

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO PARA MADERA  
IMPLEMENTANDO UNA NUEVA RESINA CON FORMULACIÓN MODIFICADA  
EN PREFLEX S.A

MAYERLY ANDREA DÍAZ CLAROS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C.  
2018

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUBRIMIENTO PARA MADERA  
IMPLEMENTANDO UNA NUEVA RESINA CON FORMULACIÓN MODIFICADA  
EN PREFLEX S.A

MAYERLY ANDREA DÍAZ CLAROS

Proyecto integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
Jorge Ernesto Arias Rojas  
Ingeniero Químico  
Gerente Técnico

Asesor  
Edgar Fernando Moreno  
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C.  
2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado  
Edgar Fdo Moreno Torres

---

Jurado 1  
Oscar Lombana Charfuelán

---

Jurado 2  
Iván Ramírez Marín

Bogotá, D.C., Agosto del 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. JAIME POSADA DÍAZ**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

**Dr. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **DEDICATORIA**

A Dios que con su bendición guio mi camino.

Le dedico este proyecto a mi mamá que con su esfuerzo y compromiso me apoyo durante todo el proceso de vida, mi guía, mi ejemplo es la responsable de lograr estar culminando mi profesión, sus consejos oraciones hicieron de mí una mujer valiente que aprendió a superar miedos, a ella le debo todo.

Mi hermano quien estuvo presente en este proceso de pregrado, me enseñó que los problemas se superan con la confianza de actuar bien; mi hermana y mis sobrinos que con fé y oraciones me motivaron a culminar esta etapa.

Mis abuelos que me enseñaron valores de vida, el principal asumir compromiso gracias a ellos por los momentos maravillosos.

Mi papá, gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a la empresa Preflex S.A por permitir la ejecución de este proyecto y el aporte de materiales para el desarrollo experimental.

En especial el agradecimiento, al Ingeniero Jorge Ernesto Arias Rojas. Gerente técnico de Investigación y desarrollo en Preflex S.A, Director de este proyecto de grado, por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto dentro de las instalaciones de la empresa, el respaldo que obtuve por parte del ingeniero y proporcionar conocimiento al desarrollo de este proyecto.

Al personal de Preflex S.A, en especial a las personas de investigación y desarrollo que con sus aportes en conocimiento ofrecieron para el desarrollo del proyecto.

Al Señor Víctor, experto en pinturas por la guía y consejos aportado para la ejecución experimental.

A la Ingeniera Alejandra, por permitirme el uso de los materiales, herramientas de trabajo y aportes en conocimiento a la ejecución del proyecto.

Al Ingeniero Fernando Moreno, orientador del trabajo de grado, por su asesoramiento y respaldo durante la ejecución del proyecto.

A los profesores de la Fundación Universidad de América, por la colaboración y conocimiento proporcionados.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>19</b>
<b>1. MARCO TEORICO</b>	<b>20</b>
1.1 TIPOS DE RECUBRIMIENTOS	20
1.2 RECUBRIMIENTOS PARA MADERA	21
1.2.1 Lacas	21
1.2.2 Barnice	21
1.2.3 Esmaltes	21
1.3 TIPOS DE SISTEMAS	22
1.3.1 Sistema Base acuosa	22
1.3.2 Sistema Base solvente	22
1.4 COMPOSICIÓN DE UN RECUBRIMIENTOS PARA MADERA	23
1.4.1 Resina	23
1.4.1.1 Resina acrílica	23
1.4.1.2 Resina Alquídicas	23
1.4.1.3 Resina epóxicas	24
1.4.1.4 Resinas Urea- Formaldehido	24
1.4.1.5 Resina Poliuretanos	25
1.4.2 Solventes	25
1.4.2.1 Solventes activos	25
1.4.2.2 Cosolventes	26
1.4.2.3 Diluyentes	26
1.4.2.4 Solvencia	26
1.4.3 Aditivos	28
1.4.3.1 Agentes Humectantes	28
1.4.3.2 Agentes de contról de espuma	29
1.4.3.3 Modificadores reológicos	29
1.4.3.4 Aditivos para Deslizamiento y Manchas	29
1.4.3.5 Absorbentes de UV	29
1.4.3.6 Nivelantes	29
1.5 EMULSIÓN	30
1.5.1 Polimerización	30
1.5.2 Polimerización en emulsión	30
1.5.2.1 Modelo de Harkins	32
1.5.2.2 Agentes de tensión superficial	34
1.6 LACA CATALIZADA EN SISTEMA BASE ACUOSO	35
1.6.1 Propiedades que definen los recubrimientos	35
<b>2. DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO PARA MADERA EN SISTEMA BASE ACUOSA</b>	<b>37</b>

2.1 MATERIALES	38
2.1.1 Emulsión Acrílica	38
2.1.2 Resina hidrosoluble	39
2.1.3 Trietanolamina	39
2.1.4 AMP-95 (Amino 2 metil- propanol)	39
2.1.5 Metanol	39
2.1.6 Tego 410	40
2.1.7 Tensapol L61	40
2.1.8 BYK. 346	40
2.1.9 BYK 337	40
2.1.10 BYK 055	40
2.1.11 BYK 333	40
2.1.12 Catalizador APTS	40
2.2 EQUIPOS	40
2.3 METODOLOGÍA	46
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS	52
2.4.1 Determinación del contenido de sólidos	52
2.4.2 Determinación de la viscosidad	53
2.4.3 Tiempo de secado	55
2.4.4 Peso por galón en copa	56
2.4.5 pH	56
2.4.6 Determinación de la película	57
2.5 DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN BASE	57
<b>3. DISEÑO DE EXPERIMENTO</b>	<b>72</b>
3.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA DEFINIR EL DISEÑO DE EXPERIMENTO	72
<b>4. VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ESTABLECIDOS</b>	<b>81</b>
4.1 PRUEBAS DE CALIDAD	81
4.1.1 Determinación de Brillo	82
4.1.2 Determinación de dureza	82
4.1.3 Resistencia química	83
4.2 EVALUACIÓN DEL COSTO DEL SISTEMA ESTABLECIDO	86
4.2.1 Costo por mano de obra	88
4.2.2 Costo energético.	89
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>92</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>96</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág
<b>Tabla 1.</b> Tipos de solventes y usos industriales	26
<b>Tabla 2.</b> Contenido de sólidos en la muestra estándar	36
<b>Tabla 3.</b> Formulación base para la agregación de componentes	48
<b>Tabla 4.</b> Componentes del ensayo 1	58
<b>Tabla 5.</b> Componentes para el ensayo 2	60
<b>Tabla 6.</b> Componentes para el ensayo 3	61
<b>Tabla 7.</b> Componentes para el ensayo 4	62
<b>Tabla 8.</b> Componentes para el ensayo 5	63
<b>Tabla 9.</b> Componentes para el ensayo 6	64
<b>Tabla 10.</b> Componentes para el ensayo 7	65
<b>Tabla 11.</b> Componente para el ensayo 8	66
<b>Tabla 12.</b> Componentes para el ensayo 9	67
<b>Tabla 13.</b> Análisis reportados de los ensayos	68
<b>Tabla 14.</b> Tiempo de secado de las formulaciones base	69
<b>Tabla 15.</b> Propiedades Fisicoquímicas de algunos solventes orgánicos	70
<b>Tabla 16.</b> Caracterización de las formulaciones base	71
<b>Tabla 17.</b> Variables y niveles para obtener las variables de respuesta	74
<b>Tabla 18.</b> Variable de respuesta para las formulaciones sin espesante	75
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza para el tiempo de secado	76
<b>Tabla 20.</b> Variables de respuesta con adición de espesante	78
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza para el tiempo de secado con espesante	78
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para la viscosidad	79
<b>Tabla 23.</b> caracterizacion de las formulaciones establecidas	81
<b>Tabla 24.</b> Datos obtenidos del brillo en los sistemas establecidos	82
<b>Tabla 25.</b> Datos obtenidos para la prueba de dureza	83
<b>Tabla 26.</b> Resultados de las pruebas de resistencia química	84
<b>Tabla 27.</b> Reporte de los sistemas evaluados	85
<b>Tabla 28.</b> Costo de los insumos para la formulación 1 (1:1)	87
<b>Tabla 29.</b> Costo de los insumos para la formulación 3 (2:1)	88
<b>Tabla 30.</b> Costo de mano de obra por formulación	89
<b>Tabla 31.</b> Costo energético de los equipos	89
<b>Tabla 32.</b> Costo de servicio por formulación	90
<b>Tabla 33.</b> Costo total de producción de la laca catalizada	90
<b>Tabla 34.</b> Costo comparativo de las formulaciones para producir un galón de recubrimiento	91

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
<b>Ilustración 1.</b> Micela esférica o gota del polímero	31
<b>Ilustración 2.</b> Estructura molecular del VeVoa	32
<b>Ilustración 3.</b> Proceso de polimerización en presencia de agentes tensoactivos	34
<b>Ilustración 4.</b> Estructura de un agente tensoactivo	35
<b>Ilustración 5.</b> Emulsión acrílica	39
<b>Ilustración 6.</b> Balanza analítica	41
<b>Ilustración 7.</b> Mezclador de dispersión tipo cowles	42
<b>Ilustración 8.</b> Viscosímetro Brookfield	43
<b>Ilustración 9.</b> Viscosímetro Copa Ford	44
<b>Ilustración 10.</b> Pistola de aire comprimido	44
<b>Ilustración 11.</b> Brillómetro	45
<b>Ilustración 12.</b> Medición del rayado en los recubrimientos	46
<b>Ilustración 13.</b> Perfiles de velocidad en el mezclador dispermix	49
<b>Ilustración 14.</b> Diagrama general de proceso	50
<b>Ilustración 15.</b> Diagrama de proceso de producción del recubrimiento	51
<b>Ilustración 16.</b> Proceso para determinar porcentaje de sólidos en un recubrimiento	52
<b>Ilustración 17.</b> Método para medir viscosidad Brookfield	54
<b>Ilustración 18.</b> Proceso para determinar viscosidad Copa Ford	55
<b>Ilustración 19.</b> Equipo de medición de pH en recubrimiento	56
<b>Ilustración 20.</b> Esquema experimental para plantear el recubrimiento acuosa	base 73

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Componentes de las lacas convencionales	38
<b>Cuadro 2.</b> Análisis de los tratamientos para las formulaciones sin espesante	77
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de los tratamientos para las formulaciones con espesante	79

## LISTA DE GRAFICAS

pág.

**Gráfica 1.** Representación del tiempo de secado en tres tipos de madera 70

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Cantidad en peso dosificada de los componentes	46
<b>Ecuación 2.</b> Porcentajes de solidos	53
<b>Ecuación 3.</b> Método para determinar la densidad	56
<b>Ecuación 4.</b> Costo de mano de obra	89

## ANEXOS

pág.

**Anexo A.** Ensayos realizados en el desarrollo de la formulación del recubrimiento que no funciona experimentalmente.

96

## GLOSARIO

**ACABADO:** tratamiento aplicado sobre una superficie con el fin de darle una estéticamente.

**ADITIVO:** sustancia que modifica las propiedades de un producto.

**BARNIZ:** recubrimiento de dos o más sustancias resinosas que carecen de pigmentos.

**CATALIZADOR:** sistema que acondiciona el recubrimiento llegando a obtener el curado de la película.

**CURADO O RETICULADO:** es la reacción de dos sustancias que forma la película sin presencia de cáteres ni tacticidad.

**EMULSIÓN:** mezcla de dos sustancias inmiscibles por medio de la emulsificación en fase dispersa y fase continua.

**HALS:** estabilizante de la foto-degradación con contenido de aminos de bajo y alto peso molécula.

**LACA:** recubrimiento con resinas sintéticas para formar una película estable.

**MICELAS:** la gota formada por el monómero por medio del surfactante hasta llegar la concentración crítica micelar.

**NIVELANTE:** aditivo reológico que nivela la formación de película en los recubrimientos.

**POLIMERIZACIÓN EN EMULSIÓN:** proceso basado en tres etapas que permite la formación de una emulsión polimérica.

**TIPOS DE SISTEMAS:** categoría que define al recubrimiento en el procesamiento.

**SOLVENTES:** compuestos orgánicos de uso multifuncional permite diluir las resinas o función de limpieza.

## RESUMEN

Dentro de la fabricación de lacas para madera es frecuente el uso de solventes orgánicos, no se encuentra una restricción del uso de estos recubrimientos, pero el ministerio de ambiente monitorea la emisiones de COV'S, lo que con lleva a reducir los daño ambientales y afectaciones en la salud humana. Debido a esta problemática se tiene como objetivo evaluar un sistema de recubrimiento para madera, implementando una resina hidrosoluble que permita desarrollar una laca Catalizada basada en un sistema emulsionado en agua, en la cual se comprueba la veracidad del producto realizando pruebas físicas (adherencia, dureza) y químicas (resistencia a vapor de agua, sales, acido, alcoholes, solución alcalina, fluidos livianos, etc).

Este tema contribuye a un estudio sobre tecnologías que puedan ser aplicadas en desarrollos de recubrimientos en sistema acuoso y ser implementado en el mercado de los recubrimientos, haciendo uso material poco nocivo. En la cual la investigación abarca de dos tecnología que son modificadas para reaccionar entre ellas, necesitan agentes que permita la reticulación de las materias primas, se trata de una emulsiones acrílicas y resinas hidrosolubles, en donde se realizó un pre-experimentación, que define la formulación base para elaborar el diseño de experimento con la finalidad de realizar una comparación con otros sistemas y concluir los resultados de la formulación base escogida, determinando el costo de sistema establecido.

Finalmente se realiza conclusión del trabajo realizado y las recomendaciones que dé continuidad a la investigación para que sigan evaluando y desarrollando productos competitivos en el mercado de los recubrimientos.

**Palabras claves:** Recubrimiento para madera, Acabado, Protección, Resina, Emulsión

## INTRODUCCIÓN

En las industrias de recubrimientos para madera, dentro de sus líneas operativa de fabricación se encuentran un uso excesivo unas sustancias nocivas conocidas como compuestos orgánicos volátiles (COV'S) aporta una de las principales problemáticas ambientales, debido que estos compuestos son los causantes de smof fotoquímico, también tiende afectar negativamente la salud humana, produciendo problemas en las vías respiratorias e irritaciones en la piel; estas sustancias son monitoreadas por una resolución emitida por el Ministerio de ambiente, en la cual restringe las emisiones de los COV'S en los recubrimientos, en su mayoría como pinturas, lacas, barnices, esmaltes, etc. En la actualidad esta industria tiende a utilizar estos compuestos debido a que se presenta mayor velocidad de evaporación; para encontrar soluciones a la problemática las empresas están optando por desarrollar tecnologías que van incursionadas al bajo uso COV'S de tal manera que se encargan de modificar las formulaciones en el proceso de elaboración de los recubrimientos, reduciendo o eliminando estos compuestos.

Preflex S.A es una empresa que lleva 20 años posicionándose en el mercado de los recubrimientos, donde elaboran lacas para protección de los daños producidos por los agentes corrosivos que causan el envejecimiento a la madera. El presente proyecto se encargará de evaluar un sistema de recubrimiento para madera, mediante la aplicación de una resina con formulación modificada, que consiste en reducir los COV's, basándose en pruebas químicas y físicas encontrando la calidad del producto y haciendo una comparación con otros tipos de recubrimientos para madera basados en dos sistemas de producción, que actualmente se encuentra en el mercado. Para continuar con los resultados positivos que la empresa ha obtenido es necesario analizar las variables involucradas, en la formulación del sistema de recubrimiento, para identificar las problemáticas que llegan a presentar dentro de la formulación del producto.

De acuerdo a lo definido anteriormente se realizará una evaluación de los sistemas emulsionado acrílicos, acrílica-catalizada, acrílico, catalizado (alquidica corta-UFI) estos dos últimos utilizados en la empresa; empleando las pruebas de calidad que consisten en evaluar propiedades como adherencia, abrasión, brillo, tiempo de secado, resistencias químicas, pruebas de envejecimiento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar un sistema de recubrimiento para madera implementando una nueva resina con formulación modificada comparándola con las resinas convencionales.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Desarrollar un recubrimiento para madera en sistema base acuoso.
- Verificar el desempeño de los recubrimientos para madera.
- Evaluar los costos de los sistemas de recubrimiento establecidos.

## 1. MARCO TEORICO.

Los recubrimientos para madera son diseñados para proteger el material de ambientes degradante o agentes corrosivos, este tipo recubrimiento se fabrican de acuerdo a la necesidad del consumidor, gran parte de las formulaciones planteadas dentro del desarrollo de los recubrimientos en general tiene un alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV'S), estos productos son usados en diversos materiales como muebles, pisos, puertas, etc. En contexto industrial los fabricantes se encargan de innovar estos productos con un gran énfasis de implementar nuevos modelos dentro de las actividades de fabricación en la cual se busca elaborar productos que compita en el mercado, diseñando productos para satisfacer las necesidades que el consumidor exige al momento de adquirirlo. Los recubrimientos para madera son elaborados a partir de resinas, solventes, aditivos, nivelante y en ocasiones se le aplica pigmentos y cargas. En este capítulo se dará una descripción general de los tipos de recubrimientos y los sistemas aplicados dentro de la fabricación, especificaciones de dos tecnologías diseñadas en diferentes modelos, que son usadas en varios procesos industriales, pero son combinadas para el desarrollo de un producto que posiblemente se pueda implementar en el mercado de los recubrimientos.

### 1.1 TIPOS DE RECUBRIMIENTOS

Existen múltiples recubrimientos con la función de cubrir el material, normalmente denominado como el sustrato, dando a lugar la formación de una capa protectora, evitando la acción de agente que deteriora la película formada por el recubrimiento después evaporarse los solventes, dejando el componente solido sobre el sustrato, entre las funciones de estos recubrimientos podemos identificarlos como<sup>1</sup>:

- Recubrimiento decorativo: este tipo de recubrimiento es usado para darle al lugar un efecto estético, normalmente los encontramos en pinturas, barnices, lacas y esmaltes.
- Recubrimientos protectores: para este tipo de recubrimientos, la función principal es proteger la superficie, que es expuesta tanto en lugares con ambientes altamente corrosivos o con efectos microbianos.
- Recubrimiento mixto: De estos recubrimientos encontramos las dos funciones protectora y estética, es el recubrimiento que más desarrollan las industrias, debido a la demanda de ofrecer un producto con dos funciones.

---

<sup>1</sup> PARRILLA ALVARADO Pablo E. Pinturas y Revestimientos. Tesis de Arquitectura. Guatemala de la Asunción.: Facultad de arquitectura. 2011. p. 12-13.

