

EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO CON RESINA A
BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO A NIVEL LABORATORIO

DIANA CAROLINA AVELLANEDA DÍAZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

EVALUACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO CON RESINA A
BASE DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO A NIVEL LABORATORIO

DIANA CAROLINA AVELLANEDA DÍAZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Orientador
Oscar Lombana
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ingeniero Oscar Lombana

Ingeniero Alexander López

Ingeniero Juan Camilo Cely

Bogotá D.C. Agosto de 2017

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

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano General de la Facultad de Ingeniería

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 la autora.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este triunfo a mi madre Nelsy Díaz, quien desde siempre me ha brindado su apoyo y fue mi mayor motivación para seguir en los momentos difíciles; sin ella culminar hubiera sido imposible.

A mi hermano Héctor Avellaneda, por haber sido la motivación para estudiar esta carrera y por siempre estar pendiente de mi progreso.

Finalmente, a mi amiga Karen Sofía Pinzón, por facilitarme tantas herramientas para la realización de este proyecto, sin ella hubiera sido más difícil realizar todo; gracias a sus consejos, compañía incondicional y apoyo he logrado cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Oscar Lombana, por su asesoría y colaboración para el correcto desarrollo de este proyecto de grado.

Al ingeniero Daniel Leonardo Rojas, por la ayuda y diligencia con las pruebas de laboratorio.

A la empresa Pintuflex S.A.S., por el préstamo de sus laboratorios y personal para realizar las pruebas de calidad necesarias.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	23
1.1 RESINAS	23
1.1.1 Resinas alquídicas o alquids	23
1.1.2 Resinas acrílicas	23
1.1.3 Resinas fenólicas	24
1.1.4 Resinas aminadas	24
1.1.5 Resinas vinílicas	24
1.1.6 Resinas epóxicas	24
1.2 PIGMENTO	24
1.3 DIÓXIDO DE TITANIO	24
1.4 ADITIVOS	24
1.4.1 OCTOATO DE COBALTO	24
1.5 POLIESTIRENO EXPANDIDO	25
1.6 D-LIMONENO	26
1.6.1 Terpenos	27
2. METODOLOGÍA GENERAL	28
2.1 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	28
2.1.1 Poliestireno expandido	28
2.1.2 Disolvente	28
2.1.3 Pigmento	29
2.1.4 Aditivo	29
2.2 MÉTODOS	30
2.3 PRUEBAS ESPECIFICAS PARA CONTROL DE CALIDAD	32
2.3.1 Requisitos generales	32
2.3.2 Determinación de la viscosidad	32
2.3.3 Determinación del brillo	32
2.3.4 Prueba de opacidad	32
2.3.5 Determinación del secado	33
2.3.6 Prueba de adherencia	33
2.3.7 Prueba de intemperismo	33
2.4 ANALISIS DE VARIABLES	33
3. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
3.1 PROCEDIMIENTO GENERAL	35
3.2 DESARROLLO Y SELECCIÓN DE LA RESINA PRINCIPAL	36
3.2.1 Preparación de las pruebas	36
3.2.2 Análisis de resultado de las pruebas	39

3.3 ADICIÓN DE CATALIZADOR (OCTOATO DE COBALTO)	40
3.3.1 Análisis de la adición de catalizador	41
3.4 ADICIÓN DE PIGMENTO (DIÓXIDO DE TITANIO)	42
3.4.1 Análisis de resultados adición de pigmento	43
3.5 DESARROLLO DEL RECUBRIMIENTO	46
3.5.1 Preparación de las muestras	47
3.5.2 Resultados de las pruebas de calidad y análisis	48
3.5.2.1 Viscosidad	48
3.5.2.2 Brillo	51
3.5.2.3 Opacidad	54
3.5.2.4 Secado	57
3.5.2.5 Adherencia	60
3.5.2.6 Intemperismo	64
3.6 COMPARACIÓN DEL RECUBRIMIENTO CON EL ESMALTE COMERCIAL	65
4. ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCTO TERMINADO	68
5. CONCLUSIONES	70
6. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Solubilidad del poliestireno expandido en diferentes solventes químicos	29
Tabla 2. Resultados de los tiempos de secado las resinas Obtenidas	37
Tabla 3. Resultados de la prueba de escurrimiento a 45° de las resinas obtenidas	37
Tabla 4. Resultados adición de octoato de cobalto	41
Tabla 5. Resultados adición de pigmento	43
Tabla 6. Variables y niveles empleados para la obtención del recubrimiento	46
Tabla 7. Diseño de interacciones	46
Tabla 8. Resultados de viscosidad	49
Tabla 9. ANOVA para variable de respuesta viscosidad	49
Tabla 9. (Continuación)	50
Tabla 10. Resultados de brillo	52
Tabla 11. ANOVA para variable de respuesta brillo	52
Tabla 12. Resultados de opacidad	54
Tabla 12. (Continuación)	55
Tabla 13. ANOVA para variable de respuesta opacidad	55
Tabla 14. Resultados de secado	57
Tabla 14. (Continuación)	58
Tabla 15. ANOVA para variable de respuesta secado	58
Tabla 16. Resultados de adherencia	62
Tabla 17. ANOVA para variable de respuesta adherencia	62
Tabla 18. Resultados de intemperismo	65
Tabla 19. Recopilación resultados pruebas	66
Tabla 20. Comparación con el esmalte comercial ORBITEX®	67
Tabla 21. Precio máximo y mínimo para una cantidad de 1/8 de galón	68
Tabla 22. Precio para 1/8 de galón muestra N° 13	69

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Diagrama de proceso	31
Diagrama 2. Proceso de preparación de cada muestra.	48

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Obtención de los gramos de octoato de cobalto para 100mL	42
Ecuación 2. Obtención de los gramos de pigmento por cada 100 mL de resina catalizada.	40

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Pareto del efecto de las variables en la viscosidad	51
Gráfica 2. Efectos principales para viscosidad	51
Gráfica 3. Pareto del efecto de las variables en el brillo	53
Gráfica 4. Efectos principales para brillo	54
Gráfica 5. Pareto del efecto de las variables en la opacidad	56
Gráfica 6. Efectos principales para opacidad	57
Gráfica 7. Pareto del efecto de las variables en el secado	59
Gráfica 8. Efectos principales para secado	60
Gráfica 9. Pareto del efecto de las variables en la adherencia	63
Gráfica 10. Efectos principales para adherencia	64

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructuras químicas de resinas acrílicas en la industria	23
Figura 2. Estructuras químicas de un monómero	25
Figura 3. Poliestireno expandido de baja densidad (envases)	25
Figura 4. Poliestireno expandido de alta densidad (construcción)	26
Figura 5. Estructura química del d-limoneno	26
Figura 6. Proceso de degradación del poliestireno expandido con d-limoneno	36
Figura 7. Resina obtenida tras la degradación	37
Figura 8. Aplicación de la película de las resinas obtenidas en lámina de ETERBOARD	38
Figura 9. Resultados prueba de intemperismo para las resinas obtenidas	39
Figura 10. Mezcla del octoato de cobalto con la resina principal	41
Figura 11. Resultados aplicación de las pruebas 6, 7 y 8 descartadas por bajo cubrimiento	44
Figura 12. Resultados aplicación de las pruebas 3 y 4 escogidas para el diseño 2 ^k	45
Figura 13. Resultados aplicación de la prueba 5 descartada por grumos	45
Figura 14. Prototipo de disco de molienda.	47
Figura 15. Lámina con la cuadrícula antes de la prueba.	61
Figura 16. Lámina con la cuadrícula después de la prueba.	61
Figura 17. Pruebas de intemperismo	64

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Calibración de equipos	75
Anexo B. Equipos utilizados en control de calidad.	79
Anexo C. Resultados del análisis de la varianza MINITAB 17.	81

GLOSARIO

ADHERENCIA: resistencia tangencial que se produce en la superficie de contacto entre dos cuerpos cuando uno intenta despegarse del otro.

ADITIVO: sustancia que se añade a un producto con el fin de mejorar sus propiedades físicas y/o químicas.

AGENTES SECANTES: son productos resultantes de la reacción de sales metálicas y ácidos orgánicos. Comúnmente se les conoce también como jabones metálicos, secantes metálicos o metal-orgánicos. En la industria de los recubrimientos y pinturas se utilizan para la aceleración del proceso de secado.

AGITADOR COWLES: agitador de disco dentado para dispersiones y un mezclado de líquidos a media y alta velocidad, que dependiendo del tamaño y producto a mezclar actúan entre 100 y 1800 rpm., y con productos con una gama de viscosidades muy amplia.

AMARILLAMIENTO: decoloración amarilla que se hace evidente en el recubrimiento debido a su reactividad ya sea química o física debido al deterioro por exposición a rayos ultravioleta.

AMPOLLAMIENTO: proceso que se manifiesta por defecto en forma de cúpula visible en la superficie de un objeto y que proviene de una pérdida de cohesión localizada debajo de la superficie.

ASTM: American Society for Testing and Material (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales).

BRILLO: habilidad de una superficie de reflejar rayos de luz. Se mide determinando el porcentaje de luz reflejada a tres ángulos diferentes.

CUARTEAMIENTO: división o agrietamiento en trozos que se forma en la superficie de una película seca de forma más o menos regular.

ETERBOARD: es una placa plana de fibrocemento fabricada con tecnología avanzada a base de cemento, sílice, fibras naturales y aditivos que mediante un proceso de autoclavado, es decir, se someten a altas presiones y temperaturas para obtener un producto con un alto nivel de estabilidad dimensional.

ISO: International Organization for Standardization (Organismo Internacional de Estandarización). Se componen de estándares y guías relacionados con sistemas y herramientas específicas de gestión aplicables en cualquier tipo de organización.

LIMONENO: es la sustancia natural que se extrae de los cítricos y da el olor característico a las naranjas y los limones. Debido a su estructura química, existen

dos isómeros ópticos: el d-limoneno y el l-limoneno. El d-limoneno ha venido utilizándose con mayor frecuencia cada vez debido a sus bondades con el medio ambiente como es su biodegradabilidad y su acertado uso como sustituto de otros compuestos químicos tóxicos.

OCTOATO: son sales metálicas del ácido 2 – etil hexanóico disueltas en aguarrás mineral y otros solventes adecuados a los distintos usos. Representan un avance importante frente a los linoleatos, talatos y naftenatos debido a sensibles ventajas de color, olor, estabilidad, viscosidad y precio.

OPACIDAD: en pinturas es la capacidad del recubrimiento para hacer desaparecer el color propio de la superficie de aplicación sin distinguir contrastes a simple vista.

PIGMENTO: material que cambia el color de la luz que refleja o transmite como resultado de la absorción selectiva de la luz según su longitud de onda, que es el parámetro determinante del color.

PINTURA ESMALTE: Este es el tipo de pintura que mejor conserva el brillo, incluso a la intemperie. El acabado es liso, con aspecto mate, satinado o brillante. Se utiliza mucho para proteger superficies de metal y de madera, tanto en el exterior como interior.

