.1: Medidor de caudal tipo coriolis empleado para la estimación del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de la empresa.
(Endress Hauser, modelo Promass 40E ®).



Anexo 1.2: pHmetro empleado para la determinación de pH del agua de proceso, agua tratada y pilotos de pintura emulsionada económica.



Anexo 1.3: Tensiómetro de anillo utilizado para la medición de tensión superficial del agua tratada y agua de proceso. (Cole Parmer, Surface Tensiomat 21 ®)



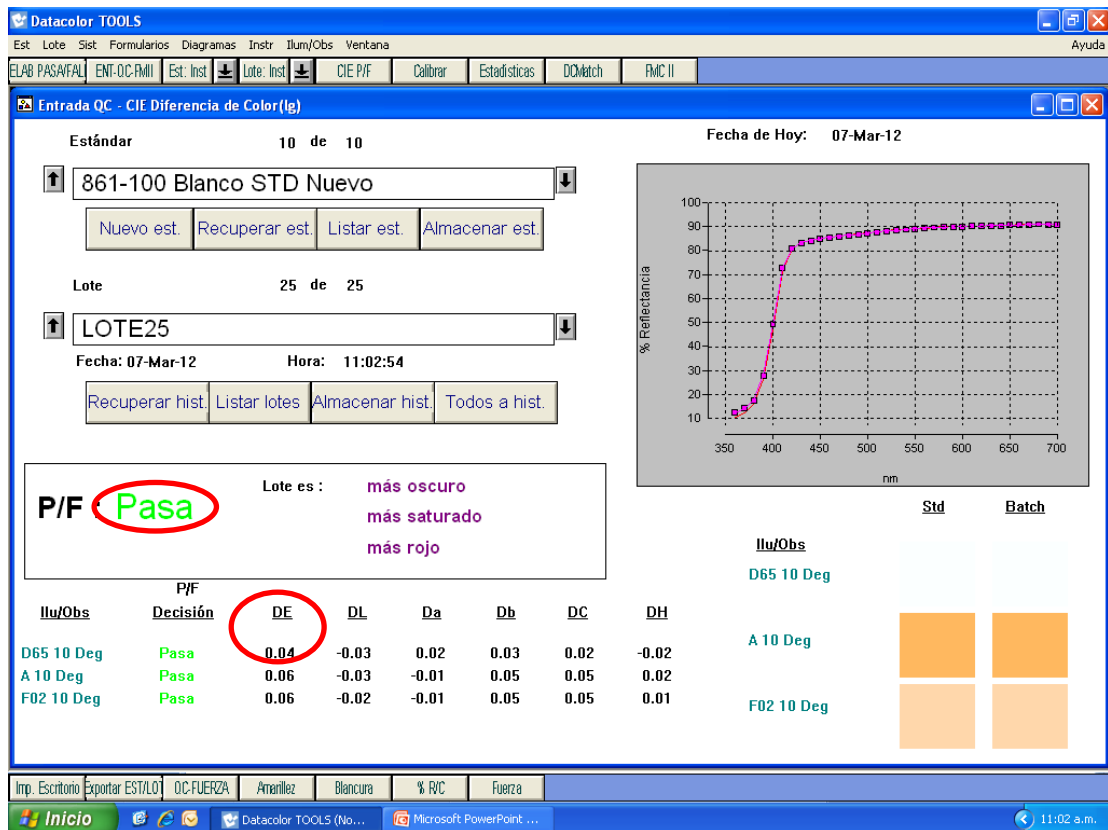
Anexo 1.4: Espectrofotómetro empleado para determinar la relación de contraste y color de las aplicaciones de pintura.



Anexo 1.5: Viscosímetro Stormer utilizado para la determinación de la viscosidad de los pilotos de pintura emulsionada económica.

ANEXO 2

- Análisis de la diferencia de color por el espectrofotómetro



Anexo 2.1: Respuesta del programa utilizado por el espectrofotómetro para indicar la evaluación del color en las aplicaciones de la pintura