## 1.2 RECUBRIMIENTOS PARA MADERA

Existen diversos tipos de recubrimientos en la cual se clasifica según su línea operativa, dentro de la actividad operativa se encuentra los recubrimientos para madera, dando la funcionalidad de un recubrimiento arquitectónico de exteriores e interiores. Los fabricantes consideran un factor necesario que consiste en elaborar un producto que proporcione el éxito de la terminación superficial con un acabado proporcionado a la madera y estéticamente propicio, permitiendo que mantenga una apariencia a lo largo del tiempo, con la resistencia a las condiciones expuesta por factores como luz o radiación UV, acciones químicas y mecánicas y agente microbianos<sup>2</sup>. Entre los recubrimientos para madera podemos evidenciarlos como:

1.2.1 Lacas. La laca es una composición basada en un material que forma una película termoestable sintética, disuelto en solventes orgánicos que secan por evaporación. Estos recubrimientos brindan una textura lisa y suave sobre los materiales que se aplican<sup>3</sup>. El contenido genérico de una laca son los siguientes:

- Resina
- Solventes
- Aditivos
- Niveladores
- Pigmentos

1.2.2 Barnice. Son procesados como dispersiones coloidales incoloras, constituidas por una solución de resinas sintéticas o naturales mezcladas en aceites o thinner. Estos productos cumplen la doble función de ser protectores y dar estética a la superficie. Ostenta una característica de tener menor resistencia a la luz por ser incolora<sup>4</sup>.

- Resina
- Solvente
- Cargas
- Aditivos

1.2.3 Esmaltes. Producto formador de película con color para el uso de exteriores, se puede encontrar en base solvente y agua<sup>5</sup>.

---

<sup>2</sup> Ibid., p. 14

<sup>3</sup> B.SEYMOUR, Raimond y CARRAHER, Charles E. introducción a la químicas de los polímeros. Barcelona.: Jr. Editorial Reverté S.A. 1995. p. 565.

<sup>4</sup> Ibid., p. 567.

<sup>5</sup> Catálogo de acabados. Sistemas de acabados. [En línea]. Disponible en: [http://castor.pe/resource/download/catalogo\\_pdf/pdf\\_13269909774f1846818afac.pdf](http://castor.pe/resource/download/catalogo_pdf/pdf_13269909774f1846818afac.pdf)

- Esmalte al agua. Recubrimientos base acuoso de uso interior y exterior, terminación satinada, lavable. No aporta olor, su velocidad de evaporación es rápida, proporciona gran rendimiento y excelente poder curativo.
- Esmalte sintético. Producto de alto brillo, resistente a agentes reactivos, con un alto contenido de COV's.

### 1.3 TIPOS DE SISTEMAS

En la industria de recubrimiento la tendencia en el campo de fabricación, es implementar dos términos basados en el tipo de sistema que se va a fabricar el producto final. Los principales son:

1.3.1 Sistema Base acuosa. Se basa en la fabricación de recubrimientos con poco uso de COV's, formulando un producto que reduce la contaminación ambiental y no incurre con factores de riesgo humano por los vapores producidos por la evaporación de las sustancias que contienen COV's. "por tal motivo se desarrollan recubrimientos formulados con resinas disueltas en agua o con alto porcentaje de sólidos en volumen; lo que origina grandes ventajas en el momento de la aplicación"<sup>6</sup>. Entre otros CHAMPION F.A: "El que las pinturas tengan un contenido alto de sólidos no solo resuelve los problemas de contaminación ambiental, sino que de igual forma, disminuye los costos. En estas formulaciones, el contenido de sólidos es mayor al 70% en peso, tienen baja viscosidad, el secado es a temperatura ambiente y puede ser del tipo poliuretano, acrílicos, epóxicos, alquídicos, etc"<sup>7</sup>.

1.3.2 Sistema Base solvente. En este sistema la fabricación de los recubrimientos se realiza con un alto contenido de COV'S, es de preferencia debido a rápida velocidad de evaporación de los solventes, por lo que su tiempo de secado es menor; pero aporta factores ambientales como la contaminación de la atmósfera, por las innumerables partículas de COV's emitidas. Para este tipo de recubrimientos se prefieren usar contenidos de sólidos bajos, debido a que la solvatación de la resina será directamente proporcional a los solventes, esto implica que, si se formula un recubrimiento con alto contenido de sólidos, se va a requerir más solventes para su dilución.

---

<sup>6</sup> CUBIDES GUTIÉRREZ, Esteban J y GONZÁLEZ ESCOBAR, Nicolás. Evaluación del comportamiento de los sistemas anticorrosivos para metal por medio de cámara salina y cámara de envejecimiento variando espesores y condiciones de aplicación a nivel laboratorio. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de ingeniería Química. 2009. p 32.

<sup>7</sup> CHAMPION F.A. Ensayos de corrosión. Citado por CUBIDES GUTIÉRREZ, Esteban J y GONZÁLEZ ESCOBAR, Nicolás. . Evaluación del comportamiento de los sistemas anticorrosivos para metal por medio de cámara salina y cámara de envejecimiento variando espesores y condiciones de aplicación a nivel laboratorio. Bogotá D.C: 2009. p. 32.

## 1.4 COMPOSICIÓN DE UN RECUBRIMIENTOS PARA MADERA

Las etapas de fabricación en este tipo de recubrimiento, está clasificado en tiempos de ejecución, en la cual inicia en el tipo de resina que se le aplicara como material no volátil, posteriormente con la adición de los componentes tenido en cuenta que la fase de homogenización es un proceso significativo debido a que influye en la etapa final del recubrimiento en la cual determina la calidad y estabilidad del producto. Esta sección tratará de los componentes que utilizan para la fabricación de recubrimientos para madera.

1.4.1 Resina. La resina es el elemento más importante dentro de la fabricación de los recubrimientos, este producto proporciona la característica de formar una película protectora, define la cantidad que se usa dentro de la formulación del producto. Entre otros, Cubides y Gonzáles resume: “Es el vehículo fijo o ligante, se componente de sustancias orgánico o inorgánico poliméricos, cuya función es fijar el pigmento, promover buena adherencia sobre el sustrato o material y darle flexibilidad a la molécula, permitiendo que también sea durable e impermeable a los agentes corrosivos”<sup>8</sup>. Las resinas que se comentan a continuación se pueden establecer en los dos tipos de sistemas, de acuerdo a la configuración de que se le proporciona a la molécula, estas aportan diferentes propiedades al recubrimiento.

1.4.1.1 Resina acrílica. Este compuesto de produce a partir de material sintético, derivados de los ésteres de ácidos acrílicos y metacrílicos. Debido a la gran diversidad de ácidos acrílicos y de acrilatos de los que pueden partir, es posible obtener una variedad de polímeros acrílicos, desde productos duros, un ejemplo: el metacrilato de metilo, hasta otros más blandos, utilizando el etil-hexil acrilato. Este término se aplica a los homopolímeros y copolímeros de ésteres de los ácidos acrílico y metacrílico.<sup>9</sup>“Son estables y resistentes a las agresiones químicas, poseen propiedades eléctricas, son estables al calor y a la luz ultravioleta, resistencia a la abrasión, a los rayones y al impacto de recubrimiento final y es soluble en disolventes con pocos enlaces de hidrogeno”<sup>10</sup>

1.4.1.2 Resina Alquídicas. El mecanismo de polimerización es por reacción con oxígeno a partir de la condensación de un polioliol, formadas por anhídrido ftálico, Etilenglicol, glicerina, etc, en presencia de otra sustancia que actúa como modificador, puede ser un aceite, un determinado compuesto químico orgánico o incluso otra resina.<sup>11</sup>

---

<sup>8</sup> Ibid., p. 31

<sup>9</sup> ALONSO, José V. Pinturas, Barnices y Afines (Composición, formulación y caracterización).Universidad politécnica de Madrid. 2013. p 14.

<sup>10</sup> MORA RODRIGUEZ Cindy Katherine y SARMIENTO CÁRDENAS Diana Carolina. Desarrollo de la formulación para la producción de una laca multi propósito en aerosol a nivel laboratorio para la empresa Policlean LTDA. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de Ingeniería Química. 2009. p. 28

<sup>11</sup> ALONSO. Op. Cit., p. 13

Estas resinas son clasificadas de acuerdo a inserción de monómeros modificados en la cadena principal de la polimerización. La modificación aporta propiedades en el momento de formular el producto convirtiéndose en el aliado de los recubrimientos, cuando reacciona en el momento de la formación de la película<sup>12</sup>.

- Largas. En este tipo de resinas, el tiempo de secado se retarda por el alto contenido de sólidos, lo que hace que la película sea inestable a lo largo del tiempo. Las resinas largas presentan incompatibilidad con las nitrocelulosas, por lo que no se recomienda el uso o acompañamiento de estas dos resinas.
- Medianas. El contenido de sólidos es menor, lo que permite que tenga un poco más de estabilidad en la formación de película, moderando la velocidad de evaporación, en la cual le aporta al fabricante confiabilidad en el procesamiento de recubrimiento, aportando buenas propiedades.
- Corta. Es la de mayor uso en la fabricación de recubrimientos, por la rápida velocidad de secado, contiene menos aceite y sólidos, lo que permite mejor la interacción de los solventes con las resinas, da propiedades de alto contenido de brillo, en la cual se prefiere utilizarse en pinturas para autos, barnices y lacas de acabado para madera.

1.4.1.3 Resina epóxicas. Compuestos sintéticos con diferente grado de polimerización, éste determina el tipo de resina (Líquida, Semisólida y sólida). Se pueden esterificar con ácidos de aceites secantes (lino, soja, y ricino deshidratado). La resina epoxídica es resultado de la reacción entre la epiclohidrina y el bisfenol A o sus derivados, conteniendo en su molécula grupos epoxi y grupos hidroxilo.<sup>13</sup>

1.4.1.4 Resinas Urea- Formaldehído. Este tipo de resinas son utilizadas por contener propiedades mecánicas y adherencia al formularse en productos como imprimaciones, esmaltes y barnices; se forma a partir de la polimerización en condensación, en la cual, los átomos del hidrogeno del grupo amino de la urea, establece puentes de hidrogeno entre el grupo carbonilo del formaldehído, se obtiene la molécula del monómero, para formar el polímero tridimensional. Para establecer una resina hidrosoluble al sintetizar el monómero del polímero este reacciona el 1,3-dihidroximetilurea con un alcohol para llevarlo a la etapa de formación del hidroximetilurea originando las moléculas poliméricas mediante la formación de enlaces aminometileno y se adiciona de nuevo urea para disminuir el contenido de formaldehído y la última etapa que es la de curado.

---

<sup>12</sup> CUBIDES GUTIÉRREZ, Esteban J y GONZÁLEZ ESCOBAR, Nicolás. Op. Cit., p. 27

<sup>13</sup> GIUDICE, Carlos A y PEREYRA, Andrea M, (2009). Tecnología de pinturas y recubrimientos. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. 2009. p. 91.

1.4.1.5 Resina Poliuretanos. Los poliuretanos son polímeros de adición entre un di- o poli-isocianato con compuestos hidroxílicos, generalmente poliésteres y poliésteres hidroxilados. Por tanto, en su forma más simple de reacción de polimerización se puede esquematizar de la forma.<sup>14</sup>

1.4.2 Solventes. Este tipo de compuesto de naturaleza orgánica tiene la capacidad de disolver la resina en fase homogénea, entre los solventes que encontramos para la elaboración de recubrimientos, son conformados por agua, alcoholes, cetonas, esterres, aromáticos y glicoles, que proporcionan una mejor estructuración al recubrimiento y permite formación de la película sobre el material, tiempo después, en el que se evapora el solvente, a este proceso se le conoce como curado del material; también se comporta como reológico, que permite la disminución de la viscosidad en los recubrimientos, con el objetivo de mantener una viscosidad óptima para aplicar el recubrimiento sobre el material<sup>15</sup>.

Existen diversos parámetros que permiten evaluar el poder de solubilidad de una determinada sustancia, lo que define la cantidad máxima que se puede agregar de solvente a la solución de resina, de manera que para estimar la solubilidad de un polímero, es necesario tener en cuenta la termodinámica de la solvatación, estos estudios se han evaluado en el pasado, donde el análisis de la teoría se conocen como hildebrand, Hansen y Teas, de manera, que los resultados obtenidos arroja el grado de solubilidad<sup>16</sup>. Sin embargo, esta estimación ocurre en mezclas donde el sistema del recubrimiento es base solvente, para sistemas base acuosos la información es más precisa sobre las investigaciones de se han desarrollado en el pasado.

1.4.2.1 Solventes activos. Son solventes que se reaccionan con sustancias no hidrosolubles. Pueden ser divididos según su punto de ebullición: los de bajo punto de ebullición (<100°C), reduce la viscosidad y promueven el secado rápido, entre estos se encuentran el acetato de etilo y la acetona. Los de medio punto de ebullición (100-140°C), favorece la aplicación y el nivelado de la película, entre ellos está el acetato de butilo y el etilenglicol. Los de alto punto de ebullición (140-170°C), promueve el alto brillo y adherencia, los encontramos como acetato de etilenglicol. Los de súper alto punto de ebullición (>170°C), son utilizados en ambientes muy húmedos como el butilglicol y el etildiglicol<sup>17</sup>.

---

<sup>14</sup> ALONSO. Op. Cit., p. 16.

<sup>15</sup> Ibid., p. 7.

<sup>16</sup> Protección de materiales. Índice de solubilidad. [En línea]. Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/solventes>

<sup>17</sup> MORA RODRIGUEZ. Op. Cit., p. 33-34.

1.4.2.2 Cosolventes. Son combinaciones de dos tipos de solventes y tiene funcionalidad de catalizador, haciendo que este tenga la propiedad de secado rápido. También actúa en sinergia con un solvente activo reduciendo la viscosidad de la solución y disuelve al plastificante. Un ejemplo de estos es el etanol<sup>18</sup>.

1.4.2.3 Diluyentes. No disuelve a la resina, este es utilizado para bajar los costos del producto al ser mezclado con un solvente activo. Un ejemplo de este tipo de solvente son: heptano, benceno, tolueno y xileno<sup>19</sup>.

1.4.2.4 Solvencia. Es considerado como un fenómeno que define la totalidad de la solvencia entre la resina y el solvente. De acuerdo al estudio analizado sobre las fuerzas intermoleculares que afectan la fuerza de dispersión (fuerza de London) y las fuerzas polares (fuerzas de keesom y debye), con la fusión de hidrogeno. De manera que esta fuerza controla las propiedades del solvente como el punto de ebullición, la tensión superficial y el calor latente. También se tiene en cuenta el estudio del parámetro de solubilidad. El efecto de la polaridad del disolvente y el polímero es muy importante en la relación de sus parámetros de solubilidad<sup>20</sup>.

**Tabla 1.** Tipos de solventes y usos industriales

Solventes	Características	Usos y aplicaciones
<b>Aromáticos</b>		
Tolueno	Llamado también metilbenceno. Es un líquido incoloro e inflamable se obtiene en el fraccionamiento del petróleo.	Se usa para elevar el octanaje en la gasolina (gas avión), para la elaboración de pinturas, resinas detergentes, entre otros.
Xileno	Dimetil benzol. Líquido inflamable e incoloro. Se usa como solvente y diluyente.	Se usa como solvente para resinas, lacas, esmaltes, tintas, cuero, gasolina para aviación. Desengrasante, insecticidas y repelentes.
<b>Acetatos</b>		
Acetato de etilo	Líquido incoloro, fácilmente inflamable. Su punto de ebullición es de 74-77°C	Su uso es recomendado en laboratorios de fármacos. Se encarga de la extracción de antibióticos, en pinturas se usa como solvente activo para disolver las resinas sintéticas.
Acetato de butilo	Líquido incoloro, fácilmente inflamable, su punto de ebullición es de 126.5°C.	Es un buen disolvente y sirve para aumentar el numero de octanos.

<sup>18</sup> Ibid., p.34

<sup>19</sup> Ibid., p.34

<sup>20</sup> MARRION, Alastair. The Chemistry and physics of Coating. Coating components beyond binders. 2 ed. Nothampton, UK.: RSC, 2004. 292 p. ISBN 0-85404-656-9.

**Tabla 1. (Continuación)**

Cetonas		
Acetona	Líquido aromático, incoloro, inflamable, es un importante disolvente y medio de extracción.	Se emplea principalmente como disolvente en la fabricación de acetato de celulosa, pinturas, lacas y adhesivos, productos farmacéuticos, plásticos, cementos, purificación de parafinas, etc.
Metil isobutil cetona	Líquido incoloro, inflamable y tóxico. Es parcialmente soluble en agua y miscible en alcoholes.	Se emplea en síntesis orgánica, solventes de goma, resinas, lacas de nitrocelulosas, producción de recubrimientos y adhesivos.
Metil etil cetona	Olor parecido a la menta, líquido incoloro, brillante, muy volátil y altamente inflamable, insoluble en agua.	Es usado en la producción de solventes para revestimientos, tintas de imprenta, papel transparente, lacas, quita grasas, etc.
Alcoholes		
Metanol	Líquido incoloro, soluble en acetonas y ésteres, es miscible en agua.	Se usa como co solventes industriales en la fabricación de formol, acetato de metilo y plastificantes. Se usa como solventes en las lacas, plásticos, jabones, cueros artificiales.
Isopropanol	Líquido incoloro, sustituyente al alcohol en preparaciones de cosméticos y es importante como disolvente para lacas y como conservante.	Se emplea en alimentos, loción, solventes en procesos de extracción, acetatos de etilo.
Alifáticos		
Gas nafta	Líquido incoloro, muy poco soluble en agua.	Como solvente para pinturas como desmanchador en tintorerías.
Nafta desodorizada	Líquido incoloro muy poco soluble en agua.	Como solvente para pinturas, ceras para calzados y desmanchador en tintorerías de lavado en seco.
Gasolina blanca	Líquido incoloro insoluble en agua.	Solvente para esmaltes, barnices y para resinas naturales. Su función principal es como combustible.
Gasolvente		
Heptano	Líquido incoloro, soluble en alcohol, éter y cloroformo.	Sustituto del hexano en la extracción de aceites, como solventes para pinturas e industria papelera, selladora y tinta.
Hexano	Líquido inflamable, volátil e incoloro, componente de la gasolina y del petróleo, soluble en alcohol, acetona éter.	Se usa como extractor de aceite vegetales, diluyentes de pinturas, como materia prima para síntesis orgánica, en la elaboración de thinner.

**Tabla 1. (Continuación)**

Clorados		
Percloroetileno	Líquido incoloro de olor característico.	Solvente lavado de ropa en seco, desengrasado de metales, y en la fabricación de jabones.
Cloruro de metileno	Líquido incoloro, volátil de olor dulce. Poco soluble en agua y miscible en la mayoría de solventes orgánicos. Es prácticamente inflamable y no explosivo en condiciones normales de utilización.	Disolvente utilizado en la fabricación de pinturas y barnices y en su eliminación. Fabricación de aerosoles para agroquímica y limpieza doméstica.
Glicoeteres		
Butil cellosolve	Líquido incoloro de suave olor, es ampliamente empleado como solvente retardador para lacas, nivelador de película en tinta, completamente soluble en agua.	Solvente para resinas de nitrocelulosa, lacas en spray, lacas de secado rápido, solvente inerte.
Mezclas		
Thinner standard	Líquido incoloro soluble en agua.	Adelgazador de pinturas automotrices, en lacas para madera, desengrasante de piezas metálicas.