POLÍMERO: macromolécula formada por unidades generalmente orgánicas llamadas monómeros, los cuales se unen mediante enlaces covalentes.

RECUBRIMIENTO: material depositado sobre una superficie con el fin de proteger o mejorar algunas de sus propiedades en particular, como aspecto, adhesión o resistencia química.

RESINA: Adhesivo sintético presente en pegamentos, pinturas y en componentes de pegamentos reactivos (resinas fenólicas, epóxicas y de poliéster).

TERMOESTABILIDAD: propiedad que hace referencia al conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada.

TERMOPLASTICIDAD: propiedad de un material a deformarse sin rotura.

UNIDADES DE BRILLO: medición de brillo que se hace dirigiendo un haz de luz de intensidad constante, con un ángulo fijo, sobre la superficie a comprobar y controlando posteriormente la cantidad de luz reflejada del mismo ángulo.

UNIDADES KREBS (KU): unidad de medida establecida por la NTC 559 o en la ASTM D 562 para las pruebas de calidad en recubrimientos y pinturas equivalente a 60 centistokes por cada 33 KU.

VISCOSIDAD: es la resistencia que tienen las moléculas que conforman un líquido para separarse unas de otras, es decir, es la oposición de un fluido a deformarse y esta oposición es debida a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de un líquido o fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

RESUMEN

El presente trabajo de grado tuvo como objetivo llevar a cabo la elaboración de un recubrimiento a partir del reciclaje de poliestireno expandido diluido con d-limoneno utilizando posteriormente octoato de cobalto como secante para la mezcla y adicionando dióxido de titanio (TiO_2) en pasta como pigmento, para su posterior análisis y comparación con un recubrimiento comercial; la idea se desarrolló de manera personal como propuesta de innovación para el reciclado del poliestireno expandido y se contó con la colaboración de los laboratorios de calidad de Pintuflex S.A.S. para la realización de las pruebas de calidad pertinentes. Para desarrollar el proyecto se llevaron a cabo tres fases diferentes: la primera fase, en donde se desarrolla la resina con la que se hará el recubrimiento, en este punto se ajusta la relación poliestireno-limoneno y las probetas se someten a pruebas de aplicación en láminas de ETERBOARD haciendo la aplicación de dos formulaciones por lámina simulando una prueba de intemperismo al natural para determinar la idoneidad de cada una. La segunda fase, en donde se realiza la adición del catalizador (octoato de cobalto) y el pigmento (TiO_2), realizando un diseño de experimentos 2^k con diferentes concentraciones tanto de catalizador como de pigmento siguiendo formulaciones encontradas en la literatura para realizar el recubrimiento que posteriormente se someterá a las pruebas propias de un esmalte comercial la determinación de la viscosidad, secado, adherencia, brillo, opacidad y resistencia a intemperie. La tercera fase, donde finalmente se realiza la comparación del recubrimiento obtenido con un esmalte comercial para establecer un análisis de costo de producto y capacidad para cumplir su función.

Palabras clave: poliestireno expandido, limoneno, recubrimientos, reciclaje.

INTRODUCCIÓN

El mercado actual ofrece cantidad de productos procedentes de la industria petroquímica, sin embargo, la mayoría de estos productos desde su producción hasta su disposición generan un impacto ambiental negativo y elevado, aportando no solo desechos sólidos a los rellenos sanitarios sino también produciendo elevadas emisiones a la atmósfera y vertimientos a los cuerpos acuáticos, problemas que día a día intentan minimizarse con programas de protección al medio ambiente en los que se tienen como objetivos disminuir el cambio climático, el agotamiento de la capa de ozono, la pérdida de diversidad biológica y la deforestación.¹

El poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés) es uno de los productos que más se utilizan en la industria, es versátil, pero a su vez es muy contaminante y en gran parte de los casos su vida útil no es muy larga en ocasiones debido a su alta demanda en procesos de embalaje y desechables para la comida, a pesar de que la mayoría de fabricantes de poliestireno dicen que sus productos respetan el medio ambiente y la ANAPE lo respalda en su decálogo medioambiental² actualmente se sabe que el poliestireno se fabrica con HCFC-22, que puede no ser tan dañino, pero sigue siendo un gas de efecto invernadero que daña la capa de ozono.³

Debido a estos problemas ambientales se hizo necesario el desarrollo de técnicas de reciclaje en las que sobresalen la compresión y fundición del poliestireno expandido, aunque también existe la reducción de tamaño mediante acetona, acetato de etilo, gasolina, tolueno y thinner. En Colombia se ha optado por la técnica del reciclado mecánico mediante la trituración del desecho porque a pesar de que se implementan en menor medida las técnicas para reducción de tamaño con solventes, no se tienen demasiado en cuenta debido a que una vez se reduce el tamaño del poliestireno expandido se almacena en tambores y esta resina

¹ Comisión europea, 2013, living well, within the limits of our planet, 7th EAP – The new General Union Environment Programme to 2020. Recuperado de: <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/en.pdf>

² ANAPE, 2004, El poliestireno expandido y el medio ambiente. Recuperado de: <http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>

³ Blowing Agents 99, 1999, Third generation HF Blowing Agents of XPS Boardstocks used Thermal Insulation. Recupedado de: <https://books.google.com.co/books?id=AAoEITPUMhcC&pg=PA62&lpg=PA62&dq=HCFC-22+polystyrene&source=bl&ots=3nsOiY3sJ5&sig=d53sg-Xyy0kLySM88WC5U0Z8k8&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjrxuXY8pHTAhVJ9IMKHV-uDtsQ6AEIOjAE#v=onepage&q=HCFC-22%20polystyrene&f=false>

resultante no es utilizada para nada haciendo más costoso el proceso debido a la utilización del solvente de degradación.

El proyecto abarca la reutilización y reciclaje total del poliestireno expandido de cualquier fuente incluyendo el utilizado para alimentos, lo que se pretende es realizar un recubrimiento no muy distinto de un esmalte convencional utilizando como resina el desecho diluido con limoneno. El objetivo es que el producto final tenga características similares a las de un esmalte comercial utilizado para la protección y decoración tanto en interiores como en exteriores.

Este trabajo se divide en cuatro capítulos, el primero y segundo enfrascan la teoría, materiales, metodología y equipos para desarrollar el recubrimiento; el tercero trata toda la parte experimental y análisis de resultados y finalmente el cuarto abarca el análisis de costo final y las comparaciones del recubrimiento obtenido en el proyecto contra el recubrimiento comercial tipo esmalte.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la obtención de un recubrimiento utilizando una resina a base de poliestireno expandido reciclado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la formulación adecuada de la resina obtenida a partir del EPS reciclado con limoneno para que cumpla con las características deseadas.
- Obtener un recubrimiento con la resina de EPS reciclado que cumpla con los estándares de un recubrimiento comercial.
- Determinar las características del recubrimiento obtenido con la resina de EPS reciclado y compararlo con los recubrimientos ofrecidos en el mercado.
- Realizar un análisis de costos del recubrimiento obtenido con la resina de EPS reciclado.

1. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

1.1 RESINAS

Componente que sufre un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos. Las resinas son las que dan el cuerpo a la pintura permitiendo la mezcla de los diferentes aditivos para poder aplicarlas. En la naturaleza las resinas se dan de forma natural por la secreción de algunos árboles, de aquí se desprende el término que también es utilizado para nombrar las sustancias sintéticas fabricadas en industria y que presentan características y usos similares a las naturales. Dentro de estas resinas artificiales se tienen varios subgrupos.

1.1.1 Resinas alquídicas o alquids: resinas que son derivadas de las reacciones de polioles y poliácidos. En el caso de los alquids, el término solamente es utilizado en el caso de productos modificados con ácidos grasos ya sean naturales o sintéticos. Generalmente se utilizan como formadores de película en fondos anticorrosivos y de ambientes urbanos no muy agresivos o marinos.

1.1.2 Resinas acrílicas: es el tipo de resina presente en el recubrimiento que se va a obtener en este proyecto, se elaboran por reacciones de adición de diferentes monómeros, los cuales pueden presentar termoestabilidad o termoplaticidad.

Las resinas termoplásticas se utilizan ampliamente en recubrimiento de pisos y para mantenimiento industrial, por otro lado, las resinas termoestables generan películas con elevada retención de color, resistencia a la intemperie y a los ataques químicos, además de que poseen una excelente adhesión.

Las resinas acrílicas más utilizadas en industria son el ácido acrílico y el ácido metil acrílico.

Figura 1. Estructuras químicas de resinas acrílicas en la industria



Fuente: Lukarov. "Resinas acrílicas". <http://fabricarpinturas.com/blog/resinas-acrilicas.php>. (En línea) Consultado 20 de julio del 2017.

1.1.3 Resinas fenólicas: son resinas que se formulan empleando fenoles en

exceso y formaldehído generando una cadena lineal se pueden emplear en pinturas aislantes, selladores y tintas.

1.1.4 Resinas aminadas: Basadas en productos de condensación de la melanina- formaldehído o urea-formaldehído. No son de naturaleza polimérica por lo que se combinan con otro tipo de resinas para hacerlas termoestables. Se utilizan en plastificantes, lacas o barnices.

1.1.5 Resinas vinílicas: con formación de películas duras necesitan un plastificante externo. Éstas requieren de adecuadas preparaciones en superficie y su secado se hace por evaporación de solvente.

1.1.6 Resinas epóxicas: son compuestos sintéticos de diferente grado de polimerización y que necesitan de un agente de curado o catalizador para su secado a temperatura ambiente.⁴

1.2 PIGMENTO

Es la parte sólida de la pintura, está formada por partículas sólidas que se mantienen en suspensión e insolubles en la parte líquida de la pintura, se utilizan para dar opacidad y la coloración a la pintura.⁵

1.3 DIÓXIDO DE TITANIO

Es un pigmento sintético, ampliamente utilizado para las pinturas. Se puede presentar en diferentes formas cristalinas pero la forma rutilo es la más compacta y tiene una gravedad específica más alta, mayor índice de refracción y estabilidad lo que le da una mayor durabilidad.⁶

1.4 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias añadidas a la pintura en pequeñas cantidades, para lograr efectos especiales. Dentro de sus usos más comunes se utilizan como agentes de dispersión, secado, control de viscosidad, estabilidad, flexibilidad, resistencia, brillo, alpicidas, antihongos y bactericidas.

1.4.1 Octoato de cobalto: se utiliza como agente secante para películas de aceites poliinsaturados o resinas a base de los mismos. También ayuda a tener un efecto de blanqueo óptico sobre los materiales a los que es aplicado debido a su

⁴ Guidice, C. A., Pereyra, A.M. Tecnología de pinturas y recubrimientos, Argentina, 10-14, 2009.