**Fuente:** Tipos de solventes. Citado por: MORA RODRIGUEZ Cindy Katherine y SARMIENTO CÁRDENAS Diana Carolina. Desarrollo de la formulación para la producción de una laca multipropósito en aerosol a nivel laboratorio para la empresa Policlean Ltda. Solventes. Disponible en: <http://www.quiminet.com>

1.4.3 Aditivos. Estos productos se agregan en cantidades pequeñas con el objetivo de mejorar el rendimiento del recubrimiento; la selección para su agregación, va de acuerdo a la tecnología o formulación del recubrimiento, básicamente le da características de acuerdo a lo que se desee que el recubrimiento logre los rendimientos deseados, sin embargo los efectos pueden llegar a ser dramáticos, haciendo que el recubriendo falle o tenga interacciones altamente incomprensibles<sup>21</sup>.

1.4.3.1 Agentes Humectantes. Los agentes humectantes y dispersantes ayudan a la reticulación del contenido en los recubrimientos. El objetivo de estos componentes es descomponer los aglomerados del pigmento al tamaño óptimo de las partículas; No obstante, si el agente no logra reticularse, puede producirse diversos efectos, como la floculación, desarrollo deficiente del color o cambio del color, inundación y flotación, asentamiento y pérdida del brillo. La estructura de los agentes humectantes y dispersantes son diferentes, ambos actúan con la superficie de las partículas del pigmento, ya sea orgánico e inorgánico. Para los agentes dispersantes debe contener una cadena larga de carbono (C<sub>18</sub>H<sub>37</sub>) para

---

<sup>21</sup> Ibid., p. 297

proporcionar una barrera estérica efectiva, una vez se haya logrado la solvatación de los productos en sistemas base solvente y acuosos<sup>22</sup>.

1.4.3.2 Agentes de contról de espuma. En los recubrimientos ocurre un efecto, que llega a reducir la eficiencia de la pintura, se trata de unas burbujas o espuma que generalmente es gas atrapado, consecuente al proceso de fabricación del recubrimiento, este fenómeno ocurre en los dos sistemas de recubrimiento (base solvente-acuoso). Para evitar este fenómeno existen aditivos antiespumantes, en la cual tiene como función eliminar la espuma estabilizada que se encuentra en la interfaz liquido-gas; son líquidos de baja tensión superficial, de manera que cuando este ingresa al sistema interactúa o desplaza al surfactante, reduciendo la tensión superficial<sup>23</sup>.

1.4.3.3 Modificadores reológicos. Son sustancias utilizadas para modificar la estabilidad de almacenamiento y las propiedades de la aplicación, evita el asentamiento en la lata y también una excesiva flacidez durante la aplicación<sup>24</sup>.

1.4.3.4 Aditivos para Deslizamiento y Manchas. Este tipo de aditivos, son utilizados para darle fuerza a los recubrimientos, que son usados en el área marítima, este aditivo aporta resistencia a la abrasión, evitando la corrosión de las latas de los navegantes. La ceras y los aceites a base de silicona, son los materiales más comunes para usarse en los aditivos, de manera que ellos les dan una mayor resistencia al deslizamiento y desgaste. Los aceites a base de silicona puros o modificados son ampliamente utilizados tanto en sistemas base solvente como en base agua, la función es migrar a la superficie de la pintura y reduce las irregularidades de la superficie dando una película mucho más suave<sup>25</sup>.

1.4.3.5 Absorbentes de UV. Son aditivos por lo general especies aromáticas. Estos materiales a menudo son tautómeros y absorben la radiación UV. Estos compuestos lo conocemos como los HALS, encargados de eliminar radicales libres e inhibirlos para que no se produzca la degradación<sup>26</sup>.

1.4.3.6 Nivelantes. Son sustancias incluidas en la formulación, como resultado en la nivelación alcanzada del recubrimiento. La función de estas sustancias, es ejercer su acción en el momento de que es aplicado sobre la superficie, evitando la aparición de piel de naranja o cráter.

---

<sup>22</sup> Ibid., p. 297

<sup>23</sup> Ibid., p. 298

<sup>24</sup> Ibid., p. 301

<sup>25</sup> Ibid., p. 303

<sup>26</sup> Ibid., p. 305

## 1.5 EMULSIÓN

Una emulsión es un sistemas heterogéneo compuesta por dos sustancias inmiscibles, en la cual hay una fase líquida discontinua, dispersa a través de una fase líquida continua<sup>27</sup>.

Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas están en el rango entre 0.1 y 20  $\mu\text{m}$ . Aunque se traten de dispersiones termodinámicamente inestables, las emulsiones pueden llegar convertirse cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos que se presentan la capacidad de absorción en la superficie de las gotas<sup>28</sup>.

1.5.1 Polimerización. Es el proceso donde interactúa pequeña molécula bifuncionales llamada monómera, en la cual unen para formar macromoléculas o el polímero. Los monómeros debes ser reactivos en dos de sus extremos para interactuar las moléculas por medio de sitios activos que permiten que la unión de los monómeros a la cadena polimérica, los enlaces formados dentro de la cadena son covalentes de manera que poder sujetar la cadena formada al final de la polimerización.

1.5.2 Polimerización en emulsión. El proceso de polimerización en emulsión se efectúa en cadena, en la cual se da inicio a activar la cadena que contenga radicales libre, para poder interactuar los enlaces del monómero dentro la fase acuosa continua, de manera que se agrega agentes como peróxidos orgánicos, persulfatos amónicos u otros, que permita la dispersión del monómero en la fase líquida continua. Dentro de la agregación en la polimerización, continua la fase de propagación, en la cual se añade indicadores solubles en agua que tiene como función activa la tensoactividad de la emulsión, esta son llamadas miscelas<sup>29</sup> (ver ilustración 1) que son alimentadas por el monómero que viaja por difusión a través de medio.

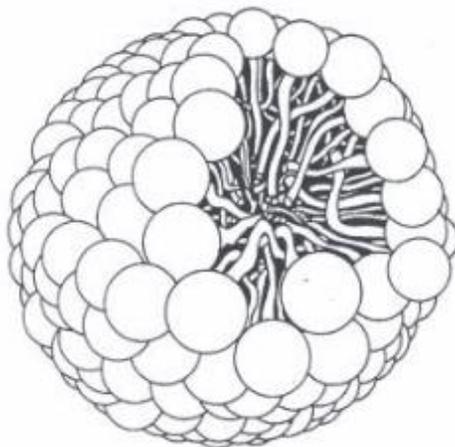
---

<sup>27</sup> MERCADO ORTEGA, Mirna L. obtención y caracterización de una emulsion acrílica para uso en la fabricación de recubrimientos para madera. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Química. Procesos de polimerización y materiales. 2015. p. 10

<sup>28</sup> ARRANBERI, B.P, BINKS, J.H, CLINT, P.D.I. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. En: Revista Iberoamericana de polímeros. Agosto, 2016. Vol. 7. no.3. p. 212.

<sup>29</sup> las micelas es la molécula o gota que es formada en la unión de dos moléculas insolubles. Presenta dos partes, clasificados como Hidrofóbica e hidrofílica.

**Ilustración 1.** Micela esférica o gota del polímero.



**Fuente.** Obtención y caracterización de una emulsión acrílica para uso en la fabricación de recubrimientos para madera: polimerización en emulsión. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/49614/1/1103094337.2015.pdf>.

La fase finalización, el radical libre bloquea la cadena cuando se acaba la concentración del indicador y la polimerización deja de reaccionar. La polimerización en emulsión es un estudio que sigue en curso de los fabricantes, de acuerdo a que esta tecnología reemplaza el uso de disolventes costosos por agua y da una idea de crear tecnologías que se puedan usar en diferentes procesos de fabricación como adhesivos, recubrimientos, etc. Debe tenerse en cuenta que este tipo de polimerización depende del monómero que se va utilizar y otras sustancias que tenga una especificación garantizada para el éxito de la polimerización. Los principales monómeros acrílicos más usados para la polimerización en emulsión se conocen como<sup>30</sup>:

- Acetato de vinilo:  $\text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2$
- Esteres de ácido acrílico:
- Butilacrilato:  $\text{CH}_2\text{CHCOOC}_4\text{H}_9$
- Metilmetacrilato:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$
- VeoVa

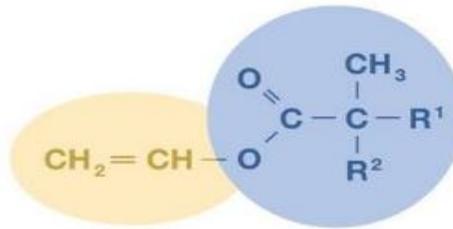
---

<sup>30</sup> MERCADO. Op. Cit., p. 13

Los VeVo son monómeros basados en éster vinílicos de diferentes ácidos versáticos, estos se caracterizan por una alta resistencia a la saponificación<sup>31</sup>. (Ver ilustración 2). Presenta una combinación de propiedades de acuerdo a la Tg de media a baja, con hidrofobicidad y resistencia química buena. Se encuentran muchas aplicaciones de los polímeros Vevoa en la industria de pinturas, entre las más destacadas<sup>32</sup>:

- Pinturas decorativas y yeso
- Pinturas y recubrimientos industriales tales como pinturas anticorrosión, revestimientos para madera, barnices y recubrimientos para poliolefinas.
- Látex y polvos redispersables secados por aspersion de mezclas de mortero.
- Látex para adhesivos.

**Ilustración 2.** Estructura molecular del VeVoa



**Fuente.** Obtención y caracterización de una emulsión acrílica para uso en la fabricación de recubrimientos para madera: polimerización en emulsión. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/49614/1/1103094337.2015.pdf>.

1.5.2.1 Modelo de Harkins. Una forma de entender el mecanismo de polimerización en emulsión, se efectúa por medio de la teoría de Harkins la cual se resume a continuación<sup>33</sup>:

- En la etapa inicial el monómero puro se encuentra en forma de gotas del orden de 0.001 a 0.1 mm, mientras que el agente surfactante se encuentra de forma en micelas.

<sup>31</sup> Ibid., p. 13

<sup>32</sup> Ibid., p. 14

<sup>33</sup> LÓPEZ SANTAMARÍA, Camilo A. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Química. Agentes de tensión superficial. 2015. p. 20-22

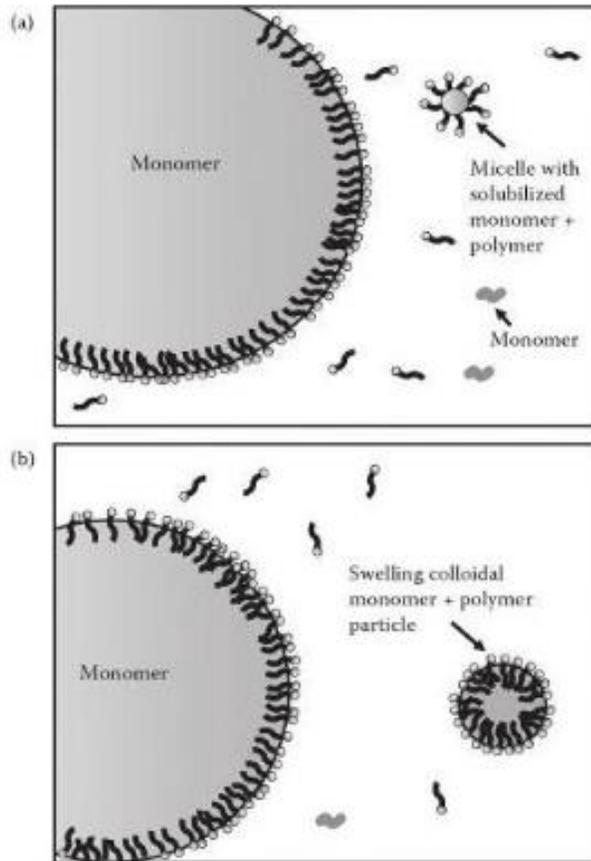
- Una vez los radicales libres son inicializados, este comienza a reaccionar con el monómero dentro de la fase acuosa.
- La reacción ocurre a partir del número de unidades monoméricas que son incorporados al oligómero en el punto de la hidrofobicidad de la cadena formada.
- La reacción finaliza cuando las micelas desaparecen dando fin al proceso.

Dentro del proceso se debe tener en cuenta ciertas influencias que pueden llegar afectar el proceso de polimerización como: el efecto de la temperatura, la concentración del surfáctante, la relación monómera/agua en la emulsión, concentración del agente iniciador, así como la velocidad de agitación. Entre otros, López (2011): “este proceso de polimerización es más rápido comparado con la polimerización en solución, debido a que la concentración del monómero dentro de las micelas es mucho mayor que la concentración del monómero al interior de la solución. La velocidad de reacción es directamente proporcional a la concentración del iniciador, es decir, que si aumenta la concentración la velocidad también aumenta”<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Ibid., p. 21

**Ilustración 3.** Proceso de polimerización en presencia de agentes tensoactivos



**Fuente:** Obtención y caracterización de una emulsión acrílica para uso en la fabricación de recubrimientos para madera: Modelo de Harkins. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/49614/1/1103094337.2015.pdf>.

1.5.2.2 Agentes de tensión superficial. Dentro del proceso de polimerizar una emulsión, se presenta un tercer componente importante como se ha interpretado en el proceso de polimerización en emulsión (véase el numeral 1.5.2.1), el agente tensoactivo evita que la emulsión no se desestabilice, estos agentes son conocidos como surfactante, son compuestos anfífilos, es decir tiene una doble afinidad desde un punto de vista físico-químico como dualidad polar – apolar. La parte polar presenta afinidad con solventes como el agua, siendo este soluble en agua se

denomina parte hidrofílica, posteriormente la otra parte de la molécula se denomina hidrofóbica<sup>35</sup>.

#### Ilustración 4. Estructura de un agente tensoactivo



**Fuente:** Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Agentes de tensión superficial. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/6759/1/tesis.pdf>.

### 1.6 LACA CATALIZADA EN SISTEMA BASE ACUOSO

Hoy en día ya existen algunos sistemas alternativos desarrollados por algunas empresas del país, Quimica Amtex en Medellín lanzo una línea de productos para madera en Agua (excepto en sistema catalizado), Pintuco en Medellín, obtuvo un sistema catalizado de poliuretano y Procoquinal Ltda en la ciudad de Bogotá fue la primera en anunciar un sistema catalizado para madera en base acuoso<sup>36</sup>.

1.6.1 Propiedades que definen los recubrimientos. Este tipo de propiedades corresponde a evaluar el recubrimiento, con el fin de determinar limitaciones presentadas por medio de unas pruebas que define la calidad del producto, entre estas pruebas que caracteriza el producto final son:

- Dureza
- Brillo
- Resistencia química
- Resistencia física

---

<sup>35</sup>ibid., p. 13-14

<sup>36</sup> MARTINEZ LEON, Sebastián. Desarrollo de laca hidrosoluble a nivel laboratorio para a empresa Pintatex y Cia Ltda. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de Ingeniería Química. 2009. p. 38

- **Especificaciones del producto estándar.** CORONA es una multinacional colombiana, fabricantes de productos para el hogar y la construcción. Desarrollaron un producto diseñado para la protección del mobiliario, se trata de un recubrimiento base acuosa, cuya tecnología es posiblemente emulsión acrílica, para saber el contenido se analiza por medio de espectrofotometría, dentro de Preflex el equipo no está en uso, es una barniz fabricado bajo olor, eso significa que el contenido de COV'S es nulo para este tipo de sistema, se tomó unos análisis con el fin de obtener un dato base para ser comparado con laca desarrollada en este trabajo de grado, de igual manera se analizó la cantidad de sólidos de este barniz, los resultados se observan en la tabla 2.
- pH=7.98
- viscosidad brookfield con una aguja N°2 a 20 RPM 546.8 cP
- viscosidad copa Ford=54 min 88 seg a 25°C.

**Tabla 2.** Contenido de sólidos en la muestra estándar

<b>Papel (g)</b>	<b>Muestra (g)</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>%solidos</b>
1.126	1.002	1.538	41.11
1.150	1.002	1.567	41.61
1.124	1.002	1.524	39.92
<b>Σ total de solido</b>			<b>41.08</b>

**Fuente:** elaboración propia

## 2. DESARROLLO DE UN RECUBRIMIENTO PARA MADERA EN SISTEMA BASE ACUOSA

Este capítulo tratará del desarrollo de un recubrimiento para madera en sistema base acuosa, la temática del proyecto abarca del diseño de un producto por medio de la formulación del contenido, aspectos mecánicos en la elaboración y factores que incurre en las propiedades o estabilidad del producto. El instituto colombiano de normas técnicas y certificaciones (INCONTEC), es la entidad encargada de suministrar, aspectos técnicos estandarizados en gran parte de las actividades industriales, con las aplicaciones de estas normas se muestra algunas propiedades, en la cual define el producto desarrollado en este proceso experimental.

El Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, expidió la resolución 909 de 2008, que establece el control o monitoreo de los COV'S en las industrias procesadoras que utilicen estos compuestos. Por esta razón se da inicio a desarrollar tecnologías con bajo contenido de COV'S, que puedan ser implementadas en diferentes procesos. En este proyecto desarrollara una laca catalizada hidrosoluble con el objetivo de cumplir una serie de especificaciones de un producto con buena calidad, combinando dos tecnologías desarrolladas en diferentes métodos de polimerización.

Martínez (2009), resume: “La laca catalizada o laca al ácido, es conocido comúnmente como barnices de conversión. Es un recubrimiento de dos tipos de componentes, compuesto en una sola fase, laca y catalizador. El catalizador es el acondicionador del sistema, cuya función es darle curado a la película sobre el sustrato. La mezcla de los dos sistemas se efectúa antes de realizar la aplicación, y ocurre una reacción química entre los dos componentes que permite darle una capa decorativa y protectora sobre la madera”<sup>37</sup>. En la tabla 3 se especifica el contenido de una laca catalizada en sistemas bases solventes.

---

<sup>37</sup>Ibid., p. 40.

**Cuadro 1.** Componentes de las lacas convencionales.

<b>Componentes</b>	<b>Lacas Catalizadas</b>
Resina o vehículo fijo	Se prefiere resinas acrílicas, alquídicas y ureas- formaldehído, melanina-formaldehído.
Solventes	Los solventes se agregan de acuerdo al sistema que se va elaborar; miscible en agua o compuesto orgánicos
Nivelador de película	Se añade aditivos que permita la reticulación de película.
Catalizador	Sistema acondicionador, mezcla entre solventes u otro tipo de compuestos.

**Fuente:** elaboración propia

## 2.1 MATERIALES

Las materias primas que a continuación se va a comentar se tiene en cuenta solventes, aditivos y agentes que permita el curado total de la mezcla final, consiste en la combinación de dos sustancias que reaccionan entre ellas para formar el entrecruzamiento dando la formación de una película que se adhiere al sustrato. En la selección de las materias primas se tuvo en cuenta, las sustancias que se encontraban disponibles dentro los laboratorios de preflex.

Rojas (2016), resumen el uso de solventes aminos: “Dentro de los agentes de curado las poliamidas son particularmente importantes para formulación de recubrimientos. Cualquier tipo de polietilenaminas pueden ser utilizadas en la preparación de poliamidas, tales como dietilentriamina (DETA), trietilentetramina (TETA), o pentilhexamina (PEHA). Las poliaminas se encuentran con viscosidades entre los 10 000 y los 500 000 cP, mientras que las poliamidaminas poseen viscosidades usualmente entre los 1000 y los 700 cP”<sup>38</sup>. Este tipo de sustancias aporta propiedades significativas a la formulación de un recubrimiento y es de bajo olor.

2.1.1 Emulsión Acrílica. Se desconoce la formulación del producto, se trata de una emulsión acrílica de uso comercial para ser implementada en varios procesos que tengan relación con la emulsión, es un termoplástico que aporta características al recubrimiento como resistencia, flexibilidad, adherencia y buen brillo. Su contenido de sólidos es aproximadamente de 30-50% se analizó de acuerdo a las

---

<sup>38</sup> ROJAS MORALES, Mallerly y TORRES GOMEZ David A. Evaluación para la obtención de resina epóxica a partir de aceite de ricino a nivel de laboratorio. Bogotá D.C.:Fundación Universidad de américa. Programa de ingeniera química. 2016. p. 26

especificaciones del fabricante y basado en la norma NTC 1774, su apariencia es blanco azulado, pero cuando se evapora el contenido de la emulsión forma una película transparente de alto brillo.

**Ilustración 5.** Emulsión acrílica.



**Fuente:** elaboración propia

2.1.2 Resina hidrosoluble. Se desconoce la formulación del producto, pero se puede definir que es un componente termoestable de alto peso molecular, es compatible con las emulsiones, miscible en agua, aporta características a la formulación del recubrimiento como brillo, dureza, viscosidad y resistente a agentes corrosivos. Esta tecnología se desarrolló con bajo contenido de COV'S para formular una laca bajo olor. Esta resina contiene 97% de sólidos, y tiene una viscosidad Z3, analizada de acuerdo al fabricante por viscosidad gadner.

2.1.3 Trietanolamina. Es un agente que permite el entrecruzamiento de las resinas, son aminos pesados, definidos como solventes, plastificantes, presenta textura viscosa y es utilizado en bajas concentraciones de 0.1-1%, este solvente permite el curado de la película sobre el sustrato.

2.1.4 AMP-95 (Amino 2 metil- propanol). Es un agente amino que actúa como agente de curado, en la cual permite el entrecruzamiento de los componentes principales, se comporta como modificador del pH y aporta viscosidad al sistema.

2.1.5 Metanol. Solvente orgánico que se añade a la resina para solubilizarla, miscible en agua, tiene afinidad con la emulsión, por ser de corta cadena de carbono tarda menos en evaporarse, permitiendo su rápida formación de película. Otro co-solvente que se añade con el metanol es el agua, ya que el sistema actúa con esta sustancia, por lo tanto, se añade a la formulación de la laca catalizada. Los dos se añaden en una concentración de 10-20%.

2.1.6 Tego 410. Es un aditivo cuyo compuesto es un copolímero de siloxano poliéter líquido que permite darle resistencia al rayado a la película y funciona como reticulante. Se añade con MPA (metil proxitol acetato) que actúa como diluyente se añade entre (0.1-1) %.

2.1.7 Tensapol L61. Es un aditivo que se encarga de humectar la mezcla, evitando el escurrimiento de los recubrimientos base acuoso sobre el sustrato, este aditivo se recomienda utilizar cantidades de 0.3-0.5% porcentaje en peso.

2.1.8 BYK. 346. Se comporta como un aditivo fuerte que reduce la tensión superficial en sistemas acuosos, especialmente recomendado como humectante del sustrato y sugerido para deslizamiento en superficies y nivelante. Se agrega en cantidades pequeñas de 0.1-0.5 % depende de la formulación del producto.

2.1.9 BYK 337. Aditivo de composición disolución de un polidimetilsiloxano modificado con poliéter, es utilizado como reductor fuerte de la tensión superficial del sistema acuoso.

2.1.10 BYK 055. Aditivo antiespumante, recomendado para la producción de recubrimientos para madera con solventes o sin solventes.

2.1.11 BYK 333. Aditivo con función fuerte de reducción de la tensión superficial en sistemas acuosos, es especialmente recomendado para humectación del sustrato y deslizamiento superficial, recomendado para nivelación.

2.1.12 Catalizador APTS. Ácido Paratouleno-sulfónico, es el catalizador recomendado el acondicionador, permite la adherencia de la película hacia el sustrato, se añade el 5% del peso de la laca, se recomienda añadirse con agua en una relación 50:50, la mezcla se efectúa en un tiempo de 10-15 min antes de ser aplicado sobre el sustrato.

## **2.2 EQUIPOS**

- Balanza analítica. Este equipo de marca Ohaus Pionner 200 x 0.001 g es usado para bajas mediciones, tiene la capacidad de medir hasta 200 g, es utilizado para el pesaje de la masa en gramos de cada sustancia y se emplea en la medición de los sólidos en los recubrimientos, (ver ilustración 6).

**Ilustración 6.** Balanza analítica.



**Fuente:** elaboración propia

- Mezclador dispermix. Este equipo se usa para la mezcla de recubrimientos, adhesivos, etc, con baja o media viscosidad. Contiene un motor que programa un rango de 1-10 rpm, el agitador es tipo cowles, con alto rendimiento en la homogenización del mezclado, (ver ilustración 7).

**Ilustración 7.** Mezclador de dispersión tipo cowles.



**Fuente:** elaboración propia

- Viscosímetro Brookfield. Equipo (serie DV-I + Brookfield) empleado para la medición de la viscosidad en recubrimiento, se utilizó el equipo que se observa en la ilustración 8 para expresa la viscosidad relativa en unidades de Centipoise (cP), esta medición se relaciona con los parámetros que establece la NTC 1774, para recubrimientos basados en sistemas emulsionados.

**Ilustración 8.** Viscosímetro Brookfield.



**Fuente:** elaboración propia

- Viscosímetro Copa Ford. Este viscosímetro es empleado en la medición de la viscosidad óptima en la aplicación del recubrimiento sobre el sustrato, se mide en unidades de tiempo en un rango de aceptación 15-20 segundos, este rango se aplica en la viscosidad de recubrimientos para madera y es establecido de acuerdo al fabricante.

**Ilustración 9.** Viscosímetro Copa Ford.



**Fuente:** elaboración propia

- Pistola de aire comprimido. La aplicación más usada en los recubrimientos, se efectúa por medio un equipo de aire comprimido conocido como compresor en la cual maneja presiones en MPa, se debe realizar limpieza de la pistola antes de ser usada, esto evita que se emita partículas a la película formada.

**Ilustración 10.** Pistola de aire comprimido.



**Fuente:** elaboración propia

- Brillómetro. Este equipo se encarga de medir el brillo en los recubrimientos por medio de la geometría como aspectos técnicos que establece la NTC 592-1, el equipo debe estar calibrado y la toma de datos se realiza por medio de la difracción se efectúa en presencia de un foco de luz.

**Ilustración 11.** Brillómetro.



**Fuente:** Brillómetro BYK. Disponible en línea:  
<http://www.bluemetric.mx/nueva/shop/medidor-de-brillo-serie-ksj-de-3-angulos-20-60-y-85/>

- Durómetro de lápices. Equipo usado en la medición de la adherencia de la película formada sobre el sustrato, por medio del rayado empleado por los lápices, la técnica aplicada se establece por la NTC 5252.

**Ilustración 12.** Medición del rayado en los recubrimientos.



**Fuente:** Durómetro de lápices.  
Disponible en:  
<https://www.elcometer.com/es/equipos-de-pruebas-fsicas/dureza-y-rayado/durmetro-de-lapiz-elcometer-501.html>

### 2.3 METODOLOGÍA

El procedimiento para la elaboración de un recubrimiento inicialmente se basa en la caracterización de la materia prima, es decir se comprueba el estado del lote de acuerdo a los parámetros establecidos por el fabricante. Posteriormente en la formulación de un producto se establece por medio del porcentaje en peso, en la cual se aplica una conversión para determinar la cantidad de agregación (gramo) por cada sustancia involucrada, la ecuación que determina la cantidad en peso se realiza de la siguiente forma:

**Ecuación 1.** Cantidad en peso dosificada de los componentes.

$$\text{Cantidad en peso (g)} = \text{cantidad total(g)} * \frac{\% \text{ cantidad del componente}}{100\%}$$

**Fuente:** elaboración propia

Para efectuar la agregación adecuada dentro de la formulación del producto base, tomando como referencia la patente suministrada de los fabricantes de emulsiones acrílicas Roshield, recomienda las siguientes relaciones que pueden efectuarse para establecer la cantidad de agregación, de tal manera se recomienda para la dosificación de emulsión-amino una relación de 50:10 definiendo como 50 la emulsión y el 10 es el amino que se añade en cantidades bajas. Con la proporcionalidad definida de la emulsión, se plantea la cantidad de agregación de la resina hidrosoluble con el remanente es en relación de 40:60, definiendo que 40 es la cantidad que se agrega de resina con el propósito que ocurra el curado del recubrimiento sin tener en cuenta la alta cantidad de sólidos que contiene esta resina y 60 es la mezcla de solventes y aditivos, con estas cantidades definidas se puede plantear la formulación del recubrimiento en sistema base acuosa. Este análisis es aportado por la empresa por medio de un documento que demuestra la patente de una emulsión y se puede adquirir por medio de The Dow Chemical Company<sup>39</sup>. Al mismo tiempo Martínez (2009) desarrolló una laca catalizada basada en sistema emulsionado con diferentes tipos de monómero, empleando sustancias que se relacionan para formular el contenido de estos sistemas emulsionados, de acuerdo a lo planteado en el proyecto se establece las sustancias para plantear la formulación de la laca catalizada en sistema base acuosa, por lo tanto la fórmula definida para la elaboración de la laca se evidencia en la tabla 3.

El catalizador tiene la funcionalidad de acondicionar el sistema emulsionado, en la cual mejora el desempeño de laca con la finalidad de actuar dentro de sistemas permitiendo el secado del recubrimiento, se emplea como catalizador el ácido paratoluolsulfónico, en la cual se dosifica el 5% con respecto a la cantidad usada del recubrimiento, se suele combinar este ácido con agua para mejorar el rendimiento y reducir el costo del uso del catalizador (la relación entre el catalizador y el agua es de 50:50). Después de añadirse el catalizador se programa un tiempo de agitación de 5 minutos con el fin de que esta sustancia interactúe con el recubrimiento formulado.

---

<sup>39</sup> Roshield 1024 Emulsion. Formulating. [En Línea]. Disponible en: <https://www.dow.com/en-us>

**Tabla 3.** Formulación base para la agregación de componentes.

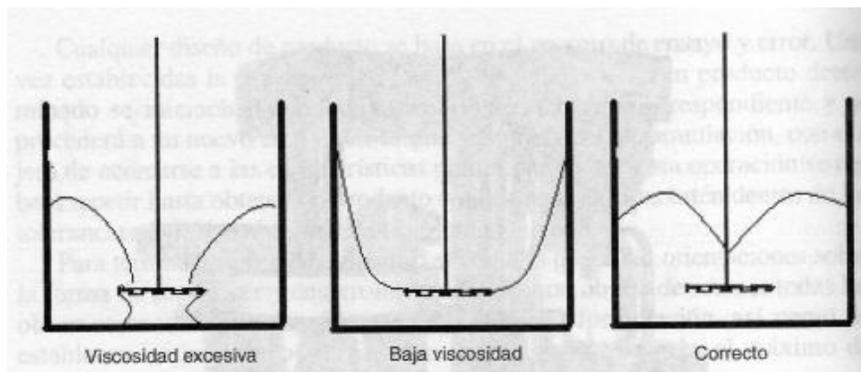
<b>Componentes</b>	<b>% en peso</b>
<i>Emulsión</i>	51
<i>solvente amino</i>	0.2
<i>Resina</i>	16
<i>solvente alcohol</i>	10
<i>Solvente agua</i>	20
<i>aditivo humectante</i>	0.5
<i>solvente glicol</i>	0.5
<i>aditivo reológico</i>	1
<i>Aditivo antiespumante</i>	0.3
<i>Aditivo tenso activó</i>	0.2
<i>Nivélante</i>	0.2
<b>Acondicionador del sistema</b>	
<i>Catalizador</i>	5

**Fuente:** Roshield emulsión 1024. Gloss formulation.  
 Disponible en: <https://www.dow.com/en-us>

Prosiguiendo con los porcentajes formulado para el contenido de las sustancias involucrada, se procede a la homogenización de las sustancias basado en el proceso de mezclado, esto se realiza en un equipo identificado en la industria como dispersmix, este equipo maneja velocidades de 1-10 RPM para baja o media viscosidades, son equipos utilizados en procesos a escala laboratorio produciendo una agitación con un esfuerzo proporcionado a la mezcla en la cual se llega a obtener diferentes perfiles de mezclados de acuerdo a la viscosidad del recubrimiento como se muestra en la ilustración 6, es recomendable que los discos estén separados de las paredes del recipiente de esta manera se evita una turbulencia para no tener pérdidas del contenido. Posteriormente se agrega primero la emulsión con la trietanolamina (TEA) seguidamente se programa la agitación a 7 rpm, pasando 5 min de agitación se procede a añadir la pre mezcla que se trata de la resina, solventes y aditivos, esta pre mezcla se hace con agitación manual con el fin de homogenizar la resina, una vez se obtiene la pre mezcla homogénea se agrega directamente sin detener la agitación a la emulsión, la agitación se deja por 15 min hasta obtener una mezcla estable y proseguir la caracterización de la película una vez caracterizada la película de acuerdo a las normas NTC, 1774, 598,952,996,etc.<sup>40</sup> En la sección 2.4 se especifica cada norma para caracterizar los recubrimientos. El procedimiento finaliza con la aplicación sobre una lámina de madera y obteniendo diferentes datos que va permitir la selección de la mejor formulación y aplicando pruebas de calidad (ver ilustración 15).

<sup>40</sup> ALONSO. Op. Cit., p. 49-50.

**Ilustración 13.** Perfiles de velocidad en el mezclador dispermix.

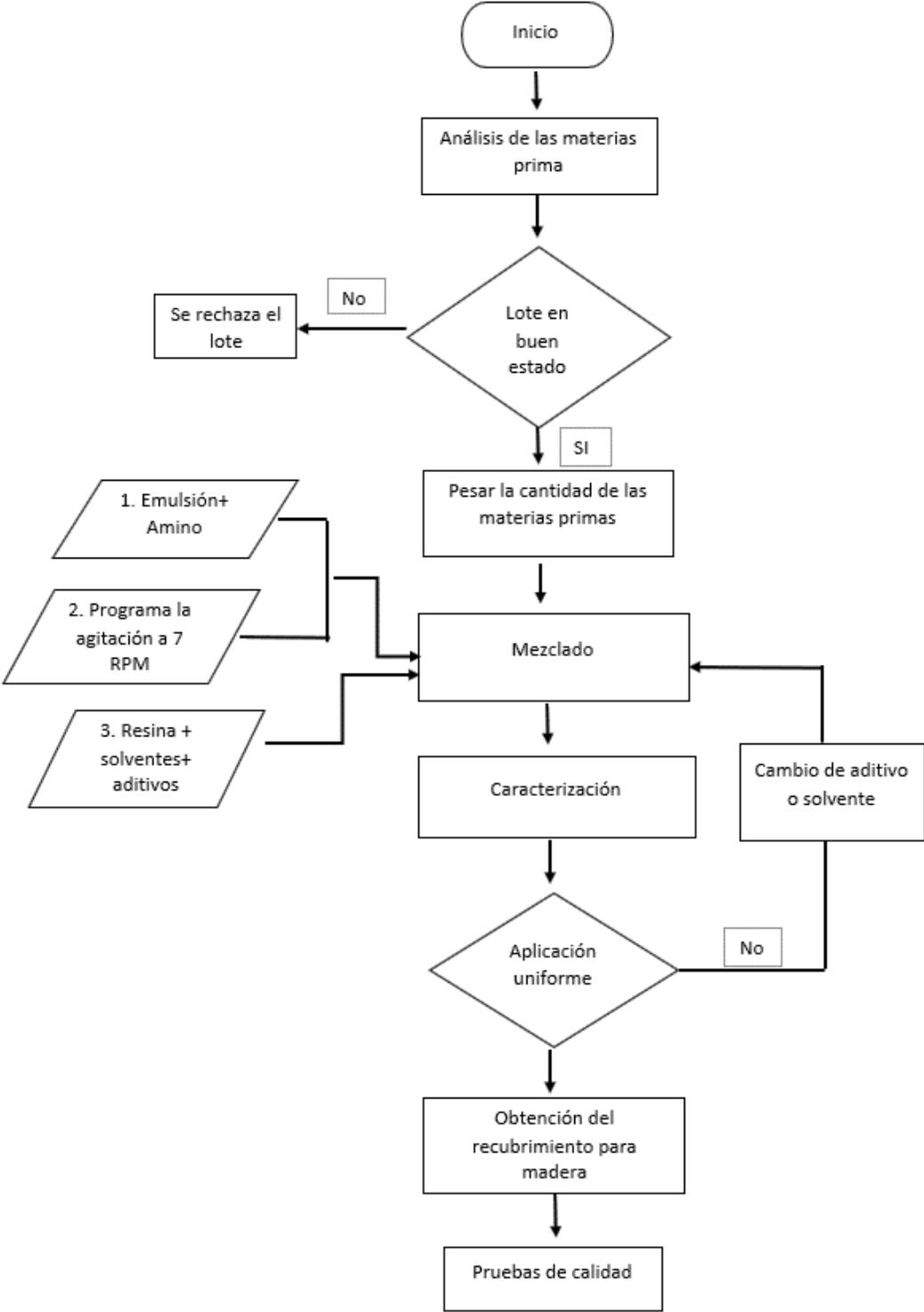


**Fuente:** Pinturas, Barnices y Afines (Composición, formulación y caracterización). Procedimiento operativo para fabricar pinturas al agua. Disponible en: <http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>.

Por medio de la caracterización de los ensayos permite establecer si la combinación de las sustancias ocurre la reticulación del recubrimiento, de acuerdo a lo anterior define si la formulación planteada funciona para desarrollar una laca catalizada en sistema base acua. Continuando se procede a la preparación de las láminas donde se aplicara el producto final, debe estar totalmente lisa, libre de polvo y sustancias, la porosidad de la madera no permite que el recubrimiento se adhiera al sustrato. Una vez listas las láminas se realizan las aplicaciones por medio de una pistola de aire comprimido y pasada las 72 horas del tiempo de secado se realizaron pruebas de brillo, adherencia, dureza, resistencia química para ser comparada con las lacas comerciales<sup>41</sup> este proceso se observa en la ilustración 14.