⁵ Giúdice, C. A., Benítez, J. C. Pigment dispersion degree and its evolution in storage, Pigment and Resin Technology, Inglaterra, 298-303, 1998

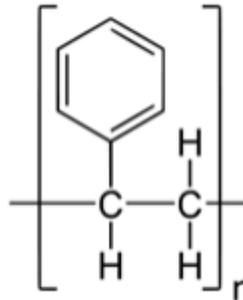
⁶ Croll, S. DLVO Theory Applied to TiO₂ pigments and Other Materials in Latex Paints. Progress in Organic Coatings, 131-146, 2002.

color azul-violáceo.⁷

1.5 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

Denominado técnicamente como un material plástico celular y rígido fabricado a partir de perlas pre-expandidas de poliestireno o uno de sus copolímeros, presentando una estructura cerrada y rellena de aire.

Figura 2. Estructuras químicas de un monómero



Fuente: Departamento de ciencia de polímeros, universidad del sur de Mississippi. "Polystyrene". <http://www.pslc.ws/spanish/styrene.htm>. (En línea) Consultado 20 de julio del 2017.

El poliestireno expandido utilizado en este proyecto va a ser proveniente de envases de comida (poliestireno expandido de baja densidad) cuya vida útil es corta

Figura 3. Poliestireno expandido de baja densidad (envases)



Fuente: "¿Por qué cada vez más ciudades prohíben el Icopor?". Revista Semana. <http://www.semana.com/vida-moderna/articulo/por-que-cada-vez-mas-ciudades-prohiben-el-poliestireno/433365-3>. Departamento de ciencia de polímeros, universidad del sure Mississippi. (En línea) Consultado 20 de julio del 2017.

⁷ Benitez, I, & Velez, J, A, 2013. Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Y poliestireno expandido de residuos de construcción (poliestireno expandido de alta densidad) que comúnmente son desechados en las obras civiles.

Figura 4. Poliestireno expandido de alta densidad (construcción)

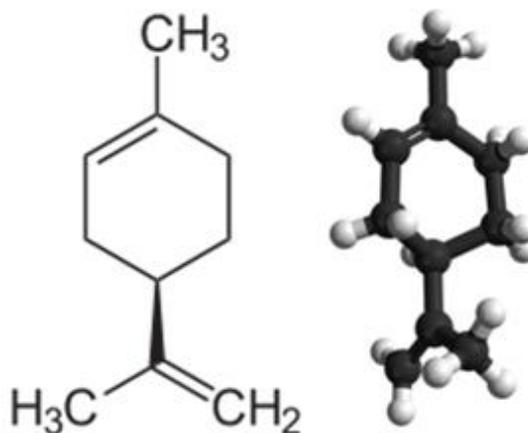


Fuente: Laura Gómez Sánchez “El poliestireno expandido: un material “verde” más allá de promesas ecológicas”. <http://www.grupoisotex.com/dominicana/el-poliestireno-expandido-un-material-verde-mas-alla-de-promesas-ecologicas/>. (En línea) Consultado 20 de julio del 2017.

1.6 D-LIMONENO

Es una sustancia natural que se extrae del aceite de las cáscaras de los cítricos y que da el olor característico a los mismos y perteneciente al grupo de los terpenos, en concreto a de los limonoides, que constituyen una de las más amplias clases de alimentos funcionales y fitonutrientes, funcionando como antioxidantes.⁸

Figura 5. Estructura química del d-limoneno



⁸Jidong Sun. d-limonene: Safety and clinical applications [Consultado en Julio 202017]. Disponible en: <http://www.altmedrev.com/publications/12/3/259.pdf>

Fuente: Jennifer Rocha Vargas. "Compostos químicos na defesa das plantas"; Brasil Escola. <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/compostos-quimicos-na-defesa-das-plantas.htm>. (En línea) Consultado 20 de julio del 2017.

1.6.1 Terpeno: son un grupo muy numeroso, y de gran importancia, de compuestos que participan del metabolismo tanto primario como secundario de plantas y de otros organismos eucariotas, como hongos y animales, y de bacterias. El d-limoneno es un terpeno monocíclico, se caracterizan por presentar 10 átomos de carbono y por lo tanto dos unidades de isopreno.⁹

⁹ Jesús Pala. Contribución al conocimiento de los aceites esenciales del género "eryngium" l, en la península ibérica [Consultado en Julio 202017]. Disponible en: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/bio/ucm-t26240.pdf>

2. METODOLOGÍA GENERAL

En este capítulo se evaluarán los criterios de selección de materias primas y la escogencia de las pruebas de calidad con sus respectivas normas para la obtención de la resina y posteriormente el recubrimiento, los equipos de calidad empleados en Pintuflex S.A.S, materiales y los métodos a seguir, son elementales para desarrollar un producto final con las características de viscosidad, opacidad, brillo, secado, adherencia y resistencia a la intemperie que sea óptimo para compararse contra el esmalte comercial escogido.

2.1 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

En la selección de materias primas se debe tener en cuenta primero la calidad y características del poliestireno expandido reciclado que se va a usar, de igual manera la cantidad de aditivo octoato de cobalto y dióxido de titanio a utilizar para cada una de las muestras.

2.1.1 Poliestireno expandido: el poliestireno expandido, conocido en Colombia como ICOPOR representa la principal materia prima, con una densidad de aproximadamente 10kg/m³. Es estable frente a varios agentes químicos, entre ellos el ácido clorhídrico en concentraciones peso/ volumen (p/v) de 36% y 18%, ácido sulfúrico en concentraciones del 95% y 48%, al ácido acético al 70% y 30% y a alcoholes como el metílico y el etílico.¹⁰ Sin embargo, es susceptible a disolventes como la acetona o el diesel.

El poliestireno expandido que se va a utilizar en el proceso de obtención de la resina va a ser de dos clases puesto; que es reciclado y proviene de varias fuentes, el primero, es poliestireno expandido liviano de residuos de embalajes, envases de comidas y bebidas para el cual no se necesitará mayor limpieza de los mismos, tan solo retirar los restos sólidos y proceder a su degradación con el d-limoneno; el segundo, es poliestireno expandido reforzado, proveniente de una construcción en donde se utiliza para los cielo rasos y para disminuir el uso de concreto entre planchas.

2.1.2 Disolvente: en este caso el disolvente utilizado es el d-limoneno, una molécula mono-terpénica que es el componente principal de las cáscaras de los cítricos, debido a que el poliestireno expandido es un polímero que no es polar, será atacado más fácilmente por solventes que muestren esta misma característica. El solvente se escoge teniendo en cuenta que el d-limoneno tiene una solubilidad parecida a la del tolueno a temperatura ambiente y es capaz de reducir el volumen del poliestireno expandido en una relación de 1/20 en volumen sin alterar el peso molecular gracias a su capacidad antioxidante durante el

¹⁰ Benitez, I, & Velez, J, A, 2013. Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

proceso de degradación.¹¹ A continuación se hace un breve recuento de las propiedades químicas del poliestireno expandido y su comportamiento frente a diversos disolventes.

Tabla 1. Solubilidad del poliestireno expandido en diferentes solventes químicos.

SUSTANCIA ACTIVA	ESTABILIDAD
Solución Salina	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Jabones y soluciones de tensoactivos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Lejías	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos diluidos	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácido clorhídrico (al 35%), ácido nítrico (al 50%)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Ácidos concentrados (sin agua) al 100%	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Soluciones alcalinas	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Disolventes orgánicos (acetona, esteres, etc.)	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Hidrocarburos alifáticos saturados	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Aceites de parafina, vaselina	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie
Aceite de diésel	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Carburantes	No estable: el EPS se contrae o se disuelve
Alcoholes (metanol, etanol, etc.)	Estable: el EPS no se destruye con una acción prolongada
Aceites de silicona	Relativamente estable: en una acción prolongada, el EPS puede contraerse o ser atacada su superficie

Fuente: Arcila I & Miranda J.A . "Evaluación de la producción de pintura a partir de los residuos de poliestireno expandido utilizando un solvente amigable con el medio ambiente"; Colombia. Consultado 20 de julio del 2017.

¹¹ Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. A new recycling System for Expanded Polystyrene using a Natural Solvent. Part 1: A New Recycling Technique. Packaging, Tecnology and Science. 1998.

2.1.3 Pigmento: el pigmento que se utilizó en los ensayos fue el dióxido de titanio en pasta debido a que es uno de los que más se utilizan en la industria y los que mayor poder de cubrimiento poseen. Se optó por utilizar el dióxido de titanio en pasta y no en polvo puesto que la molienda hubiera tardado más para que el recubrimiento quedara con una finura de dispersión aceptable y para el proyecto no se contaba con el equipo agitador Cowles para desarrollar esta tarea.

2.1.4 Aditivos: los aditivos son parte importante de la formulación para efectos de secado, nivelación, espumación, etc. En el caso del recubrimiento a desarrollar se utilizará octoato de cobalto para ayudar a la película a secar de manera más rápida y uniforme después de su aplicación.