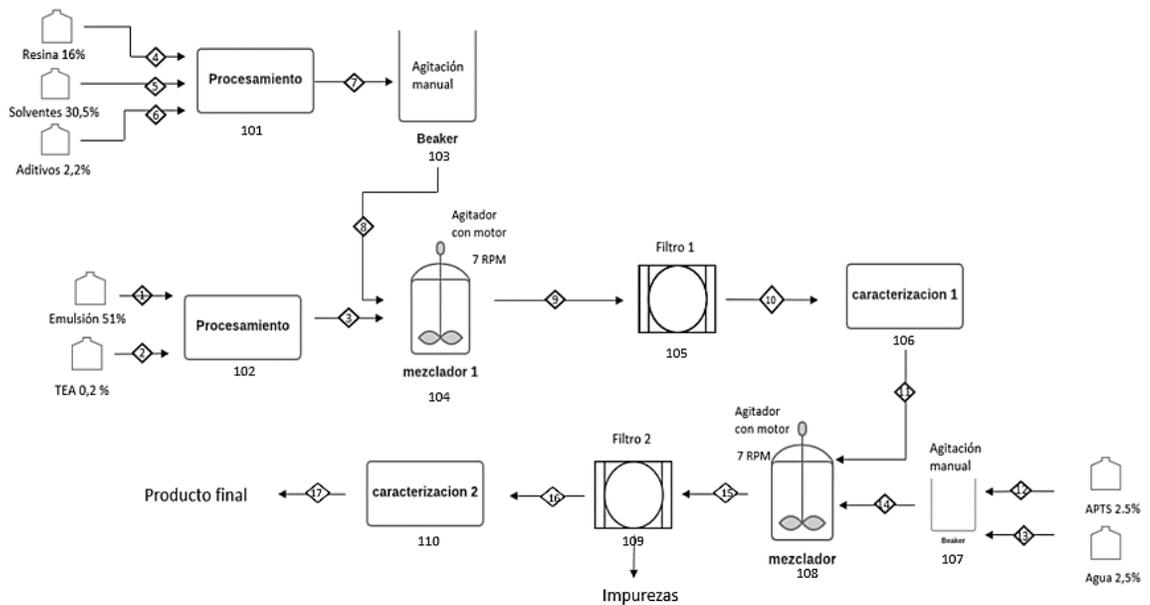
<sup>41</sup> ROJAS MORALES y TORRES GOMEZ. Op. Cit., p. 34

Ilustración 14. Diagrama general de proceso.



Fuente: elaboración propia

**Ilustración 15.** Diagrama de proceso de producción del recubrimiento.



Corriente	Materiales	Equipo	Condiciones de operación	Nombre
1	Emulsión líquida.	101	Temperatura ambiente	Balanza analítica
2	Solvente amino líquido.	102	Temperatura ambiente	Balanza analítica
3	Mezcla de dos sustancias (corriente 1-2)	103	Temperatura ambiente	Beaker
4	Resina líquida	104	25°C	Mezclador Dispermix
5	Solventes (metanol, agua, monoetilenglicol).	105	Temperatura ambiente	Filtro de papel
6	Aditivos (tensapol L61, BYK 055,346,337,333, TEGO 410, nivelante de película).	106	25°C +0,1 - 50% Humedad	Lamina de vidrio
7	pre mezcla (corriente 4-5-6).	107	Temperatura ambiente	Beaker
8	pre mezcla	108	25°C	Mezclador Dispermix
9	contenido formulado.	109	Temperatura ambiente	Filtro de papel
10	contenido filtrado	110	25°C +0,1 - 50% Humedad	Durómetro, reactivos, brillómetro, viscosímetro brookfield, Copa Ford, pHmetro
11	mezcla para ser acondicionada			
12	Ácido Paratoluol sulfónico sólido			
13	Agua			
14	Mezcla del catalizador			
15	Formulación acondicionada con catalizador			
16	Contenido formulado sin impurezas			
17	Producto terminado (laca catalizada)	<b>Nota:</b> El diagrama presentado consiste en el proceso de elaboración del recubrimiento para madera a escala laboratorio.		

**Fuente:** elaboración propia

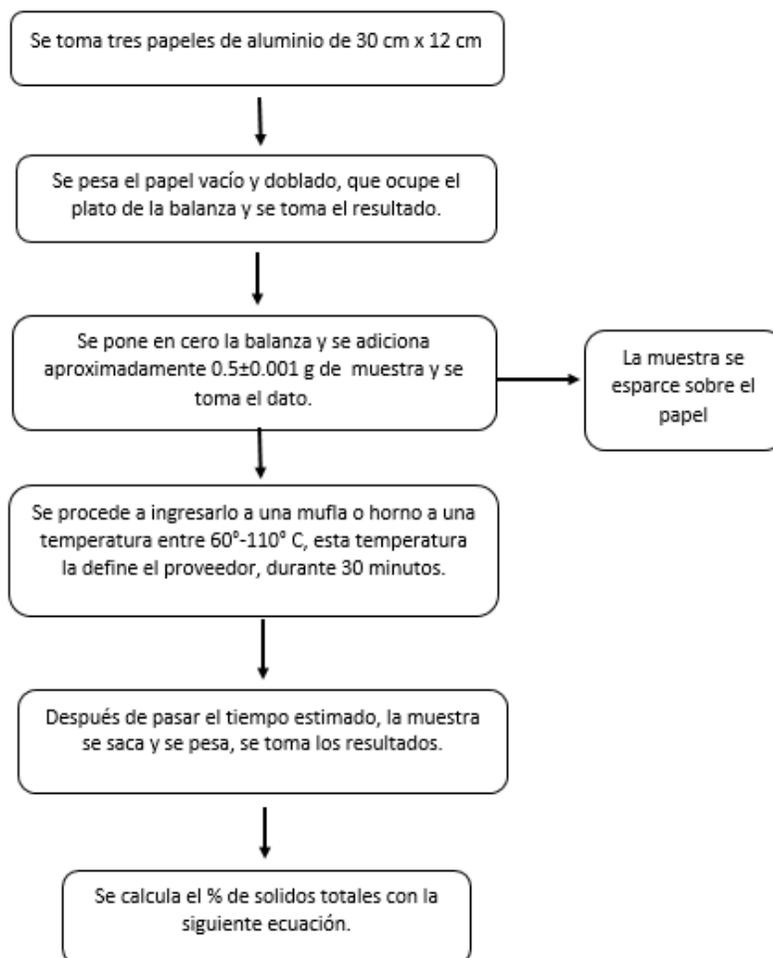
El proceso planteado en la ilustración 15, se basa del proceso en etapas de la elaboración de la laca catalizada, en la cual la operación principal es el mezclado, con este proceso se desarrolló la formulación base para elaborar la laca catalizada en sistema emulsionado.

## 2.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS

Los métodos aplicados en la caracterización de los recubrimientos para madera evalúan y analiza factores que se presentan en los recubrimientos y baja la calidad del producto conocido como ojos de pescado, cráteres, tacticidad pegajosa, etc. Algunas características que se aplican son: contenido de sólidos, viscosidad, tiempo de secado, peso por galón en copa (densidad del recubrimiento) y pH.

2.4.1 Determinación del contenido de sólidos. Es el material no volátil que se presenta después de evaporarse los solventes y aditivos al someterlos a una alta temperatura en una mufla, se basa en la norma NTC 1774 en la cual establece parámetros para analizar los sólidos en emulsiones.

**Ilustración 16.** Proceso para determinar porcentaje de sólidos en un recubrimiento



**Fuente:** elaboración propia

El porcentaje de los sólidos se calcula con la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.** Porcentajes de solidos

$$\% S = \frac{P1 - P2}{P3} * 100$$

**Fuentes:** materias primas para pinturas, emulsiones homopolimeros y copolimeros. Disponible en: NTC 1774

P1= peso de la muestra final

P2= peso del papel

P3= peso de muestra agregada

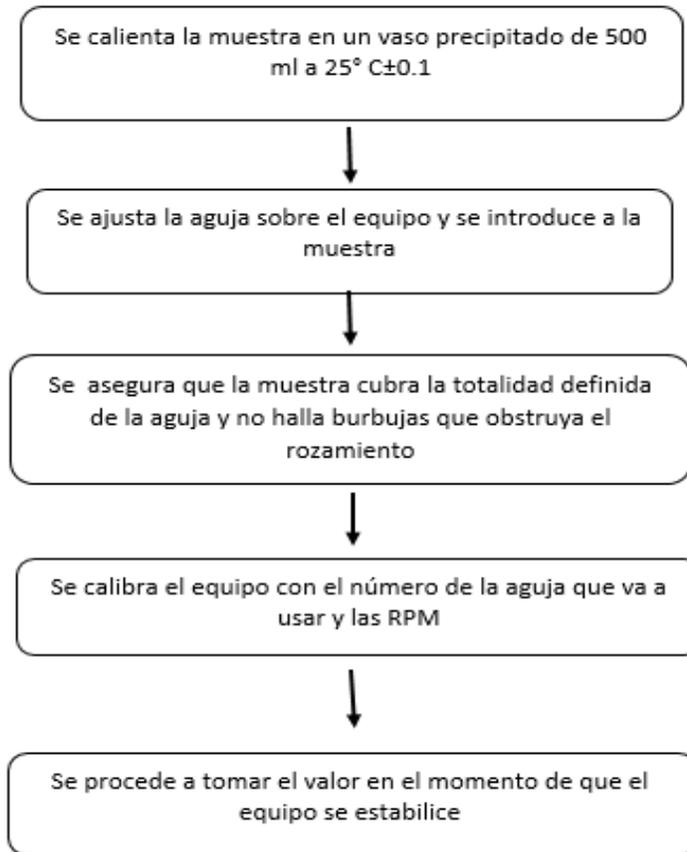
2.4.2 Determinación de la viscosidad. La viscosidad dentro de los recubrimientos define la fluidez que se tiene al momento aplicarse sobre el sustrato y el establece el espesor de la película, por esta razón se analiza dos tipos de viscosidades se trata de:

- Viscosidad Brookfield: es aplicado para todo tipo de recubrimientos y adhesivos tipo agua, una parte de la muestra se coloca en un recipiente luego se introduce la aguja en la muestra y de esta forma se obtiene el valor de la viscosidad en centipoises, el procedimientos se repite para cada ensayo<sup>42</sup>, este método es basado en la norma ASTM D2196-99 método de propiedades estándar para propiedades reologicos de materiales no newtoniano por viscosidad rotativa (tipo Brookfield).

---

<sup>42</sup> Ibid., p. 37

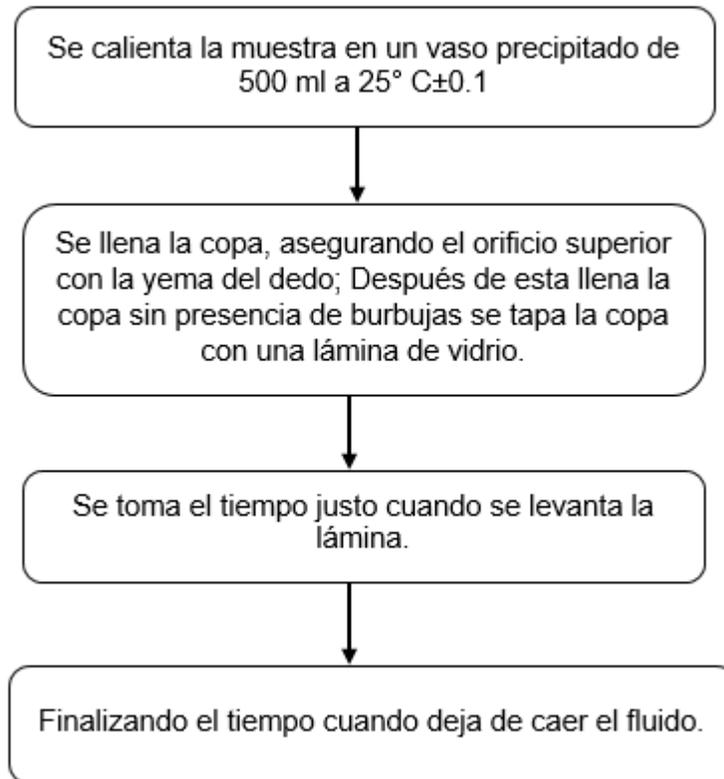
### Ilustración 17. Método para medir viscosidad Brookfield



**Fuente:** elaboración propia

- Viscosidad copa Ford. Mide la viscosidad de cizallamiento de los recubrimientos, de igual forma determina si el recubrimiento se encuentra en las condiciones para ser aplicado sobre el material, se mide en unidades de tiempo.

**Ilustración 18.** Proceso para determinar viscosidad Copa Ford.



**Fuente:** elaboración propia

2.4.3 Tiempo de secado. El tiempo de secado se realizó conforme a la norma NTC 598, en donde efectúa los métodos de: tiempo de no transferencia al tacto, tiempo libre de polvo, tiempo libre de tactosidad.

- Tiempo de no transferencia al tacto. Se debe tocar la película suavemente con el dedo, luego se toca una lámina para determinar si hay transferencia de recubrimiento.
- Tiempo al polvo. Se considera cuando la película no transfiere recubrimiento y elimina las fibras de algodón.
- Tiempo libre de tactosidad. Es el tiempo final en donde la película está totalmente adherida al sustrato, no presenta en ninguna parte del sustrato tactosidad.

2.4.4 Peso por galón en copa. Este método determina la densidad de los recubrimientos en peso por galón, se efectúa en temperatura constante, se pesa la copa vacía en una balanza analítica de tres cifras significativas, luego se pone en cero para agregar el contenido en la copa con nivel de 101.759 ml y tomar el valor de la muestra, con el resultados del peso en la copa se determina el valor de la densidad con la siguiente ecuación<sup>43</sup>:

**Ecuación 3.** Método para determinar la densidad.

$$d = \frac{X1 - X2}{X3}$$

**Fuentes:** materias primas para pinturas, emulsiones homopolimeros y copolimeros. Disponible en: NTC 1774

X1= peso de la muestra en la copa

X2= peso de la copa

X3= volumen de la copa

2.4.5 pH. Es el parámetro que define la agregación de sustancias en el sistema debido a que se ajusta el pH de acuerdo al producto que se va fabricar, la toma de datos se realiza por medio de un equipo conocido pH metro CG820 (ver ilustración 19).

**Ilustración 19.** Equipo de medición de pH en recubrimiento.



**Fuente:** elaboración propia

<sup>43</sup> MARTINEZ LEON., Op. Cit. p.50

2.4.6 Determinación de la película. Este análisis se determina por la NTC1774 en la cual establece unos parámetros para determinar el estado de la película identificando factores como: ojos de pescado, cráteres y escurrimientos, se debe llevar al cabo los siguientes pasos para esta propiedad:

1. Se escoge una lámina de vidrio con medidas aproximadas de 15 cm y 20 cm. Se limpia el vidrio con agua y jabón y luego se seca perfectamente.
2. Se coloca el vidrio sobre una superficie fija, de forma horizontal o vertical, luego se deposita una cantidad de muestra (libre de espuma) que cubra gran parte del aplicador.
3. Con el contenido de muestra sobre el aplicador, se arrastra con un movimiento uniforme no muy rápido, hasta la cobertura final de la lámina de vidrio.
4. Se observa la película húmeda y se toma el tiempo de secado, dentro de este proceso si se observa que la película presenta alguno de los factores mencionados inmediatamente se rechaza el lote.
5. Una vez seca la película, se levanta el vidrio y se aplica una pequeña presión sobre ella, para determinar la flexibilidad.

## **2.5 DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN BASE**

Para la adición de solventes se inicia probando tres solventes tipo alcohol, se busca que estas sustancias se relacionen con las resinas que se van a evaluar y determinar las formulaciones óptimas para el desarrollo de la laca catalizada. Iniciando los ensayos se probaron tres alcoholes de cadena corta conocido como metanol, etanol, isobutanol, obteniendo un mejor resultado el uso de metanol, debido a que el tiempo de secado que se obtuvo fue de 23 minutos un tiempo bajo con respecto al tiempo de etanol (28 minutos) y isobutanol (32 minutos), este presentaba más afinidad con las dos resinas usadas, es decir no se presentaba cambios de fases, caso contrario como ocurre al añadir isobutanol.

Por consiguiente, se empelaron diferentes ensayos, con el uso de sustancias que fueran miscibles con las dos resinas que se comentó en el numeral 2.1, para establecer las iteraciones que ocurren al combinar las sustancias con las resinas evaluadas. Se escogerán las formulaciones base, con la ayuda de la caracterización de los recubrimientos y el curado del sistema.

Se realizaron varios ensayos tomando como base la dosificación mostrada en la tabla 3 que se encuentra en el numeral 2.3, que plantea la patente Roshield para la agregación de sustancias y aplicando el proceso metodológico que se comenta en

el numeral 2.3 para desarrollar la laca catalizada en sistema base acuosa. Posteriormente se aplica la caracterización del recubrimiento después de finalizar el proceso de mezclado, aplicando las siguientes propiedades como: determinación de película, el tiempo de secado, y pH, de esta forma se da inicio a los ensayos y error para establecer la formulación base y evaluar el recubrimiento para madera. Parte de las sustancias que se tuvieron en cuenta dentro de los ensayos, son tomados de la patente nombrada como emulsiones 1024 Roshield, de igual forma del proyecto de investigación Martínez (2009) y el catálogo de aditivos BYK para recubrimientos, con el fin de obtener una mezcla sin cambios de fases, dando a lugar la reticulación del sistema.

- Ensayo 1. En este ensayo se decide agregar al contenido formulado para la laca catalizada los siguientes componentes: tensapol L61, mono etilenglicol, Tego 410, de esta forma se establece el contenido total para desarrollar el recubrimiento en base acuosa como se evidencia en la tabla 4 en el numeral 2.3, durante el proceso de mezclado se evidencia el comportamiento de esta operación y finaliza con la caracteriza el recubrimiento. Las funciones aportadas por los componentes son:
  - Antiespumante
  - Reductor de tensoactividad
  - Modificador del pH
  - Reológico de viscosidad

**Tabla 4.** Componentes del ensayo 1.

Materias primas	% contenido en peso	
Emulsión acrílica	51	
TEA (trietanolamina)	0.2	
Pre mezcla		
Resina	16	
Metanol	10	
Mono etilenglicol	0.5	
Agua	20	
Tensapol L61	0.5	
Tego 410	0.5 tego	0.5 MPA
BYK 346	0.3	
BYK 337	0.2	
Nivelante de película	0.3	

**Tabla 4.** (Continuación)

Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

Inicialmente se estableció el peso total para la dosificación de las sustancias de 200 g, en la cual se aplicó la ecuación de conversión (ecuación 1) que se mostró en la metodología en el numeral 2.3, junto con el porcentaje de las sustancias que se evidencia en la tabla 3, de esta manera se obtiene la cantidad en peso (gramos) que se dosificara en un recipiente plástico continuando con la agitación en un tiempo de 15 min para la homogenización de las sustancias. Durante el tiempo de mezclado se notó una formación mínima de espuma, en la cual se elimina por el proceso de filtrado, dando pérdida del contenido total, se pesa el contenido filtrado encontrando una pérdida de 3.5 gramos. Continuando con la caracterización de la mezcla, se determina el estado de la película formada, arrojando el resultado de una película fina con alto brillo en un tiempo de secado de 17 min 06 seg y un pH de 3.11.

- Ensayo 2. En este ensayo se decide probar el funcionamiento de otra sustancia amina que permite modificar el pH de sistema y aumento en la viscosidad, se trata del AMP-95 este solvente es usado para fabricación de pinturas vinílicas, y el contenido a dosificar para este ensayo se evidencia en la tabla 6. Se tomará la totalidad de los 200 g y se determina la cantidad dosificada por cada compuesto. Las funciones de las sustancias involucradas en este ensayo son:
  - Antiespumante
  - Solvente reticulante
  - Reductor de tensoactividad
  - Modificador del pH
  - Reológico de viscosidad

**Tabla 5.** Componentes para el ensayo 2.

Materias primas	% contenido en peso	
Emulsión acrílica	51	
AMP-95	0.2	
Pre mezcla		
Resina	16	
Metanol	10	
Mono etilenglicol	0.5	
Agua	20	
Tensapol L61	0.5	
Tego 410	0.5 tego	0.5 MPS
BYK 346	0.3	
BYK 337	0.2	
Nivelante de película	0.3	
Catalizador		
Catalizador	2.5	
Agua	2.5	

**Fuente:** elaboración propia

Con la dosificación de la mezcla en el recipiente plástico se aplica la operación de mezclado con tiempo de agitación 15 min, durante el tiempo de agitación se evidencia una formación de espuma, en la cual se aplica el proceso de filtrado y procede a pesar la muestra filtrada arrojando como perdida 20.4 g; se analiza la película obteniendo una formación fina sin obtener el tiempo de secado, la tacticidad de la película es pegajosa, por lo tanto se descarta el contenido dosificado de este ensayo por lo que no se obtiene el resultado del curado total del sistema.

- Ensayo 3. Para este ensayo se añade a la formulación las siguientes sustancias: BYK 055 (con función de tensoactivo y antiespumante), AMP-95, con acetato de etilenglicol, se decide probar este nuevo solvente glicol ya que el anterior ensayo se obtuvo tacticidad pegajosa, con la adición de estas sustancias se determina si hay iteración entre el contenido, descartando así el uso o combinación en este caso de los glicoles con los aminos. los solventes glicoles son miscibles en agua y los componentes usados en este ensayo se evidencia en la tabla 6.

**Tabla 6.** Componentes para el ensayo 3

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
AMP-95	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Acetato de etilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 055	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

En este ensayo se presenta formación de espuma como se evidencia en los anteriores ensayos, en la cual se procede a filtrar la mezcla y pesar el contenido filtrado arrojando pérdidas de 32.5 g. los resultados obtenidos en la caracterización de la película, es una formación de película fina sin obtener el tiempo de secado, se presenta tacticidad pegajosa. Por lo tanto, se descarta el contenido de este ensayo, esto quiere decir que el BYK 055 no actuó bien con el AMP- 95, no tiene relación los componentes mencionados con el contenido formulado en los ensayos 2 y 3, no se obtuvo el curado del sistema.

- Ensayo 4. En este ensayo se decide agregar TEA, monoetilenglicol, mezclado con BYK 055 con el objetivo de corregir la problemática (formación de espuma) que se evidenció en el anterior ensayo, los resultados que se esperan es que con este solvente haya una mejor relación en el contenido formulado y reducir la espuma formada. Se toma el peso total de 200 g para la dosificación del nuevo contenido que se observa en la tabla 7.

**Tabla 7.** Componentes para el ensayo 4.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Monoetilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 055	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

Las observaciones que se obtuvieron en este ensayo fueron una reducción de la espuma, en la cual se tomó el peso del contenido filtrado obteniendo como pérdida 1.7 g del contenido total. Se caracterizó la película, obteniendo una película fina con un tiempo de secado de 27 min 28 seg y un pH de 2.40, se obtuvieron los resultados esperados, con respecto a la relación de las sustancias, hay una buena interacción entre ellas, logrando la reticulación del sistema.

- **Ensayo 5.** Debido a la buena actuación del ensayo anterior, se decide probar otro aditivo que tiene afinidad con las emulsiones aportando aspectos reológicos a los sistemas emulsionados. Dentro de las sustancias que se encontraba en la empresa se halló el BYK 428, este reológico, no solo actúa como antiespumante también aporta propiedades como aumento de la viscosidad, dentro del catálogo se recomienda añadirse en una relación 50:50 con agua<sup>44</sup>. Se toma un peso total de 200g, en la tabla 8 se evidencia el contenido utilizado para este ensayo.

<sup>44</sup> BYK aditivos & instrumentos. BYK 428 [En línea]. Disponible en: <https://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/41540/1346/MITM02287.pdf>

**Tabla 8.** Componentes para el ensayo 5.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Mono etilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 428	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

Las observaciones obtenidas dentro aspectos que se están evaluando, se determina una baja formación de espuma con pérdida del contenido filtrado con respecto al fina de 1.4 g, en la formación de película se observa cráteres u ojo de pescado sin obtener tiempo de secado, por lo tanto, este aditivo no actúa bien dentro de la formulación del contenido en este ensayo, se descarta el uso del este aditivo, por no presentar reticulación con el sistema.

- Ensayo 6. En este ensayo se optó por probar otro tipo de aditivo del catálogo de la línea BYK 024, es un antiespumante de silicona, utilizado en sistemas base acuosa, se implementó con el objetivo de buscar mejoras en el comportamiento de las sustancias dentro de la formulación. El nivel recomendado para ser incorporado dentro de las formulaciones es de 0.1-1%, se pre diluye con MPA en una relación 50:50<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> BYK aditives & intruments. BYK 024 [En línea]. Disponible en: <https://www.palmerholland.com/Assets/User/Documents/Product/41392/4590/MITM02138.pdf>

**Tabla 9.** Componentes para el ensayo 6.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Monoetilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 024	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

El resultado obtenido dentro de este ensayo, se obtuvo una reducción de espuma como se evidenció en los ensayos 4 y 5 obteniendo una pérdida de 2.3 g, en la cual se procede a caracterizar la película obteniendo uniformidad con un tiempo de secado de 24 min 24 seg y un pH de 3.01. En la NTC 598 establece dentro los parámetros para determinar el tiempo de secado aplicar presión sobre la película, en la cual se levanta dejando cráteres en la película formada, por lo que se descarta el contenido formulado en este ensayo.

- Ensayo 7. En este ensayo se decide probar el aditivo BKY 055 junto con el acetato de etilenglicol, para determinar si existe iteración entre estos dos componentes junto con las resinas aplicadas debido a que en el ensayo 4 se probó monoetilenglicol y se obtuvo una buena relación en el contenido formulado, de esta forma en contenido para este ensayo se establece en la tabla 10.

**Tabla 10.** Componentes para el ensayo 7.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Acetato de etilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 055	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

Se obtuvo una mezcla con poca formación de espuma (3.1 g), obteniendo una película uniforme en un tiempo de secado de 14 min 27 seg y un pH de 1.86, la película presentaba buen brillo, concluyendo buena relación en este contenido (si hay curado del sistema), este ensayo tiene relación con el ensayo 3 (AMP-95 y Acetato de etilenglicol) estableciendo que existe mejor relación entre la TEA con los glicoles. El ensayo se descarta por obtener un bajo pH, lo que implica en añadir más sustancias para modificar el pH del sistema.

- Ensayo 8. En este ensayo, se agrega otro tipo de aditivo que pueda combinar con este tipo de sistema, se encuentra en el catálogo de la marca BYK, denominado como BYK 333, este aditivo de composición polidimetilsiloxano modificado con polieter, aporta las siguientes características proporcionados a sistemas:<sup>46</sup>
- Baja la tensión superficial
- Humecta el sustrato y evita la formación de cráteres.

<sup>46</sup> BYK aditives & intruments. BYK 333 [En línea]. Disponible en: <https://mychem.ir/uploads/tds/19079.pdf>

Se decide probar el comportamiento del sistema, con el objetivo de que se llegue a encontrar la mejor relación que exista entre los componentes que se añade.

**Tabla 11.** Componente para el ensayo 8.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
monoetilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.5
BYK 333	1
BYK 346	0.3
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados obtenidos con respecto a la formación de espuma, se presenta una reducción de espuma en la cual se pesa las pérdidas del contenido total con respecto al contenido filtrado se obteniendo una pérdida de 1.0 g. Dentro de la caracterización de la película se determina uniformidad de la película con un tiempo de secado de 13 min 09 seg y pH de 2.13.

- Ensayo 9. De acuerdo a los resultados que se obtuvo en el ensayo anterior, se combina este aditivo con el acetato de etilenglicol, esta prueba se realiza con el fin de establecer las formulaciones base que se evaluarán en este proyecto, por lo tanto el contenido formulado de este ensayo se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Componentes para el ensayo 9.

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEA	0.2
Pre mezcla	
Resina	16
Metanol	10
Acetato de etilenglicol	0.5
Agua	20
Tensapol L61	0.3
BYK 333	1
BYK 346	03
BYK 337	0.2
Nivelante de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo al análisis que se aplica en este ensayo se concluye que la formación de espuma se presenta cuando el acetato de etilenglicol se añade dentro de la formulación, se pesa el contenido de filtrado arrojando 3.2 g de pérdida, estas pérdidas no son favorable al momento de desarrollar un producto debido a que se incrementa el costo de producción.

De acuerdo al análisis aplicado por cada ensayo en la cual el reporte se establece en la tabla 13 (la sigla NA significa No se Aplica), se decide escoger tres formulaciones que obtuviera el curado del sistema y no presentara alta pérdida del material formulado (0-5%), en la cual cumpliera con el requisito de película fina, y un pH óptimo (2-4) como establece la patente (emulsión 1024 Rosshield). También se tuvo en cuenta los tiempos de secado, debido a que este tipo de lacas se tarda en obtener la velocidad de evaporación por tratarse de un sistema emulsionado basado en agua, por esta razón se escoge los ensayo formulados con el solvente monoetilenglicol, los aditivos BYK (055-333) y Tego 410. Las formulaciones quedan especificadas de la siguiente manera:

- Ensayo 1= formulación 1
- Ensayo 4= formulación 2
- Ensayo 8= formulación 3

**Tabla 13.** Análisis reportados de los ensayos.

<b>Ensayos</b>	<b>% de pérdidas</b>	<b>pH</b>	<b>Cambios realizados</b>	<b>Observaciones</b>
1	1.75	3.11	Se agregó a la formulación: tensapol L61, mono etilenglicol, Tego 410	Presenta poca pérdida de material, con un pH óptimo para este tipo de sistemas.
2	10.2	NA	Se comprueba la formulación con otro solvente amino (TEA) por AMP-95.	No se pudo obtener tiempo de secado, por lo que no se estableció en el análisis experimental.
3	16.25	NA	Se comprueba el comportamiento del BYK 055, AMP-95 con un solvente glicol (Acetato de Etilenglicol)	No se obtuvo tiempo de secado, por lo tanto no se aplica en el análisis experimental.
4	0.85	2.40	Se decide cambiar el AMP-95 por TEA comprobar con BYK 055 y mono etilenglicol.	Se obtuvo una baja pérdida de material con un pH óptimo para este tipo de sistema.
5	0.7	NA	Se decide cambiar el BYK 055 por el BYK 428 y comprobar el comportamiento.	No se obtuvo tiempo de secado por lo tanto no se establece en el análisis experimental.
6	1.15	3.01	Se cambia el BYK 428 con el BYK 024	Presenta deformación en la película después de secarse sobre el sustrato.

**Tabla 14.** (Continuación)

Ensayos	% de pérdidas	pH	Cambios realizados	Observaciones
7	1.55	1.86	Se comprueba el comportamiento del BKY 055 junto con el acetato de etilenglicol.	Se obtiene un pH bajo por lo que se requiere modificar con adición de otro tipo de sustancia.
8	0.5	2.13	Se comprueba el BYK 333 reemplazando el BYK 055.	Se obtiene una baja pérdida de material con un pH óptimo para este tipo de sistema.
9	1.6	NA	Se comprueba el comportamiento del BYK 333 con acetato de etilnglicol.	No se obtiene tiempo de secado, por lo tanto se descarta para análisis experimental.

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a las formulaciones establecidas, se aplica en tres tipos de madera para determinar el tiempo de secado con la muestra estándar, esta muestra se trata de un barniz bajo olor con tecnología acrílica.

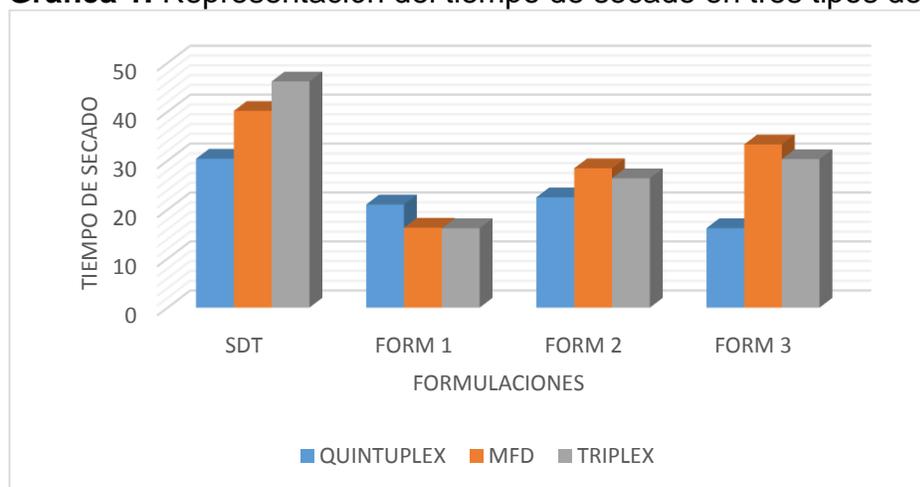
**Tabla 14.** Tiempo de secado de las formulaciones base.

	Muestra estándar	FORM 1	FORM 2	FORM 3
QUINTUPLEX	30,4	21,04	22,51	16,22
MFD	40,18	16,3	28,44	33,32
TRIPLEX	46,2	16,22	26,4	30,32

**Fuente:** elaboración propia

El tiempo de secado tomado en la tabla 14 se efectuó dentro de los laboratorios, a temperatura ambiente y humedad relativa entre 40-50% de acuerdo a las condiciones del clima. Estos tiempos son graficados con el fin de establecer un análisis para proceder a formar el diseño de experimento, que evaluara el comportamiento de las formulaciones.

**Gráfica 1.** Representación del tiempo de secado en tres tipos de madera.



**Fuente:** elaboración propia

El medio en que se aplica puede presentar factores en el secado de un recubrimiento, en el caso de la laca para madera, este factor se debe a que gran parte del sustrato tiene un 5% de humedad, lo que hace que tarde en secarse, el agua presenta bajo índice de evaporación comparado con un solvente orgánico (tabla 15).<sup>47</sup>

**Tabla 15.** Propiedades Fisicoquímicas de algunos solventes orgánicos.

Tipos de solventes	Índice de evaporación nBut.Acet 100
Agua	75
Tolueno	240
Aetona	770
Metil- isobutilo	165
Acetato de Isobutilo	174
Alcohol Isobutilico	80
Butil-cellosolve	6

**Fuente:** Pinturas, Barnices y Afines (Composición, formulación y caracterización). Pinturas hidrosolubles. Disponible en: <http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>.

<sup>47</sup> ALONSO. Op. Cit., p. 11

Finalmente se aplicaron otras propiedades en las formulaciones que caracteriza el recubrimiento comentado en el numeral 2.3, los resultados se observan en la tabla 16.

**Tabla 16.** Caracterización de las formulaciones base.

	Viscosidad brookfield	pH	Viscosidad copa Ford		Contenido de solidos	Densidad peso por galón
Formulación 1	21.5 cP	2.62	11 seg	45 milseg	40.63%	3.967 kg/gal
Formulación 2	16.5 cP	2.87	12 seg	74 milseg	40.33%	3.562 kg/gal
Formulación 3	18.9 cP	2.51	11 seg	12 milseg	40.69%	3.458 kg/gal
Formulación estándar	546.8 cP	7.98	54 seg	88 milseg	41.08%	5.786 kg/gal

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados obtenidos con respecto a los ensayos realizados para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se determina que al combinar las dos resinas ocurre una reacción entre ellas, en la cual consiste en el entrecruzamiento de polímeros que estas dos sustancias contienen, con el fin de establecer el curado del recubrimiento. De acuerdo a lo planteado anteriormente se define tres tipos de formulaciones con combinación de aditivos reológicos de diferentes funciones que le aporta a recubrimiento, en la cual se realizaron diferentes ensayos que permitiera constatar la combinación de todas las sustancias sin que interrumpa la reacción de las resinas, se plantea el proceso experimental a escala laboratorio en la cual se establecer la principal operación del proceso (mezclado) con las condiciones adecuadas para obtener una sola fase y se tuvo en cuenta una formulación estándar en la que se realiza las comparación en la caracterización del recubrimiento, esto permite establecer el desempeño de las formulaciones y los cambios realizados que se le aplica al recubrimientos, en la tabla 16 se reporta los datos obtenidos en la caracterización de las formulaciones escogidas con respecto a la formulación estándar.

### 3. DISEÑO DE EXPERIMENTO

Este capítulo tratará el método planteado del diseño experimento que abarcará en el análisis producido por los efectos en la variación de la composición del agua dentro de cada formulación (10%, 15% y 20%), arrojando las siguientes variables de respuestas: el tiempo de secado, viscosidad brookfield, con el fin de verificar el mejor recubrimiento formulado.

#### 3.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA DEFINIR EL DISEÑO DE EXPERIMENTO

Antes de efectuar el planteamiento del diseño experimento sobre los factores estudiados, se realizaron ensayos que consistían en la variación del porcentaje de cada sustancia involucrada, dentro de las formulaciones escogidas en el desarrollo de la laca catalizada en sistema base acuosa, con el fin de establecer los límites superior e inferior de aprobación por cada sustancia constatando la reticulación del sistema. Por lo tanto, se definió que el cambio solo se puede efectuar en la variación de la concentración entre el agua y metanol.

De acuerdo a los factores estudiados, las funciones de respuesta abarcan en la caracterización de los recubrimientos, la cual da la pre aprobación del recubrimiento, teniendo en cuenta que cada variable de respuesta dentro de la caracterización es independiente entre ellas, pero los resultados varían de acuerdo a la agregación de sustancias o modificación de las formulaciones. Con la implementación del diseño experimento se permite analizar factores que incurren en los cambios de la variación de los porcentajes entre metanol y agua siendo este los porcentajes más altos dentro de las formulaciones, hallando las posibilidades de encontrar los resultados más aproximados para verificar el recubrimiento de acuerdo a la viscosidad y el tiempo de secado.

El término diseño de experimento hace referencia a una amplia gama de técnicas estadísticas que permite comparar la igualdad o semejanza entre más de dos medias o de que no existe efecto de los tratamientos utilizados, este método sirve para probar la hipótesis planteada<sup>48</sup>. Por lo tanto, se plantea las siguientes hipótesis para este proyecto.