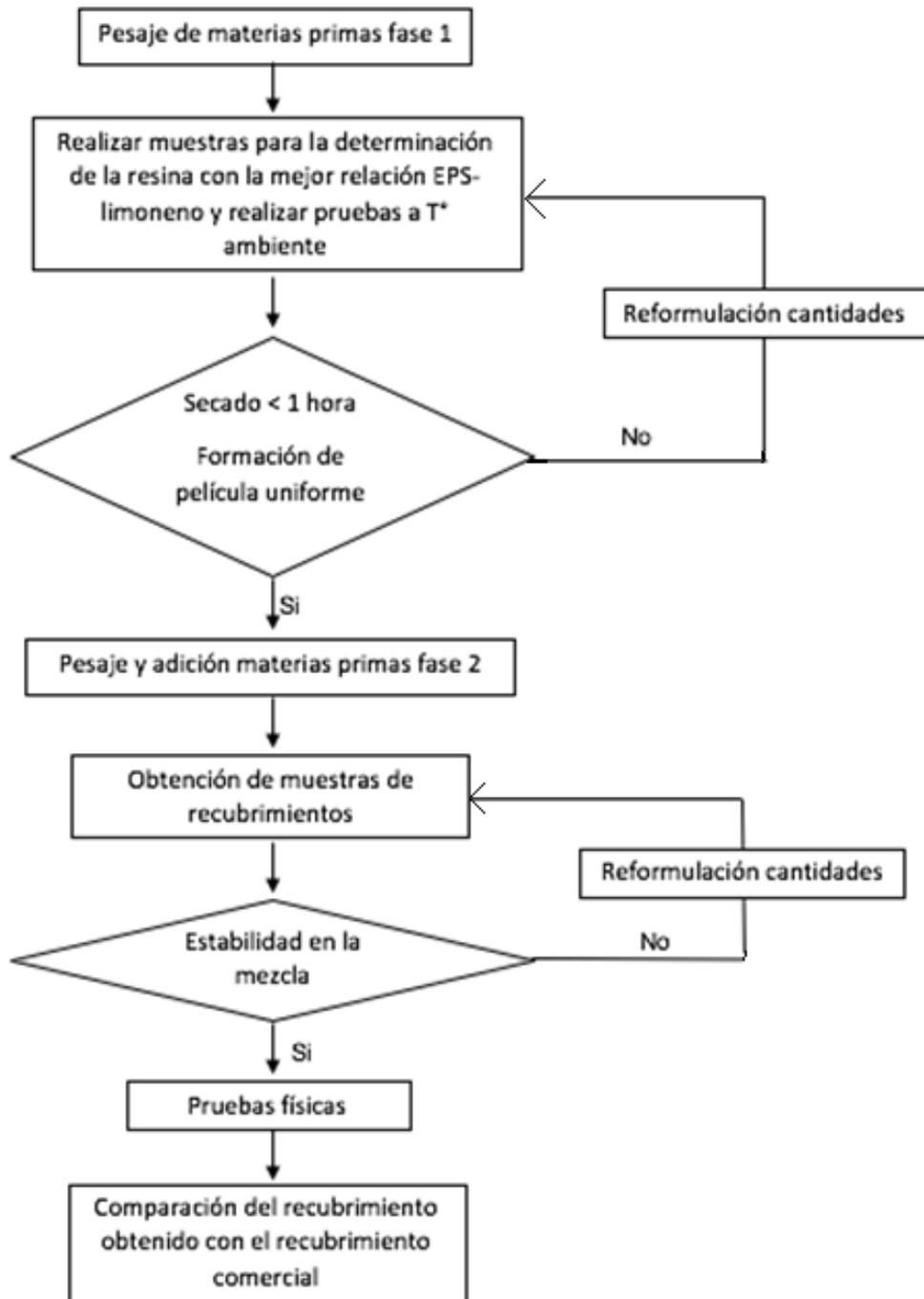
2.2 MÉTODOS

Para la selección de materias primas se tuvo en cuenta que el solvente fuera de origen orgánico y natural, puesto que el objetivo principal del proyecto es hacer un recubrimiento conformado en su mayoría de elementos poco agresivos con el medio ambiente y que representaran a su vez bajos costos, los ensayos se basaron en parte a los procesos de producción de pinturas tipo esmalte en donde se tiene de base un solvente y posteriormente se adicionan resinas, catalizadores y pastas pigmentarias.

Posteriormente se somete la resina a pruebas de estabilidad que no requieren de equipos especiales más que mediciones de tiempo de secado sin catalizador y formación de película en diversas superficies y con la resina que presente el mejor comportamiento se continua hacia la adición del pigmento y el catalizador para mejorar los tiempos de secado. Teniendo varias muestras con diferentes cantidades de materia prima se procedieron a hacer las pruebas físicas pertinentes para determinar cuál tenía las mejores características físicas para pasar a ser comparada con el recubrimiento comercial.

Finalmente se realiza la comparación con el recubrimiento comercial el cual también es sometido a las mismas pruebas físicas en la que están la determinación de la viscosidad, brillo, opacidad, secado, adherencia e intemperie.

Diagrama 1. Diagrama de proceso para el desarrollo de las muestras por fases



2.3 PRUEBAS ESPECÍFICAS PARA CONTROL DE CALIDAD

Las pruebas de control de calidad determinan las propiedades físicas del recubrimiento obtenido a partir de la resina obtenida con el EPS reciclado y el solvente limoneno, y se comparan con las propiedades medidas del recubrimiento comercial.

2.3.1 Requisitos generales: los recubrimientos en sus envases llenos y sin abrir mantenidos en condiciones adecuadas de almacenamiento, no deben endurecerse, gelarse ni formar sedimentos duros y no deben presentar putrefacción ni cambiar su viscosidad en más de 10 KU, mínimo en un año a partir de la fecha de fabricación. Si se presenta algún sedimento éste debe incorporarse fácilmente por agitación manual sin formar espuma persistente.

No podrán utilizarse como ingredientes del producto (bien sea como sustancia o parte de cualquier preparado utilizado) ninguno de los metales pesados siguientes ni sus compuestos: cromo VI, cadmio, plomo, mercurio, arsénico. Se acepta que los ingredientes puedan contener trazas, hasta 0.01% masa/masa (m/m) de estos metales procedentes de las impurezas de las materias primas.¹²

2.3.2 Determinación de viscosidad: el procedimiento se realiza utilizando un viscosímetro Stormer Brookfield KU-2. (Anexo B: equipos utilizados en control de calidad control de calidad). La muestra se coloca en un recipiente de 1/8 de galón, se lleva a una temperatura de 25°C medida con un termómetro Cooper Atkins 36036 (Anexo B: equipos utilizados en control de calidad control de calidad), después se introduce la aguja del viscosímetro en la muestra para así obtener la viscosidad en unidades Krebs (KU), la unidad opera automáticamente al subir o bajar la manija y está igualmente calibrada (Anexo A: calibración de equipos) para que el agitador rote con la velocidad que se indica en la norma.

2.3.3 Determinación del brillo: este procedimiento se realiza según se describe en las normas ISO 2813, 7668 o en la ASTM D 523, D 2457 donde se debe aplicar una película uniforme sobre una superficie de contraste tipo LENETA, la muestra se deja secar y pasado el tiempo de secado se utiliza el espectrofotómetro spectro-guide gloss S (Anexo B: equipos utilizados en control de calidad control de calidad), el equipo tiene una precisión de 0 a 100 UB (unidades de brillo) y se puede hacer la medición independientemente de la temperatura del ambiente. Los resultados pueden clasificarse como alto brillo, semibrillante, semilustre y mate.

2.3.4 Prueba de opacidad: se realiza con el espectrofotómetro, spectro-guide gloss S, y con el aplicador de 3 Mills tipo bird. Una vez hecha la aplicación en la LENETA se deja que el recubrimiento esté completamente seco y se procede a mirar su poder de cubrimiento observando el contraste o variación entre el segmento blanco y el segmento negro. La prueba se realiza siguiendo los

¹² Norma técnica colombiana NTC 1335, generalidades sobre las pinturas al agua tipo emulsión.

parámetros establecidos en la NTC 4974 y el equipo cumple con las normas internacionales ISO 11664, ASTM D 2244 y DIN 5033.

2.3.5 Determinación del secado: las etapas de secado de los recubrimientos son fáciles de detectar, pero difíciles de definir en términos físicos y químicos. El procedimiento comienza aplicando una capa en la tira de vidrio con el aplicador de 50 nanómetros, se ajusta la aguja en la posición inicial, se coloca la tira de vidrio en su lugar y se establece el tiempo que se dejará midiendo el equipo (6, 12, 24 o 48 horas). El equipo utilizado en esta prueba es el Drying Time Recorder de BYK Gardner (Anexo B: equipos utilizados en control de calidad control de calidad), la unidad se apagará automáticamente transcurrido el tiempo seleccionado y se procede a evaluar los resultados. Este equipo cumple con las normas internacionales ASTM D 5895, ISO 9117-4 y DIN 14022.

2.3.6 Prueba de adherencia: el procedimiento se basa en el método de surcos paralelos sobre una o varias capas del recubrimiento. Se realiza con una cuchilla de 6 filos de corte hechas de una aleación de acero endurecido (Anexo B: equipos utilizados en control de calidad control de calidad). Según la norma ASTM D3359 o la ISO 2409 se requieren 6 cortes en cada dirección en relación al tipo y espesor del recubrimiento.

Utilizando la navaja se hacen los dos cortes rectos, primero uno horizontal y luego otro perpendicular al primero, seguidamente se toma la cinta Permacel que se adhiere sobre el área rayada y se quita, lo que genera un desprendimiento de la pintura. Luego de limpiar el área se evalúan los resultados para clasificar el nivel de adherencia según la cantidad de desprendimiento presentado. Los resultados se evalúan de acuerdo a un patrón establecido (Anexo A: calibración de equipos)

2.3.7 Prueba de intemperismo: la prueba se realizará con el método conocido como intemperismo natural o exterior, y se realiza colocando láminas de ETERBOARD con una capa del recubrimiento aplicada con brocha directamente en la luz solar y demás factores climáticos como el viento y la lluvia. La lámina se sitúa en un estante mirando directamente al sur en un ángulo fijo de 45°, el tamaño de la lámina es de 150 x 305 mm. Este procedimiento se realiza siguiendo las normas ISO 877, ISO 2810 para pinturas y barnices y ASTM G7.

Debido a que las pruebas son de intemperismo natural, se dejarán un periodo de 15 días para ver su resistencia en aplicabilidad a exteriores especialmente por la radiación solar para verificar la presencia o ausencia de cuarteamiento, amarillamiento o ampollamiento.

2.4 ANALISIS DE VARIABLES

El objetivo de este tipo de diseño de experimentos es detectar qué factores o interacciones entre factores son significativos realizando un número determinado de experimentos para posteriormente pasar a realizar un experimento más exhaustivo sólo con los factores que en la primera etapa hayan resultado significativos.¹³

El diseño de experimentos analiza variables que se presume afectan las propiedades finales del recubrimiento que se va a obtener, el número de estas variables representa el exponencial “k”; a su vez cada variable tendrá dos niveles de interacción que serán el nivel alto y el nivel bajo. A medida que el proyecto vaya desarrollando las pruebas pertinentes para escoger los niveles altos y bajos de cada una de las variables a analizar (cantidad de resina, catalizador y pigmento), se completará de igual manera la tabla de interacciones para diseño 2^k de donde se podrá sacar un análisis de varianza ANOVA y se podrán observar mucho mejor las influencias de cada una de las cantidades sujetas a las variables y encontrar la mejor formulación final para ser comparada contra el esmalte comercial.

¹³ Ismael Sánchez. Diseño de experimentos factoriales a dos niveles. applications [Consultado en Julio 202017]. Disponible en: http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/leganes/ing_telecomunicacion/metodos_mejora_calidad/MEMC/doc_generica/Temario/CapDosK/CapDosK.pdf

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se habla del método seleccionado para realizar el desarrollo de la resina principal y posteriormente del recubrimiento que se comparará con el recubrimiento comercial.

A lo largo del capítulo, se toman como guía datos experimentales desarrollados en investigaciones relacionadas con el área de recubrimientos y datos de formulaciones generales de pinturas en la fase de adición de catalizador y pigmento para el producto final.

3.1 PROCEDIMIENTO GENERAL

El proceso comienza con la recolección del material. Se emplearán dos tipos de poliestireno expandido reciclado, poliestireno expandido liviano procedente de puestos de comida ambulantes que utilizan platos desechables de este material y residuo de poliestireno expandido reforzado donado por el depósito de construcción CONSTRUYENDO D.C en la ciudad de Bogotá que utiliza este material para las edificaciones.

Tras haber recogido el material se procede a hacer el desarrollo y la selección de la resina base del recubrimiento, para esto se toma una base de cálculo y una relación de poliestireno expandido reciclado con d-limoneno que se ajuste al objetivo del proyecto.