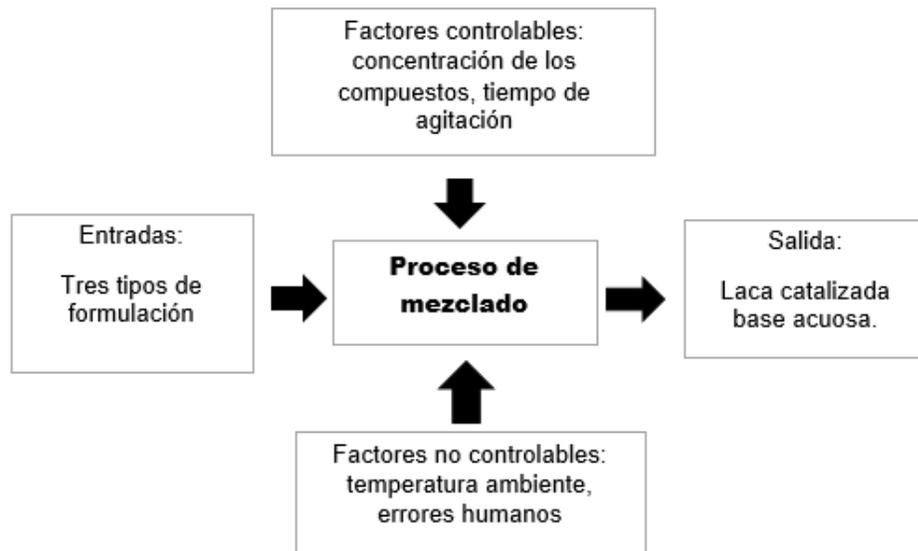
- **Hipótesis nula.** Con el cambio en las concentraciones se espera que las variables de respuesta no afecten la película (sin escurrimiento).
- **Hipótesis alternativa.** El comportamiento de las variables de respuesta con los tratamientos, afecta la flexibilidad de la película.

---

<sup>48</sup> Diseño de experimento, curso práctico. Aspectos básicos Capitulo 1. [en línea]: [https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan\\_dis\\_manual.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan_dis_manual.pdf)

Dentro de la selección del diseño se plantea entradas, salidas y factores del proceso involucrado en el desarrollo de la laca catalizada base acuosa, representado en la ilustración 20.

**Ilustración 20.** Esquema experimental para plantear el recubrimiento base acuosa.



**Fuente:** elaboración propia

En este desarrollo experimental las variables a estudiar son las formulaciones como factor A y el % de concentración de A:M es el factor B, en la tabla 18 se evidencia las proporciones planteadas para el desarrollo del diseño factorial  $3^2$

Las relaciones planteadas en el factor B como se muestra en la tabla 17, parte de los límites que define el cambio en las concentraciones para agua metanol como se comentó al principio del este capítulo, en la cual la relación 1:2 significa la agregación del 10% de agua y 20% de metanol, la relación 1:1 significa la cantidad agregada de 15% agua y 15% metanol y por último la relación de 2:1 significa la agregación del 20% de agua y 10% metanol.

**Tabla 17.** Variables y niveles para obtener las variables de respuesta.

	<b>Niveles</b>		
<b>Variables</b>	-1	0	1
<b>A:</b>			
<b>formulaciones</b>	1	2	3
<b>B: relación en</b>			
<b>% de</b>			
<b>concentración</b>	1:2	1:1	2:1
<b>Agua: metanol</b>			

**Fuente:** elaboracion propia

Las aplicaciones para el tiempo de secado, se realizaron en tres tipos de madera conocidas como: quintuplex, MDF y triplex. Dentro de esta parte experimental, solo se preparó una muestra por cada formulación este se debe que la resina hidrosoluble producida en preflex pasa a planta a proceso industrial y la formulación se modifica, debido a los cambios de lote no se puede efectuar replicas, excepto en la toma del tiempo de secado.

Para la toma de datos del tiempo se realiza a temperatura ambiente con humedad relativa de  $45 \pm 0.01$  en láminas de madera con superficie lisa como se comentó en el proceso metodológico en el numeral 2.3, la viscosidad se efectuó en el viscosímetro brookfield y los datos obtenidos para el análisis del ANOVA se observa en la tabla 18 y los resultados son obtenido por medio del programa *statgraphics centurión*.

**Tabla 18.** Variable de respuesta para las formulaciones sin espesante.

Numero de experimento	Factor A (Formulaciones)	Factor B (relación en los porcentajes A:M)	Tiempo se secado (min) en quintuplex	Tiempo de secado (min) en MFD	Tiempo de secado (min) en triplex	Viscosidad cP
1	-1	1:2	35.13	35.26	36.56	27.2
2	0	1:1	28	26.50	27.15	31.0
3	1	2:1	48.23	48.52	47.39	29.8
4	-1	1:2	40.50	33.14	40.12	14.6
5	0	1:1	40.02	39.45	41.51	30.6
6	1	2:1	36.37	24.50	26.24	34.2
7	-1	1:2	50.07	43.33	44.23	41.2
8	0	1:1	33.18	45.58	41.45	36.8
9	1	2:1	40.32	41.53	40.30	29.4

**Fuente:** elaboración propia

La denominación -1, 0, 1, son establecidos por cada porcentaje (%) en relación de la concentración, de esta manera se agrega al software arrojando los posibles resultados óptimos del análisis de varianza por el programa *statgraphics centurión*, prediciendo el tiempo de secado mínimo estimado en las tablas quintuplex, MFD y triplex, de esta manera se determina el dato que se considera representativo o se aproxime a alguna de las hipótesis planteadas en el diseño experimental.

Dentro del análisis de varianza que arroja el programa, se debe tener en cuenta tres valores para la validación de datos experimentales con respecto a las variables de respuesta, con estos datos se determinan las correlaciones entre las hipótesis planteadas en diseño experimental, los valores son:

- **Valor-P.** Se define como el nivel de significancia menor que llevaría a rechazar la hipótesis nula, por lo tanto este valor debe ser menor a 0.05 (5%) para poder corroborar que entre las variables de entrada o los factores existentes en algún grado de asociación con respecto a las variables de respuesta, en caso contrario si dicho valor es mayor a 0.05 es porque no se puede comprobar que existe asociación entre dichas variables y por lo que se rechaza la hipótesis nula<sup>49</sup>.

<sup>49</sup> ALARCON GARZON, Daniel Felipe y ESTRADA ANDRADE Andrea Carolina. Desarrollo de un tensoactivo catiónico para fibras acrílicas mediante el proceso de sol-gel a nivel de laboratorio. Bogotá D.C.:Fundación Universidad de América. Programa de ingeniería química. 2016. p. 56

- **R-cuadrado.** Este valor permite saber qué porcentaje de variabilidad existe entre el modelo estimado en el análisis y las variables de respuesta, además permite al investigador conocer que limitaciones del modelo estimado llegue a explicar los datos observados de las respuestas, el rango del R-cuadrado va de 0%-100%.<sup>50</sup>
- **Valor óptimo.** Es el valor de referencia analizado por el programa para dar la aceptación o aproximación a los valores experimentales<sup>51</sup>.

**Tabla 19.** Análisis de varianza para el tiempo de secado.

<b>Variable de respuesta</b>	<b>Valor- P</b>	<b>R-cuadrado</b>	<b>Valor óptimo</b>
<b>Tiempo de secado quintuplex</b>	0,1558	3,87451	39,9216
<b>Tiempo de secado para MFD</b>	0,4532	0,0	22,6693
<b>Tiempo de secado para triplex</b>	0,3977	7,98288	23,7939
<b>Σ Promedio</b>			<b>28.7949</b>

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo al análisis aportado de los valores R- cuadrado y valor-P, junto con los resultados obtenidos por el modelo estadístico de Dubin- Watson en el programa statgrahipcs centurión, se concluye que:

<sup>50</sup> Ibid., p. 56

<sup>51</sup> Ibid., p. 56

**Cuadro 2.** Análisis de los tratamientos para las formulaciones sin espesante.

<b>Tiempo de secado en Tabla quintuplex</b>	El valor-P es mayor al 5,0%, indica que no hay una relación significativa entre los niveles y los factores combinados involucrados dentro de la experimentación.
<b>Tiempo de secado en Tabla MFD</b>	Para este medio aplicado se estima que el valor-P es mayor a 5%, indicando que no hay relación significativa entre las variables y los factores.
<b>Tiempo de secado en Tabla Tripe</b>	En este medio, arrojo que el valor-P es mayor al 5% por lo tanto no relación significativa entre las variables involucradas y los factores.

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza sobre la posible respuesta de la viscosidad son los siguientes:

- Valor óptimo = 30,5853 cP
- Valor-P= 0,3960
- R-cuadrática= 7,75792

Mediante la estimación del modelo matemático aplicado dentro del análisis de varianza, reporta que el Valor-P es mayor al 5%, no hay interacción significativa dentro de las variables y los niveles.

De acuerdo a los resultados de referencia por el programa *statgraphics centurión*, se determina que la formulación que más aproxima a los datos experimentales para establecer la formulación base en el desarrollar una laca catalizada hidrosoluble, mediante una viscosidad de 30.6 cP y un tiempo mínimo de secado de 22 min 66 seg, es la formulación 1 con la relación 1:1 de A:M, de esta manera se concluye que las interacciones del contenido en la formulación puede llegar a obtener un espesor que proteja la superficie, obteniendo tiempo de secado menores al tiempo de la muestra estándar.

Con el fin de mejorar la consistencia de las formulaciones por medio de aumento en la viscosidad y encontrar relación con las variables que se reportó por el ANOVA en tabla 19, con los datos experimentales de la tabla 18 analizados por el software, se adiciona 5 g de espesante Tafigela a cada formulación que cuenta con los mismo porcentajes de las concentraciones como se comentó al inicio de esta sección, en la cual los datos obtenidos para el nuevo análisis de varianza se presentan en la tabla 20.

**Tabla 20.** Variables de respuesta con adición de espesante.

Numero de experimento	Factor A (Formulaciones)	Factor B (relación en los porcentajes A:M)	Tiempo de secado (min) en quintuplex	Tiempo de secado (min) en MFD	Tiempo de secado (min) en triple	Viscosidad (cP)
1	-1	1:2	44,59	44,59	48,09	44,8
2	0	1:1	52,10	52,10	58,02	46,0
3	1	2:1	54,15	53,18	56,14	45,6
4	-1	1:2	32,25	40,07	40,82	44,8
5	0	1:1	48,36	49	54,09	45,6
6	1	2:1	45,02	44,48	42,35	48,0
7	-1	1:2	53,05	55,04	58,47	51,2
8	0	1:1	57,20	53,25	46,32	48,4
9	1	2:1	40,10	41,05	43,24	51,2

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados óptimos dentro de análisis de varianza arrojados por el programa *statgraphics centurión* para el tiempo de secado se presenta en la tabla 21.

**Tabla 21.** Análisis de varianza para el tiempo de secado con espesante.

Variable de respuesta	Valor- P	R-cuadrado	Valor óptimo
Tiempo de secado quintuplex	0,2372	0,0	28,6829
Tiempo de secado para MFD	0,0771	19,5143	49,6965
Tiempo de secado para triplex	0,1404	10,5989	44,1243
<b>Promedio</b>			<b>40.8345</b>

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a los datos reportados por análisis de varianza para las formulaciones con adición de espesante se establece:

**Cuadro 3.** Análisis de los tratamientos para las formulaciones con espesante.

<b>Tiempo de secado en Tabla quintuplex</b>	El valor-P es mayor al 5,0%, indica que no hay una relación estadística entre los niveles y los factores, lo que confirma este análisis es aceptable de acuerdo al valor R-cuadrado, ya que reporta 0% de relación dentro de la experimentación.
<b>Tiempo de secado en Tabla MFD</b>	En este medio se estima que el valor-P es mayor a 5%, indicando que no hay relación significativa entre las variables y los factores y su valor R-cuadrado indica un 19% de relación experimental este es un incremento comparado con el análisis reportado en la tabla 20.
<b>Tiempo de secado en Tabla Tripe</b>	Para esta lamina se reporta que el valor-P es mayor al 5% por lo tanto no relación significativa entre las variables involucradas y los factores con un valor R-cuadrado del 10%.

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a los resultados se analiza que el aumento del tiempo de secado se ve afectado cuando se agrega espesante, dentro del análisis predice que el tiempo óptimo para este experimento es de 28,6829 min.

**Tabla 22.** Análisis de varianza para la viscosidad.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>de Cuadrado Medio</i>	<i>Valor-P</i>
A:formulaciones	34,56	34,56	0,0187
B:%concentración	2,66667	2,66667	0,3847
AB	0,16	0,16	0,8248
Error total	14,7022	2,94044	
Total (corr.)	52,0889		

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza en la viscosidad en la tabla 22, se estima que dentro de las formulaciones se presenta factores de afectación debido a una interacción de los componentes con respecto al espesante agregado, arrojando un 54,8396% de variabilidad entre el factor A con el espesante, de esta forma el valor óptimo para una viscosidad con espesante es de 71, 7747 cP, con un valor-P mayor que el 5% definiendo que no hay correlación significativas entre las variables.

Podemos definir que la formulación más aproximada con los datos reportados en el análisis de varianza, es la formulación 3 con la que establece la relación 2:1 A:M, estos datos hace cumplimiento a la hipótesis nula, definiendo que se pueden aumentar la viscosidad con el tiempo secado menor o igual a la muestra estándar agregando espesante.

#### 4. VERIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ESTABLECIDOS

Con las formulaciones definidas, se proceden a verificar la resistencia de la laca catalizada por medio de la propiedades que define la calidad del recubrimientos, estas propiedades consiste en prueba de brillo, prueba químicas y dureza, con el fin de realizar una comparación entre las formulaciones definidas, la muestra patrón y un recubrimiento en sistema base solvente.

A continuación, se caracterizará las formulaciones definidas nombrándose como:

- Formulación 1 (1:1)
- Formulación 3 (2:1)

**Tabla 23.**caracterizacion de las formulaciones establecidas.

Formulación 1 (1:1)				Formulación 3 (2:1)			
% sólidos	pH	Densidad	Viscosidad copa Ford	% sólidos	pH	Densidad	Viscosidad copa Ford
41.58	2.8	4.0429	11.76 seg	40.24	2.1	3.9761	13.88 seg
	8	kg/gal			3	kg/gal	

**Fuente:** elaboración propia

El cambio en los resultados obtenidos dentro de la caracterización de las formulaciones definida, es producto al cambio del lote en la resina, este tipo de factores de error se puede presentar en ocasiones en la industria, encontrando aumento o disminución en el rendimiento de los recubrimientos. Como se mencionó en el numeral 1.3 el aumento de solidos reduce el costo del recubrimiento, pero se obtiene viscosidades bajas, este factor ocurre dentro de las formulaciones definidas en este este proyecto de investigación, por medio del análisis aportado por el Ingeniero Jorge Arias se puede establecer que la combinación de los pesos moleculares de las tecnologías no es lo suficientemente alta para obtener una viscosidad adecuada. También se presenta factores de error en la dosificación de las materias primas, el aumento o disminución de agregación de las sustancias puede afectar los sólidos del recubrimiento la cual puede aumentar o bajar aconteciendo la reticulación del sistema.

#### 4.1 PRUEBAS DE CALIDAD

Consiste en una serie de propiedades aplicados para determinar la resistencia de los recubrimientos, por medio de unos parámetros establecidos por el fabricante o de acuerdo a las normas que especifica los estándares de aplicación sobre aspectos técnicos para determinar la calidad del producto, los parámetros aplicados en los recubrimientos para madera son: determinación del brillo, determinación de dureza, resistencia química, determinación de adhesión.

El análisis de la pruebas de calidad se llevó al cabo en la tablas de madera de 30 cm de largo con 15 cm de ancho, en la cual se aplicaron las dos formulaciones definida como formulación 1 (1:1) sin espesante y formulación 3 (2:1) con espesante, se efectuó la comparación con una laca catalizada en base solvente y la muestra estándar que se comentó en el numeral 1.6.

4.1.1 Determinación de Brillo. La NTC 592-1 especifica el método para determinar el brillo de los recubrimientos en tres geometrías, se realiza en un equipo de brillometro, dentro una cámara a temperatura ambiente y una fracción de luz que permite aumentar el rendimiento en la toma de los datos.

- **20°.** Define el brillo alto para recubrimientos como lacas, barnices y esmaltes.
- **60°.** Define el brillo medio para pinturas, lacas y barnices
- **85°.** Define el brillo bajo para recubrimientos mate como vinilos.

En esta prueba se toma en diferentes puntos de la lámina de madera con las tres geometrías, los resultados obtenidos se promedian, en la tabla 24 se reporta los datos tomados para las tres geometrías de las muestras en las formulaciones analizadas.

**Tabla 24.** Datos obtenidos del brillo en los sistemas establecidos.

<b>Geometría del equipo</b>	<b>Formulación 1 (1:1)</b>	<b>Formulación 3 (2:1)</b>	<b>Barniz corona</b>	<b>Laca catalizada base solvente</b>
<b>20°</b>	38.4	55.67	43.73	56.73
<b>60°</b>	72.8	84.33	74.23	85.73
<b>85°</b>	81.13	67.63	86.06	87.56

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo al análisis que se realiza a los datos para el brillo, se define que presenta brillo medio para todos los sistemas que se reportan en la tabla 24, el resultado es aceptado debido a que este sistema emulsionado se puede llegar obtener un recubrimiento estéticamente propicio.

4.1.2 Determinación de dureza. La aplicación de este método se establece por la norma NTC 5252 determinación de la dureza de película de recubrimientos orgánicos mediante el ensayo de lápiz. La prueba se trata de aplicar diferente escala numérica del lápiz sobre el sustrato liso con una presión lenta sobre la superficie, la numeración escalar que se debe implementar en la prueba se lleva de la siguiente manera.



- Agua destilada
- Resistencia a los vapores de agua
- Alcohol etílico (50% en volumen)
- Vinagre (ácido acético al 3%)
- Solución alcalina (clorox)
- solución acida ( toluol+isopropanol)
- solución detergentes
- un fluido liviano (xilol)
- condimentos (salsa de tomate)
- bebidas (café o coca cola)

El procedimiento se efectúa aplicando una cantidad de 0.1 ml a 23° C± 2°C y 50% ± 5% de humedad relativa sobre el sustrato, luego se inmediatamente con un vidrio de reloj durante un tiempo de 15 min como se acuerde con el fabricante, pasado los 15 min se limpia la zona donde se aplicó el reactivo suave y se determina el efecto. Este parámetro de toma de forma cualitativa, se reportar como pasa- no pasa, de manera que se analizar la interacción de los agentes sobre el material, llegando a la conclusión de obtener un recubrimiento con alta resistencia.

**Tabla 26.** Resultados de las pruebas de resistencia química.

	<b>Formulación 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación 3 (2:1) con espesante</b>	<b>Barniz corona</b>	<b>Laca catalizada base solvente</b>
<b>Agua destilada</b>	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
<b>Vapor de agua</b>	Pasa	No pasa	No pasa	No pasa
<b>Alcohol etílico</b>	No pasa	No pasa	No pasa	Pasa
<b>Vinagre</b>	No pasa	No pasa	Pasa	Pasa
<b>Solución alcalina</b>	Pasa	No pasa	Pasa	Pasa
<b>Solución acida toluol+isoporpanol</b>	No pasa	No pasa	No pasa	No pasa
<b>Solución detergentes</b>	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
<b>Fluidos livianos</b>	No pasa	No pasa	No pasa	No pasa
<b>Condimentos</b>	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
<b>Bebidas</b>	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa

**Fuente:** elaboración propia

En los resultados es evidente que la formulación 1 (1:1) es más resistente a las pruebas químicas, lo que predice que las sustancias involucradas dentro de este recubrimiento refuerza la formulación de la laca sobre este tipo de agentes que comúnmente se encuentra en el ambiente y se situado sobre sustrato, de esta manera se determina que la formulación 1 (1:1) en sistema base acuoso se puede

establecer que es propicio para desarrollar un recubrimiento mixto como se comentó en el numeral 1.1.