Luego de realizadas las pruebas de selección de la resina base, se procede a la fase de adición de catalizador y pigmento; en esta sección se realiza un diseño de experimentos 2^k , en donde tenemos 3 variables (cantidad de resina, cantidad de catalizador y cantidad de pigmento) y dos niveles (nivel alto y nivel bajo), parámetros que se ajustarán de acuerdo al diseño para encontrar la mejor formulación en el producto final que pasará a ser comparado con un recubrimiento tipo esmalte comercial.

3.2 DESARROLLO Y SELECCIÓN DE LA RESINA PRINCIPAL

Basándose en la literatura, se encontraron varias relaciones utilizadas para realizar la diluciones; se partió del valor de 25mL de d-limoneno por cada 4,5g de residuo de EPS reciclado¹⁴ y se fue variando la cantidad de EPS reciclado observando la solubilidad a temperatura ambiente y aplicando las resinas obtenidas en láminas de ETERBOARD de 150 x 150 mm para someterlas a condiciones ambientales por 15 días simulando un a prueba de intemperismo natural y así observar si la resina era o no útil en el proceso de desarrollo del recubrimiento final, adicionalmente se evaluaron los tiempos de

¹⁴ Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. A new recycling System for Expanded Polystyrene using a Natural Solvent. Part 1: A New Recycling Technique. Packaging, Technology and Science. 1998.

secado con cronómetro para cada una de las resinas aplicadas y se propuso un tiempo máximo de secado de una hora basándose en el tiempo de secado entre manos de un esmalte promedio, aquellas que sobrepasaron el tiempo fueron descartadas inmediatamente sin pasar por las pruebas de intemperismo al igual que las que presentaron escurrimiento exagerado en un ángulo de 45° sobrepasando los límites establecidos en las pruebas aplicadas en la industria a pinturas de base agua que se tenían como criterio de aceptación.

3.2.1 Preparación de las pruebas: para la preparación de cada una de las muestras de resina se utilizó un beaker de 150mL en donde se mezcló la cantidad de poliestireno expandido con el d-limoneno variando las concentraciones de acuerdo a la formulación evaluada.

Figura 6. Proceso de degradación del poliestireno expandido con d-limoneno



1. Medir cantidad de d-limoneno



2. Pesar poliestireno expandido



3. Comenzar la degradación

Se tomaron como referencia las cantidades con las que se realiza el Utilcel¹⁵, en donde se utilizan 10mL de acetato de etilo y 15mL de acetona para degradar 4,5g de poliestireno expandido. Como el proyecto tiene como solvente único el d-limoneno se agregará el total de los 25mL únicamente en este solvente.

¹⁵ Luis Gustavo Guzmán Anguiano. Evaluación de la factibilidad técnica y económica de un nuevo impermeabilizante a base de uncel reciclado como solución a problemas ecológicos y económicos creados por otros impermeabilizantes actuales. [Consultado en Abril 272017]. Disponible en goo.gl/ME62GL

Figura 7. Resina obtenida tras la degradación



Vista lateral



Vista Superior

Se realizaron 9 formulaciones variando la relación principal de 4,5g de poliestireno expandido por cada 25mL de d-limoneno. Los resultados del tiempo de secado y escurrimiento a 45° para cada una de las formulaciones se muestran en las tablas 2 y 3 respectivamente.

Tabla 2. Resultados de los tiempos de secado para las resinas obtenidas.

Formulación	Relación (*)	Poliestireno Expandido (g)	d-limoneno (mL)	Tiempo secado (min)
1	1:1	4,5	25	58
2	1:2	4,5	50	35
3	3:2	13,5	50	50
4	4:2	18	50	42
5	5:2	22,5	50	55
6	2:5	9	125	30
7	2:4	9	100	32
8	2:3	9	75	65
9	2:1	9	25	53

(*) Relación basada en las cantidades que se tomaron para la experimentación (4,5g de poliestireno expandido por cada 25mL de d-limoneno)

Tabla 3. Resultados de la prueba de escurrimiento a 45° para las resinas obtenidas.

Formulación	Relación (*)	Poliestireno Expandido (g)	d-limoneno (mL)	Escurrimiento a 45 grados.
1	1:1	4,5	25	ACEPTABLE
2	1:2	4,5	50	ACEPTABLE
3	3:2	13,5	50	ACEPTABLE

Tabla 3. (Continuación)

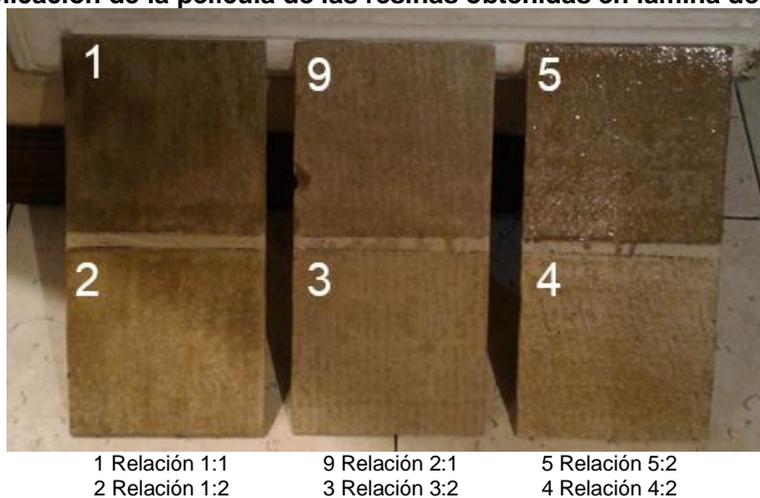
4	4:2	18	50	NO PRESENTA
5	5:2	22,5	50	NO PRESENTA
6	2:5	9	125	EXAGERADO
7	2:4	9	100	EXAGERADO
8	2:3	9	75	EXAGERADO
9	2:1	9	25	ACEPTABLE

(*) Relación basada en las cantidades que se tomaron para la experimentación (4,5g de poliestireno expandido por cada 25mL de d-limoneno)

La máxima relación de poliestireno expandido degradado que se logró fue de 22,5g de poliestireno por cada 50mL de d-limoneno, después de esta cantidad el poliestireno expandido ya no es degradado y se presentan grumos en la muestra.

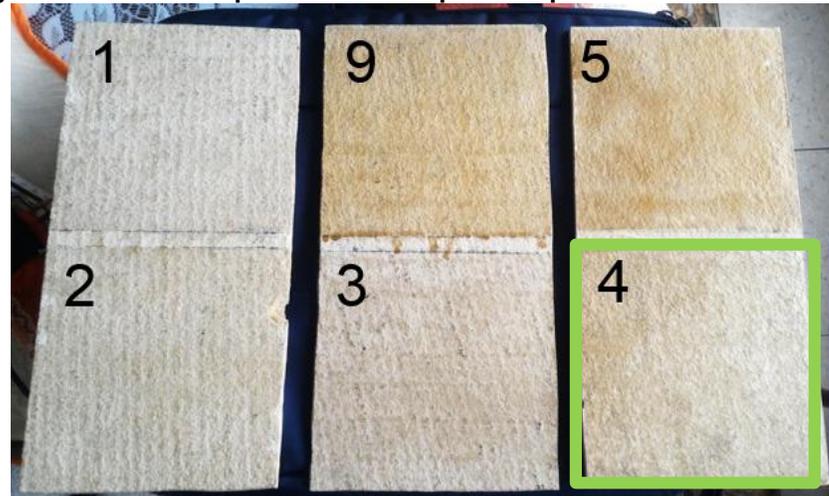
En la Figura 8 se observan las láminas de ETERBOARD con 6 de las 9 pruebas realizadas. Se descartaron las pruebas 6, 7 y 8 por tiempos de secado y por exceso en el escurrimiento presentado (sección 3.2). Estas 6 pruebas de aplicación se llevarán a la prueba de intemperismo para observar su desempeño tras 15 días a condiciones ambientales y su resistencia al cuarteamiento que depende de la uniformidad de la película aplicada y de la calidad de la resina acrílica obtenida para que no sea susceptible a levantarse de la superficie en la que fue aplicada mostrando grietas, también se evaluará la resistencia al amarillamiento que depende de la manera en la que se comporte la película aplicada una vez este seca y se someta a condiciones de luz solar directa y la resistencia al ampollamiento que está relacionada con la capacidad de la película de soportar la humedad tanto del ambiente como de la superficie en donde fue aplicada; de no tener una respuesta adecuada en estas pruebas de intemperismo se deberá hacer una reformulación con nuevas cantidades de poliestireno expandido y d-limoneno hasta encontrar una resina que soporte las condiciones de evaluación con los resultados esperados.

Figura 8. Aplicación de la película de las resinas obtenidas en lámina de ETERBOARD



3.2.2 Análisis de resultados prueba de intemperismo: tras observar los resultados de las pruebas de intemperismo, se evidenció que todas las resinas aplicadas tenían propiedades hidrofóbicas, pero algunas de las aplicaciones con el paso del tiempo perdieron algunas de sus características por lo cual se descartaron. (Ver Figura 9)

Figura 9. Resultados prueba de intemperismo para las resinas obtenidas



1 Relación 1:1 9 Relación 2:1 5 Relación 5:2
 2 Relación 1:2 3 Relación 3:2 4 Relación 4:2

Recuadro: apariencia de la aplicación de la resina principal escogida

Al analizar las formulaciones 1, 2 y 3 se notó una pérdida casi total del espesor de película lo cual significa que parte de la resina se absorbió en el ETERBOARD o se disolvió con las condiciones climáticas y esto supone que, si se trabaja con estas resinas, la opacidad va a dar demasiada baja y se van a necesitar mayores cantidades de pigmento para contrarrestar la falta del poder de cubrimiento, por ello se descartan.

A pesar de que la formulación 5 podía dar una mayor degradación del residuo de poliestireno, la película se tornó demasiado amarilla tras los 15 días en la intemperie y aunque conservó su brillo, su propiedad hidrofóbica y espesor de película sin cambios, se descarta porque en la aplicación final tras el proceso de pigmentación con TiO_2 es muy posible que de una aplicación con un color distorsionado y se necesitaría más pigmento para contrarrestar el amarillamiento.

De igual manera se determinó que la mejor relación para la resina principal es la de la formulación numero 4 (18 g de poliestireno expandido por cada 50mL de D-limoneno, relación 4:2) puesto que fue la aplicación que menos presentó amarillamiento, conservó su brillo, su propiedad hidrofóbica y un espesor de película normal. Esta relación de resina es la que se utilizará como base para los ensayos posteriores.

Finalmente, para la formulación 9 se observó un ligero amarillamiento que puede suponer los mismos problemas de la formulación 5 y aunque se esperaba un comportamiento parecido al de la formulación número 4 debido a su idéntica relación de cantidades se descarta pues no tiene ventajas con respecto a las otras pruebas.