De acuerdo al fabricante otra prueba que se le aplica al sustrato para determinar la película, se realiza en aplicar presión con la uña sobre el sustrato, de esta forma se evalúa la adhesión del recubrimiento, el análisis arrojado por esta prueba se concluye de la siguiente manera:

- **Formulación 1 (1:1):** se establece que al aplicar presión de la uña sobre el sustrato no se afecta la película, llegando a la conclusión que esta película tiene una adhesión fuerte, si se compara con la laca catalizada base solventes en el caso contrario se afectaba.
- **Formulación 3 (2:1):** ocurre igual que el caso anterior no se afecta la película por lo que presenta más resistencia debido al espesor aplicado en esta formulación.

**Tabla 27.** Reporte de los sistemas evaluados.

<b>Nombre de la prueba</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Formulación n 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación n 3 (2:1) con espesante</b>	<b>Formulación n estándar</b>	<b>Cumple</b>
<b>Viscosidad Brookfield</b>	25°C ± 0.01 humedad 45% ± 0.5	31.0 cP	51,2 cP	546.8 cP	No
<b>Contenido de sólidos</b>	Máximo 70%	41.58%	40.24%	41.08%	Si
<b>Densidad</b>	A 25°C declara la ficha técnica	4.0429 kg/gal	3.9761 kg/gal	-	No aplica
<b>pH</b>	De 2-4 declara la ficha técnica	2.88	2.13	7.98	No aplica
<b>Tiempo de secado</b>	Tiempo mínimo	20 min	40 min	45 min	No
<b>Brillo</b>	Según la ficha geometría	Medio	Medio	Medio	Si
<b>Dureza</b>	Según la ficha técnica	No resiste	Resiste	Resiste	Si
<b>Resistencia química</b>	Uso de Reactivos según la ficha técnica	Más resistente	Menos resistente	Más resistente	Si

**Fuente:** elaboración propia

Dentro del cumplimiento de este objetivo se puede establecer que aplicando cualquiera de las dos formulaciones definidas se puede llegar a desarrollar una laca catalizada base acuosa, como recubrimiento mixto debido a que cumple con los requerimientos que el consumidor desea en este tipo de productos.

#### **4.2 EVALUACIÓN DEL COSTO DEL SISTEMA ESTABLECIDO**

La evaluación del costo se enfocó en determinar el precio de las formulaciones definidas que se establecieron por medio del diseño experimental, este recubrimiento no se ha implementado en el mercado por parte de preflex debido a que la evaluación de las resinas aplicadas se está efectuando en este proyecto, por lo tanto la evaluación del costo de los sistemas establecidos parte de la densidad tomada por medio de la caracterización de los recubrimientos, definiendo así que para la formulación 1 (1:1) se obtuvo una densidad de 4.0429 Kg/gal y para formulación 3 (2:1) se obtuvo una densidad de 3.9761 Kg/gal; el precio de cada materia prima se especifica por COP/kg, este aporte lo efectúa la empresa de acuerdo al proveedor.

De acuerdo al análisis aportado por Rojas (2016) la equivalencia de un galón contiene una cantidad de Kg del material producido<sup>52</sup>. De esta manera se establece el costo producido del a escala laboratorio de la laca catalizada base acuoso. Para la formulación 1 (1:1) se toma como base 4.0429 kg que equivale del producto en un galón, de igual manera se especifica que para la formulación 3 (2:1), 3.9761 Kg equivale del producto en un galón. De acuerdo a la base en Kg de cada formulación se procede a establecer la cantidad en peso por cada sustancia, de esta manera se saca el precio por cada sustancia COP/kg reportados en las siguientes tablas.

---

<sup>52</sup> ROJAS MORALES y TORRES GOMEZ. Op. Cit., p.

**Tabla 28.** Costo de los insumos para la formulación 1 (1:1).

Materia Prima	Cantidad	Costo (COP)	Cantidad Requerida		Costo Total (COP)
			concentración	total (kg)	
<b>EMULSIÓN</b>	Kilogramo	4000	0,51	2,061879	8.247,51
<b>TEA</b>	Kilogramo	4600	0,002	0,008085	37,19
<b>Resina</b>	Kilogramo	5.817,49	0,16	0,646864	3.763,12
<b>Metanol</b>	Kilogramo	1.031	0,15	0,606435	625,23
<b>Agua</b>	Kilogramo	1.043,6	0,15	0,606435	632,87
<b>Monoetilenglicol</b>	Kilogramo	3.850	0,005	0,020214	77,82
<b>Tensapol</b>	Kilogramo	10.250	0,005	0,020214	207,19
<b>TEGO 410</b>	Kilogramo	45.203	0,01	0,040429	1.827,51
<b>BYK 346</b>	Kilogramo	9.364,12	0,003	0,012128	113,57
<b>BYK 337</b>	Kilogramo	8.523	0,002	0,008085	68,91
<b>Nivelánte</b>	Kilogramo	1.489	0,003	0,012128	18,05
<b>Catalizador</b>					
<b>ATPS</b>	Kilogramo	9.800	0,025	0,101072	990,51
<b>Agua</b>	Kilogramo	1.043,6	0,025	0,101072	105,47
<b>Total (COP)</b>					<b>16.715,02 COP</b>

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 28 se establece que el precio de la formulación 1 (1:1) sin espesante, en la cual reporta con un valor de 16.715 COP, de esta manera se establece que 1 kg de 4.134 COP.

**Tabla 29.** Costo de los insumos para la formulación 3 (2:1).

<b>Materia Prima</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo (COP)</b>	<b>Cantidad Requerida concentración</b>	<b>total (kg)</b>	<b>Costo Total (COP)</b>
<b>Emulsión</b>	Kilogramo	4.000	0,51	2,027811	8.111,24
<b>Tea</b>	Kilogramo	4.600	0,002	0,007952	36,58
<b>Resina</b>	Kilogramo	5.817,49	0,16	0,636176	3.700,94
<b>Metanol</b>	Kilogramo	1.031	0,1	0,39761	409,93
<b>Agua</b>	Kilogramo	1.043,6	0,2	0,79522	829,89
<b>Monoetilenglicol</b>	Kilogramo	3.850	0,005	0,01988	76,53
<b>Tensapol</b>	Kilogramo	10.250	0,005	0,019880	203,77
<b>BYK 333</b>	Kilogramo	48.930	0,01	0,039761	10945,50
<b>BYK 346</b>	Kilogramo	9.364,12	0,003	0,011928	111,69
<b>BYK 337</b>	Kilogramo	8.523	0,002	0,007952	67,77
<b>Nivelánte</b>	Kilogramo	1.489	0,003	0,011928	17,76
<b>ATPS</b>	Kilogramo	9.800	0,025	0,099402	974,14
<b>Agua</b>	Kilogramo	1.043,6	0,025	0,099402	103,73
<b>Espesante</b>	Kilogramo	19.623		0,005	98,11
<b>Total</b>					<b>16.687,65 COP</b>

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 29, se reporta el costo de producir 3.9761 kg a escala laboratorio de la formulación 3 con espesante en la cual el valor obtenido es de 16.687 COP por lo tanto 1 kg de este producto equivale a 4.196 COP.

4.2.1 Costo por mano de obra. El costo por mano de obra se determina por medio del proceso y la hora de trabajo establecido en Colombia, este valor se obtiene a partir del salario mínimo que se determinó en el año 2018 en la cual la hora de trabajo es de 3255.18 COP, el proceso que se evidencia en la figura 14 se divide en 5 fases para desarrolla el recubrimiento, se estima que el tiempo del proceso de

producción es de 2 horas, los resultados para determinar el costo por mano de obra se representan en la ecuación 4.

**Ecuación 4.** Costo de mano de obra

$$C_{MO} = \frac{T_P * V_H}{C_R}$$

$T_P$ = tiempo de producción

$V_H$ = valor de la hora de trabajo

$C_R$ = cantidad de recubrimiento procesado.

El costo de producción por hora se determinó multiplicando el valor de la hora de trabajo (3255.18 COP) con el tiempo de producción del recubrimiento (2 horas), obteniendo como resultado 6510.3 COP. El costo del recubrimiento se evidencia en la tabla 30, teniendo en cuenta los valores de producción y del recubrimiento se determinó el costo por mano de obra que se evidencia en la tabla 33.

**Tabla 30.** Costo de mano de obra por formulación.

<b>Formulación 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación 3 (2:1) con espesante</b>
1610.3 COP/kg	1637.3 COP/kg

**Fuente:** elaboración propia

4.2.2 Costo energético. El costo energético se determinó a partir de la operación del proceso que consiste en el mezclado, el número de equipo del proceso son dos que cuenta con un tiempo de mezclado aproximado de 1 hora por equipo, en la cual se obtiene estima que el costo de energía en Colombia es de 280.3 COP

**Tabla 31.** Costo energético de los equipos.

<b>Equipo</b>	<b>Energía consumida (Kwh)</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>Tiempo de agitación (h)</b>	<b>Costo de energía a COP</b>	<b>Costo energético consumido (\$/Kwh)</b>	<b>Costo total (\$/Kw)</b>
<b>Agitador con motor dispersor x</b>	0.280	2	2	280.3	78.484	156.96
<b>Total</b>						156.96

\*Este costo se establece en cifras de pesos colombianos.

Obteniendo el costo energético de los equipos se establece el costo de servicio por cada formulación establecida experimentalmente, en la cual el resultado se reporta en la tabla 32.

**Tabla 32.** Costo de servicio por formulación.

<b>Formulación 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación 3 (2:1) con espesante</b>
38.82 COP	39.47 COP

**Fuente:** elaboración propia

El costo total que se determina a continuación consiste en el costo de producir 1 galón de recubrimiento en la cual se suma en costo de mano de obra y costo de servicio por los equipos, los resultados se reportan en la tabla.

**Tabla 33.** Costo total de producción de la laca catalizada.

	<b>Formulación 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación 3 (2:1) con espesante</b>
<b>Costo de los insumos</b>	16715,02	16687,65
<b>Costo de servicio</b>	38.82	39.47
<b>Costo por mano de obra</b>	1610.3	1637.3
<b>Total</b>	18364.14 COP	18364.42 COP

**Fuente:** elaboración propia

El costo total para obtener 4.0429 kg de laca catalizada con la formulación 1 sin adición de espesante es de 18364.14 COP, de igual manera se establece que el precio para obtener 3.976 kg de laca catalizada por medio de la formulación 3 con espesante es de 1864.42 COP, el precio para desarrollar este tipos lacas son similares con las dos formulaciones que se establecieron experimentalmente, con este costo de evidencia que se puede hacer uso de alguna de las formulaciones para desarrollar este tipo de lacas.

En la sección 1.6 se comentó el uso de un producto estándar que consiste en un barniz en sistema emulsionado en la cual se opta por comprar un galón de este producto con un valor de 65.900 COP este precio es comercial por lo que se realiza la respectiva comparación con las dos formulaciones que se establecieron en este trabajo, en la cual el reporte comercial se evidencia en la tabla 34.

**Tabla 34.** Costo comparativo de las formulaciones para producir un galón de recubrimiento.

	<b>Formulación 1 (1:1) sin espesante</b>	<b>Formulación 3 (2:1) con espesante</b>	<b>Formulación estándar</b>
<b>Costo del recubrimiento por 1gal.</b>	18.364,14 COP	18.364,42 COP	65.900 COP

**Fuente:** elaboración propia

En esta sección se da cumplimiento del tercer objetivo específico, en la cual se establece que la laca catalizada desarrollada en este proyecto con respecto al barniz acrílico que se encuentra en el mercado (ambos en sistemas emulsionados), existe una relación entre los productos en la cual son usadas tecnologías con monómeros acrílicos para desarrollar recubrimientos, se estimó el costo comparativo de los dos productos, llegando a la conclusión de que las formulaciones establecidas para desarrollar la laca catalizada se obtiene un costo favorable debido a que es bajo con respecto al costo comercial del barniz, este análisis da la aprobación para desarrollar este tipo de lacas catalizadas debido a que se puede implementar un producto en la cual va competir en el mercado con un costo de adquisición favorable para el consumidor obteniendo un producto de calidad y poco nocivo.

## 5. CONCLUSIONES

- Se determinaron durante diversos ensayos, las formulaciones que mejor interactuaron permitiendo el curado del sistema, la cual se establecieron tres formulaciones que desarrollaron un producto de bajo contenido de compuesto orgánico volátiles.
- Por medio de análisis experimental y modificando las concentraciones de Agua-Metanol en relación de 1:2, 1:1 y 2:1 junto con las tres formulaciones se establece las formulaciones base que más aproximaba ala análisis experimental, logrando obtener tiempo de secado menores o iguales a los sistemas estándares. Los mejores resultado obtenido de las formulaciones se evidencio en formulación la 1 con relación de 1:1 con un tiempo de 22 min 66 seg y una viscosidad de 30.6 cP y la formulación 3 con relación de 2:1 agregado espesante con un tiempo se secado de 28.68 min y un viscosidad de 71.77 cP.
- Se realizaron diferente pruebas físicas y químicas a las dos formulaciones definidas, comparados con sistemas estándares obteniendo como resultado la formulación 1 con relación 1:1 que supera la mayoría de las pruebas aplicadas, excepto en la prueba de dureza. De acuerdo a análisis de la calidad del producto se concluye que se puede desarrollar este tipo de lacas usando alguna de las dos formulaciones escogidas por el análisis experimental obteniendo un recubrimiento con funciones de protector y arquitectónico.
- Se evaluó el costo comercial del producto por medio de las formulaciones desarrolladas, obteniendo como resultado un costo competitivo para el mercado de los recubrimientos, se realizó la comparación con un barniz que comercialmente que tiene valor alto, en la cual se da la viabilidad en desarrollar este tipo de lacas a nivel industrial realizando mejoras al producto por medio de la implementación del proceso.

## 6. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación con otra tecnología con más peso molecular para establecer una formulación con viscosidad óptima dentro de la búsqueda de mercado.
- Diseñar y escalar el proceso de producción de la laca catalizada con el sistema emulsionado propuesto y evaluar el costo del producto por medio de un estudio financiero en una línea de tiempo.
- Realizar y diseñar la evaluación del sistema emulsionado, implementado otros tipos de aditivos reológicos.
- Desarrollar otro sistema emulsionado con algún tipo de monómeros con bajo contenido de COV's.

## BIBLIOGRAFÍA

ARRANBERI, B.P; BINKS, J.H; CLINT, P.D, I. Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polímeros y agentes tensoactivos. En: Revista Iberoamericana de polímeros.

ALONSO, José V. Pinturas, Barnices y Afines (Composición, formulación y caracterización). Universidad politécnica de Madrid. 2013. p 14

B. SEYMOUR, Raimond y CARRAHER, Charles E. introducción a la químicas de los polímeros. Barcelona.: Jr. Editorial Reverté S.A. 1995. p. 565

Catálogo de acabados. Sistemas de acabados. [En línea]. Disponible en: [[http://castor.pe/resource/download/catalogo\\_pdf/pdf\\_13269909774f1846818afac.pdf](http://castor.pe/resource/download/catalogo_pdf/pdf_13269909774f1846818afac.pdf)]

CUBIDES GUTIÉRREZ, E, J; GONZÁLEZ ESCOBAR, N. Evaluación del comportamiento de los sistemas anticorrosivos para metal por medio de cámara salina y cámara de envejecimiento variando espesores y condiciones de aplicación a nivel laboratorio. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de ingeniería Química. 2009.

GIUDICE, Carlos A y PEREYRA, Andrea M, (2009). Tesis de grado “Tecnología de pinturas y recubrimientos”. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. 2009

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. Documentación. Presentación de tesis trabajo de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto, 2008, p.1

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. Documentación. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5313. Bogotá: el instituto, 2008, p. 1

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. Documentación. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogota: el instituto, 1988.

LÓPEZ SANTAMARÍA, C, A. Modelo de estabilidad de emulsiones poliméricas. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Faculta de Ingeniera Química. Agentes de tensión superficial. 2015.

MARRION, Alastair. The Chemistry and physics of Coating. Coating components beyond binders. 2 ed. Nothampton, UK.: RSC, 2004. 292 p. ISBN 0-85404-656-9

MARTINEZ LEON, Sebastián. Desarrollo de laca hidrosoluble a nivel laboratorio para a empresa Pintatex y Cia Ltda. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de Ingeniería Química. 2009

MERCADO ORTEGA, M, L. obtención y caracterización de una emulsion acrílica para uso en la fabricación de recubrimientos para madera. Trabajo de grado Magister en Ingeniería Química. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Faculta de Ingeniera Química. Procesos de polimerización y materiales. 2015.

MORA RODRIGUEZ C,K; SARMIENTO CÁRDENAS D,C. Desarrollo de la formulación para la producción de una laca multi propósito en aerosol a nivel laboratorio para la empresa Policlean LTDA. Trabajo de grado ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Programa de Ingenieria Quimica. 2009

ROJAS MORALES, M; TORRES GOMEZ D, A. Evaluación para la obtención de resina epóxica a partir de aceite de ricino a nivel de laboratorio. Bogotá D.C.:Fundación Universidad de américa. Programa de ingeniera química. 2016

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**ENSAYOS REALIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN DEL**  
**RECUBRIMIENTO QUE NO FUNCIONA EXPERIMENTALMENTE.**

**A.1** En este ensayo se realizó el proceso metodológico para desarrollar la formulación de la laca catalizada, el contenido se evidencia en la tabla 34, el resultado que se obtuvo con este ensayo se debe a la mala reacción de las sustancias debido a que interrumpe en la reticulación del sistema, no permite el entrecruzamiento de las resinas.

**Tabla 35.** Ensayo 10

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEM (trietanolamina)	0.2
Pre mezcla	
Resina UFM	20
Etanol	10.5
BUTYL	0.5
CELLOSOLVE	0.5
Agua	17.2
BYK 337	0.3
Nivelador de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia

**A.2** En este ensayo se inicia con el desarrollo de la formulación, el contenido se observa en la tabla 34 y se reportado los siguientes resultados:

- En el tiempo de secado la película, presento tacticidad pegajosa, pero se obtuvo una película fina sin ningún cráter, pero nunca seco.
- Se obtuvo un pH 3.12.
- Se evidencia buen brillo de la película, pero se descarta para la formulación.
- La espuma se presenta en abundancia, se elimina cuando se filtra la mezcla.

**Tabla 36.** Ensayo 11

Materias primas	% contenido en peso
Emulsión acrílica	51
TEM (trietanolamina)	0.2
Pre mezcla	
Resina UFM	20
Metanol	12.7
Acetato de etilenglicol	0.5
Agua	15
BYK 346	0.3
Nivelador de película	0.3
Catalizador	
Catalizador	2.5
Agua	2.5

**Fuente:** elaboración propia