Para analizar este diseño de formulaciones es importante tener en cuenta que se fueron modificando las cantidades de las dos variables (poliestireno expandido y d-limoneno), posteriormente se observó que la variable que dio mejor respuesta fue la adición de poliestireno expandido y la evidencia es que en las 4 formulaciones que mantuvieron el volumen del d-limoneno constante (formulaciones 2, 3, 4 y 5) y varió solo la cantidad de poliestireno expandido, se obtuvieron resultados satisfactorios en las pruebas tanto de tiempo como de escurrimiento, de la misma manera las formulaciones en donde se elevó la cantidad de d-limoneno (formulaciones 6, 7, 8 y 9) tuvieron una consistencia más líquida como era de esperarse y solo una de las formulaciones (formulación 9) superó las dos pruebas de manera satisfactoria, aunque, como se mencionó anteriormente la relación de ésta formulación es idéntica a la relación de la formulación número 4.

3.3 ADICIÓN DE CATALIZADOR (SECANTE)

Antes de realizar el modelo 2^K era importante comprobar la compatibilidad del octoato de cobalto con la resina desarrollada en la sección 3.2.1, para ello las pruebas se llevaron a cabo a pequeña escala en el beaker de 150mL utilizado anteriormente. Con la relación 4:2 de resina que se escogió, la cantidad de resina resultante fue de 100mL, las cantidades de octoato de cobalto se extrajeron de formulaciones de pintura comercial y de proyectos en los que se han desarrollado recubrimientos de la misma naturaleza¹⁶, haciendo la conversión con una regla de tres simple para la cantidad con la que se trabajó utilizando la Ecuación 1.

Ecuación 1. Obtención de los gramos de octoato de cobalto para 100 mL

$$g \text{ de octoato necesario} = \frac{100\text{mL} \times \text{cantidad de octoato (g)}}{\text{Volumen de la muestra (mL)}}$$

Se realizaron pruebas testeando las diferentes cantidades encontradas en la literatura y se observó la optimización en los tiempos de secado de cada ensayo. Se puso como objetivo realizar una mejora de los tiempos de secado en al menos

¹⁶ Benitez, I, & Velez, J, A, 2013. Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.
Tracton A.A., COATINGS TECHNOLOGY FUNDAMENTALS, TESTING AND PROCESSING TECHNIQUES, Third Edition, USA, 2006.

10 minutos, las aplicaciones nuevamente se hicieron en láminas de ETERBOARD y se observó la calidad de la aplicación tras la adición del secante.

El octoato de cobalto, además de ser un aditivo cuya principal función es la de oxidar la resina para desarrollar un adecuado secado, también aporta una tonalidad violeta (Figura 10) que al secarse queda translúcida y que mezclado posteriormente con el dióxido de titanio ayuda a resaltar la blancura de la película.

Figura 10. Mezcla del octoato de cobalto con la resina principal



3.3.1 Análisis de la adición de catalizador: como se mencionó anteriormente se trabajaron cantidades de octoato de cobalto propias de formulaciones existentes para esmaltes y recubrimientos en base solvente con d-limoneno, se trabajaron en total cuatro concentraciones diferentes y se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados adición de octoato de cobalto

Prueba	Cantidad de octoato de cobalto por cada 100mL de resina (g)	Mejora en el tiempo de secado (min)
1	0,35	0
2	1,26	11
3	2,11	19
4	3,76	21

Se decidió descartar las pruebas 1 y 4 (0,35 g y 3,76 g respectivamente), pues a pesar de que la adición de los 3,76g de octoato de cobalto a la resina mejoran el tiempo de secado en 21 minutos, no hay una mejora significativa de este valor con respecto a la adición de 2,11 g. De estas pruebas se extraen los dos niveles para llevar a cabo el diseño 2^K (2,11 g de catalizador como nivel alto y 1,26 g de

catalizador como nivel bajo) para las pruebas finales que serán sometidas a análisis de laboratorio, el ajuste de las cantidades para los contenedores de 1/8 de galón (473mL) se hace de manera lineal.

3.4 ADICIÓN DEL PIGMENTO (DIÓXIDO DE TITANIO)

Como se explicó en la sección 3.3 es importante hacer primero pruebas con pequeñas cantidades de producto para no tener desperdicios de reactivos, por ello nuevamente se hacen las pruebas en el beaker de 150mL con los 100mL de resina principal y en este paso se tienen adicionados 2,11g de catalizador (prueba 3) observar más claramente cómo se comportará el recubrimiento final compuesto por resina, catalizador y pigmento.

En adición de pigmentos se encontraron más formulaciones existentes y se trabajó con 8 de estas, algunas necesitaban cantidades demasiado elevadas de pigmento por lo cual no se llevó a cabo su preparación, para algunas formulaciones se debió realizar un cambio de unidades con respecto a los valores consultados para 100 mL de resina como se muestra en la Ecuación 2.

Ecuación 2. Obtención de los gramos de pigmento por cada 100mL de resina catalizada

$$\text{valor referenciado} \left(\frac{\text{lb}}{\text{gal}} \right) * \frac{453,592\text{g}}{1\text{ lb}} * \frac{1\text{ gal}}{3,785\text{ L}} * \frac{1\text{ L}}{1000\text{ mL}} * 100\text{ mL} = \text{g de TiO}_2$$

En la tabla 5 se observan las diferentes cantidades de pigmento (TiO₂) utilizados, se tomaron valores existentes de formulaciones de pintura en diversos tipos de base (agua, solvente y aceite) para ensayar con cuál de estos valores el recubrimiento tendría un mejor comportamiento, en primer lugar se tienen dos valores extraídos del manual de Tracton A.A¹⁷ que son utilizados en formulaciones para elaboración de pinturas a base agua, para la prueba 1 se convirtió mediante la ecuación 2 una cantidad de 34,99lb/gal de TiO₂ para la cantidad de los 100mL de resina catalizada que se están manejando, de igual manera para la prueba 2 en donde el peso era de 10,5lb/gal. Para la prueba 3 se tomó como referencia la formulación de una pintura látex comercial en donde se utilizaba una cantidad de 2,2kg por cada 19L de pintura (un cuñete), de allí que al hacer la conversión lineal el valor de la prueba 3 para los 100mL de resina catalizada fuera de 11,58g. En la prueba 4 se utilizó una formulación de un esmalte comercial¹⁸ base solvente (varsol) que utiliza 2,8kg de pasta pigmentaria de TiO₂ para obtener 19L (un cuñete) de pintura terminada, nuevamente al hacer la conversión lineal a los 100mL de resina catalizada se obtienen los 14,95g utilizados de en prueba 4. Para

¹⁷ Tracton A.A., COATINGS TECHNOLOGY FUNDAMENTALS, TESTING AND PROCESSING TECHNIQUES, Third Edition, USA, 2006.

¹⁸ Esmalte comercial sintético ORBITEX®. Pintuflex S.A.S

la prueba 5 el valor se extrajo de la conversión de una formulación comercial para 600 galones de pintura en base agua, en donde se utilizan 400kg de TiO₂ que para los 100mL de resina catalizada arrojan el valor de 17,6g expresado. Finalmente, para las pruebas 6, 7 y 8, se utilizaron cantidades de pigmento de otros dos proyectos que han trabajado el reciclaje de poliestireno expandido mediante la degradación de d-limoneno para realizar recubrimientos.¹⁹

Tabla 5. Resultados adición de pigmento

Prueba	Cantidad dióxido de titanio por cada 100mL de resina (g)	Tipo de base de la formulación
1	419	Agua
2	125,831	Agua
3	11,58	Agua (Pintura Látex)
4	14,95	Esmalte (Comercial)
5	17,6	Agua (Comercial)
6	1,04	Solvente (d-limoneno)
7	4,64	Solvente (d-limoneno)
8	0,76	Solvente (d-limoneno)

3.4.1 Análisis de resultados adición de pigmento: aunque se tomaron formulaciones existentes como ya se mencionó, finalmente hubo algunas que no pudieron implementarse, ya sea por el tipo de base de la pintura para la que fueron desarrolladas las formulaciones o que son para lotes de 50 galones en adelante, no tenían viabilidad en el desarrollo del recubrimiento del proyecto.

Dentro de las primeras pruebas descartadas se encuentran la prueba 1 y la prueba 2, pues no pudieron realizarse debido a la exagerada cantidad de pigmento que necesitaban y que no era posible diluir en solo 100mL de la resina catalizada con la que se estaba trabajando.

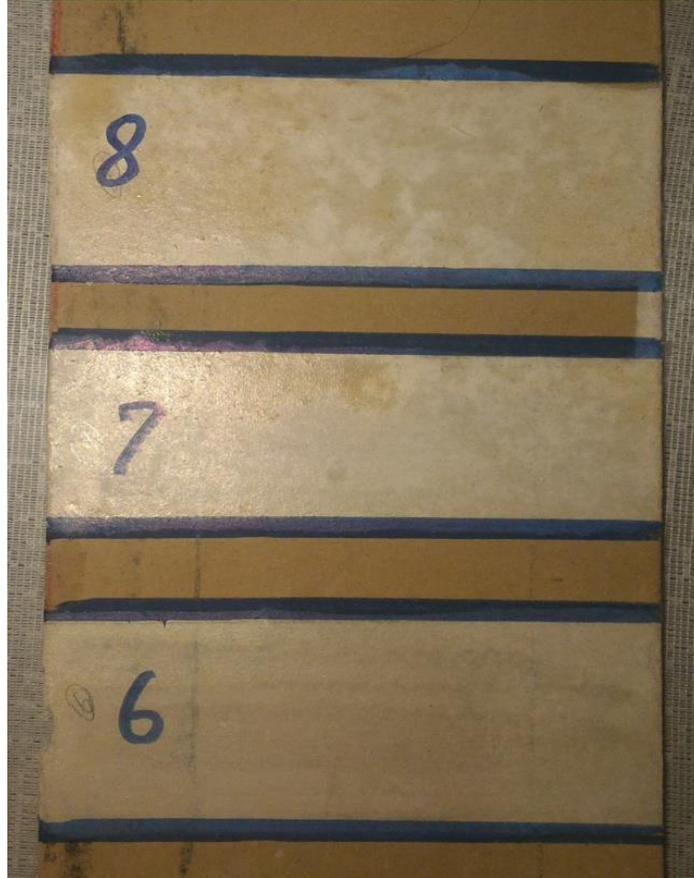
Por otro lado, las pruebas 6, 7 y 8 se realizaron con muy poco éxito, ya que era muy poca la cantidad de pigmento y el aspecto en la aplicación de la resina no cambiaba significativamente con estas cantidades, tenía un bajo poder de

¹⁹ Benitez, I, & Velez, J, A, 2013. Obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Arcila I, & Miranda, J, A, 2015. Evaluación de la producción de pintura a partir de los residuos de poliestireno expandido utilizando un solvente amigable con el medio ambiente (tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

cubrimiento y una vez secaron su apariencia no era homogénea presentando zonas blancas y amarillas poco estéticas. (Ver Figura 11)

Figura 11. Resultados aplicación de las pruebas 6, 7 y 8 descartadas por bajo cubrimiento



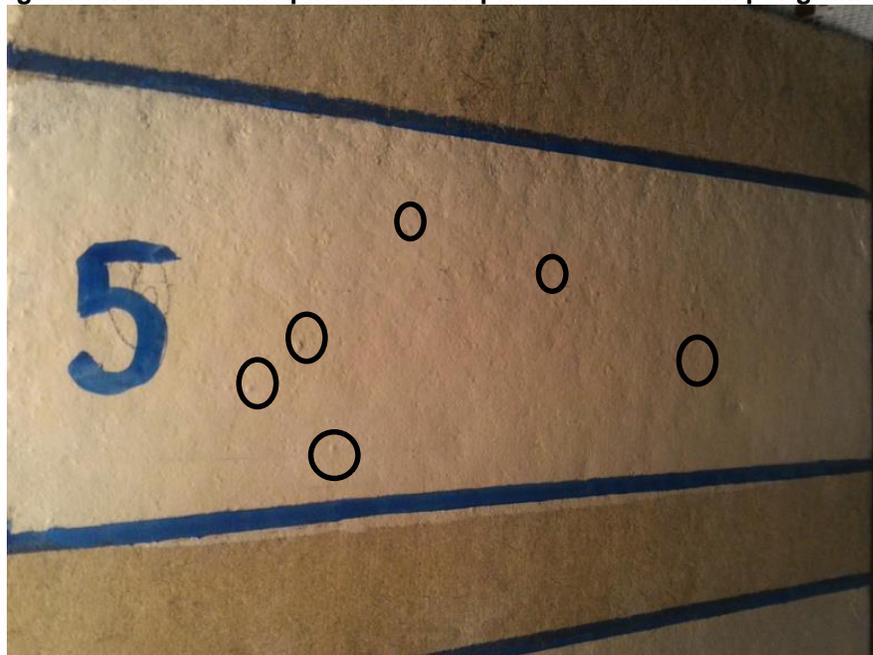
Las pruebas 3 y 4 mostraron resultados sobresalientes en cuanto a aplicación, poder de cubrimiento y tuvieron una buena finura de dispersión en la película, se observó también que la aplicación 4 tiene un color blanco más intenso que la aplicación 3 gracias a su mayor cantidad de TiO_2 (Figura 12), de estos dos valores se tomaron los dos niveles para desarrollar el diseño 2^k .

Figura 12. Resultados aplicación de las pruebas 3 y 4 escogidas para el diseño 2^k



A pesar de tener un buen contenido de dióxido de titanio, lo que se traduciría en mayor poder de cubrimiento, la prueba 5 se descarta puesto que por la cantidad de pigmento se hizo complicada la disolución del mismo y en su aplicación quedan pequeños grumos del pigmento generando mal aspecto. (Ver Figura 13)

Figura 13. Resultados aplicación de la prueba 5 descartada por grumos



3.5 DESARROLLO DEL RECUBRIMIENTO

Según Tracton A. A.²⁰ se escogió como modelo para hacer el diseño de experimentos el modelo 2^3 en donde se tiene un sistema de dos niveles (alto y bajo) con 3 variables que afectan las propiedades del recubrimiento final las cuales son cantidad de resina, cantidad de catalizador y cantidad de pigmento. Debido a que la prueba de viscosidad requiere hacerse con muestras de mínimo 1/8 de galón (473 mL) los niveles se modificaron linealmente de los resultados obtenidos en las secciones 3.3 y 3.4 con las muestras de 100mL de resina para esta cantidad como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6. Variables y niveles empleados para la obtención del recubrimiento.

Variables (g)	Valor para 1/8 de galón	Nivel
A - Resina	270,9	1 Alto
	220	-1 Bajo
B - Catalizador	10	1 Alto
	6	-1 Bajo
C- Pigmento	70,74	1 Alto
	54,76	-1 Bajo

Para determinar las corridas del diseño de experimentos se utilizó el software MINITAB 17 (versión gratuita), así se obtuvieron las interacciones entre los niveles y las variables para obtener los 8 ensayos (Tabla 7) con dos réplicas de cada ensayo.

Tabla 7. Diseño de las interacciones

Experimento	Resina (A)	Catalizador (B)	Pigmento (C)	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

Se debe aclarar que en la tabla 7 solo se muestran 8 de las 16 interacciones que se van a evaluar debido a que las interacciones que comprenden de la 9 a la 16 son las réplicas de las interacciones 1 a la 8, lo que hace que la tabla se repita.

²⁰ Tracton A.A., COATINGS TECHNOLOGY FUNDAMENTALS, TESTING AND PROCESSING TECHNIQUES, Third Edition, USA, 2006.

Se realizaron dos replicas con el fin de observar de una mejor manera el comportamiento de cada una de las formulaciones y de esta manera tener más datos para entrar a analizar los gráficos de interacciones y la importancia de cada variable.

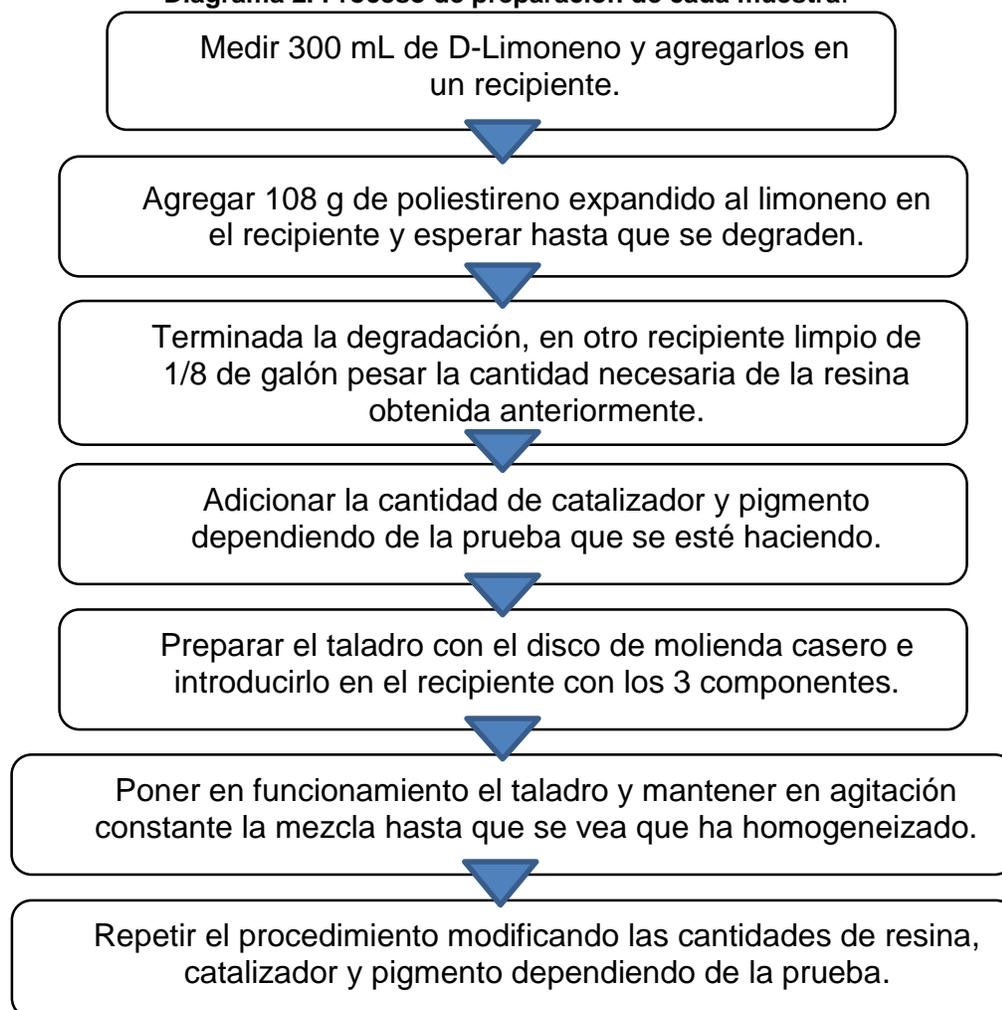
3.5.1 Preparación de las muestras: para la preparación de las 16 muestras que se evaluaron se necesitaron 4,8 litros de d-limoneno, 1.728g de poliestireno expandido, 1.004g de dióxido de titanio y 128g de octoato de cobalto. Al no contar con un equipo agitador Cowles para hacer las mezclas se optó por utilizar un taladro graduable y un prototipo de disco de molienda (Figura 14) para facilitar la agitación constante durante el tiempo necesario de homogeneización, después de tener agitada cada muestra se procedió a dejar los recipientes en reposo para ver como se comportaba el recubrimiento obtenido, pues como se explicó en la sección 2.3.1, una pintura o un recubrimiento debe mantenerse homogéneo con el paso del tiempo y si alguna de las muestras llegaba a perder la homogeneidad sería descartada sin pasar por las pruebas finales de control de calidad.

Figura 14. Prototipo de disco de molienda.



En el diagrama 2 se explica paso a paso la preparación de cada muestra.

Diagrama 2. Proceso de preparación de cada muestra.



Posteriormente se enviaron las muestras obtenidas a los laboratorios de Pintuflex S.A.S. en donde se hicieron las pruebas de calidad de cada una.

3.5.2 Resultados de las pruebas de calidad y análisis: con los resultados de las pruebas de laboratorio se procedió a hacer el análisis estadístico y la determinación de la mejor formulación para ser comparada con el recubrimiento comercial tipo esmalte, para todos los resultados se utilizó nuevamente el software MINITAB 17 (versión gratuita).

3.5.2.1 Viscosidad: La viscosidad deseada en el recubrimiento para comparar contra el comercial es deseada entre los 120KU y los 130KU, viscosidad que manejan las pinturas en agua tipo emulsión.

Tabla 8. Resultados de viscosidad

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Viscosidad (KU)
1	220,9	6	54,76	125,3
2	270,0	6	54,76	139,7
3	220,9	10	54,76	116,7
4	270,0	10	54,76	136,6
5	220,9	6	70,74	130,5
6	270,0	6	70,74	140,0
7	220,9	10	70,74	131,2
8	270,0	10	70,74	141,0
9	220,9	6	54,76	124,8
10	270,0	6	54,76	138,7
11	220,9	10	54,76	117,5
12	270,0	10	54,76	136,0
13	220,9	6	70,74	128,7
14	270,0	6	70,74	138,3
15	220,9	10	70,74	138,2
16	270,0	10	70,74	139,3

En la Tabla 8 se tiene valor de viscosidad en KU para cada una de las pruebas, con estos valores se hace un análisis del diseño de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) y se obtiene la información de la ANOVA (Tabla 9) para determinar cuáles son las variables que afectan directamente la viscosidad en cada prueba.

Analizando los datos obtenidos se concluye que las variables que afectan la viscosidad son la cantidad de resina y la cantidad de pigmento, para la resina era de esperarse pues por estar en mayor cantidad se supondría que aportaría la mayor influencia sobre la viscosidad y la influencia del pigmento se atribuye al hecho de que se utilizó el TiO₂ líquido para facilitar la molienda en lugar de utilizarlo en polvo.

Tabla 9. ANOVA para variable respuesta viscosidad (*)

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA VISCOSIDAD					
Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
A	1	584,432	584,431	155,15	0,000
B	1	5,641	5,641	1,500	0,256
C	1	168,351	168,351	44,69	0,000
AB	1	0,226	0,226	0,060	0,813
AC	1	84,181	84,181	22,35	0,001
BC	1	71,826	71,826	19,07	0,002

Tabla 9. (Continuación)

Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
ABC	1	20,931	20,931	5,56	0,046
Error	8	30,135	3,767	N/A	N/A
Total	15	965,719	-	-	-

A: Resina, B: Catalizador, C: Pigmento.

(*) Se prescindió de algunos valores para hacer más práctica la visualización de la influencia de variables respuesta, la ANOVA completa podrá consultarse en el Anexo C: resultados del análisis de la varianza MINITAB 17.

R-cuadrado: 96,88%

R-cuadrado ajustado por grado de libertad (GL): 94,15%

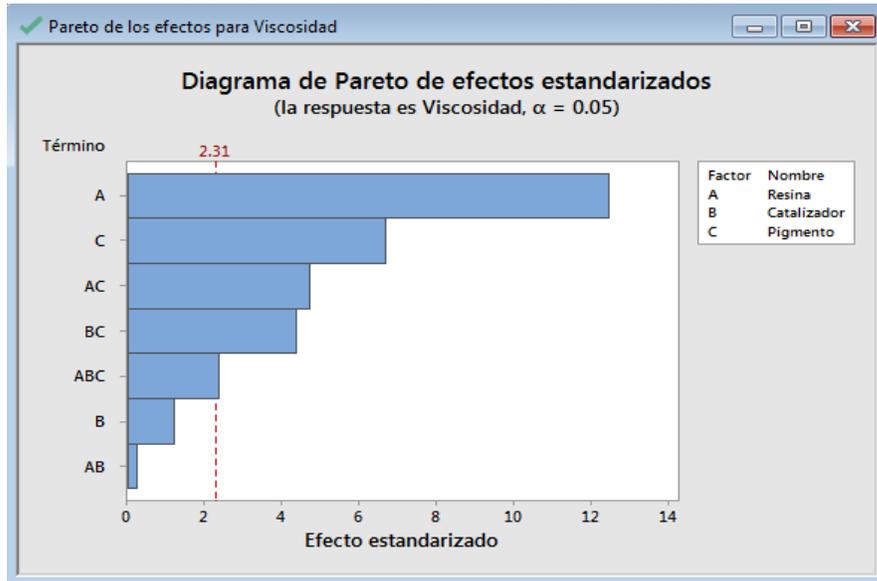
S: 1,94084

Fuente: MINITAB 17.

El estadístico R-cuadrado, indica que el modelo ajustado explica el 94,15% de la variabilidad en la viscosidad de cada prueba, 5 de los 7 valores tienen un P menor a 0,05 y tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la viscosidad con un 95% de nivel de confianza.

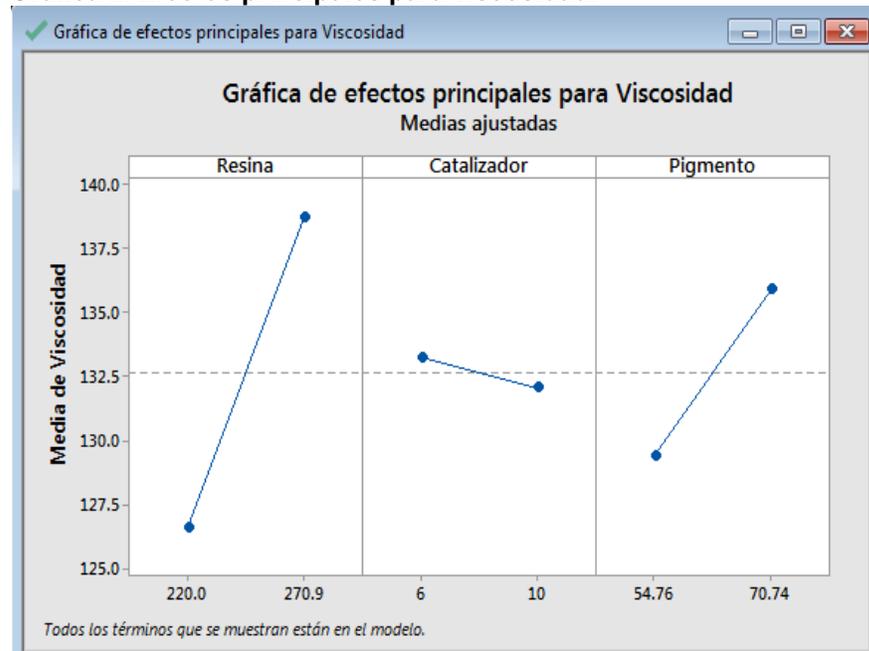
Para ver más claramente el efecto de cada variable e interacción sobre la viscosidad se desarrolla el diagrama de Pareto para el análisis (Grafica 1). Los diagramas de Pareto que se mostrarán de ahora en adelante se utilizarán para determinar la magnitud y la importancia de los efectos. En el diagrama de Pareto, las barras que cruzan la línea de referencia son estadísticamente significativas, en el caso de todas las pruebas de calidad aplicadas a los recubrimientos la línea de referencia toma el valor de 2,31 y es fácilmente identificable en diagrama. En la gráfica 2 se puede observar de otra manera la influencia de los efectos de cada una de las variables sobre la viscosidad en un rango de 125 a 140KU, se evidencia que a mayor cantidad de resina y pigmento aumenta el grado de viscosidad mientras que a mayor cantidad de catalizador se presenta una disminución.

Gráfica 1. Pareto del efecto de las variables en la viscosidad.



Fuente: MINITAB 17

Gráfica 2. Efectos principales para viscosidad.



Fuente: MINITAB 17

3.5.2.2 Brillo: el brillo deseado en el recubrimiento para comparar contra el comercial debe oscilar entre las 50 y las 70 unidades de brillo (semibrillante). La tabla 10 muestra los resultados obtenidos para cada una de las muestras.

Tabla 10. Resultados de brillo.

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Brillo UB
1	220,9	6	54,76	67,4
2	270,0	6	54,76	35,9
3	220,9	10	54,76	16,7
4	270,0	10	54,76	59,4
5	220,9	6	70,74	57,1
6	270,0	6	70,74	38,5
7	220,9	10	70,74	30,0
8	270,0	10	70,74	65,7
9	220,9	6	54,76	66,9
10	270,0	6	54,76	37,2
11	220,9	10	54,76	15,1
12	270,0	10	54,76	54,5
13	220,9	6	70,74	56,4
14	270,0	6	70,74	36,4
15	220,9	10	70,74	30,5
16	270,0	10	70,74	58,2

Para determinar las variables que más influencia tienen sobre el brillo se hace un análisis de la varianza (Tabla 11).

Tabla 11. ANOVA para variable de respuesta brillo (*)

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA BRILLO					
Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
A	1	130,53	130,53	23,23	0,001
B	1	269,78	269,78	48,01	0,000
C	1	24,26	24,26	4,320	0,071
AB	1	3760,076	3760,076	669,2	0,000
AC	1	0,95	0,95	0,170	0,692
BC	1	208,08	208,08	37,03	0,000
ABC	1	106,61	106,61	18,97	0,002
Error	8	44,95	5,62	N/A	N/A
Total	15	4545,91	-	-	-

A: Resina, B: Catalizador, C: Pigmento.

(*) Se prescindió de algunos valores para hacer más práctica la visualización de la influencia de variables respuesta, la ANOVA completa podrá consultarse en el Anexo C: resultados del análisis de la varianza MINITAB 17.

R-cuadrado: 99,01%

R-cuadrado ajustado por GL: 98,15%

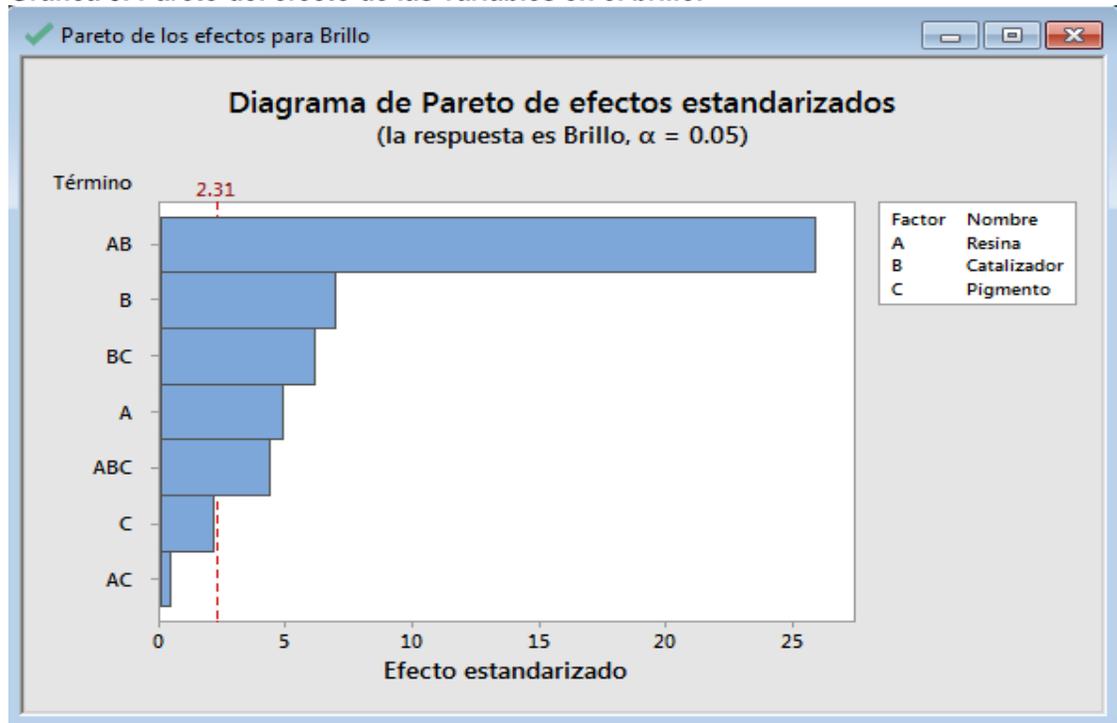
S: 2,37052

Fuente: MINITAB 17.

El análisis de la tabla ANOVA muestra que para el brillo, tanto la cantidad de resina como la de catalizador son significativas. Se muestran nuevamente 5 valores P por debajo de 0,05, sin embargo, las variables por separado no demuestran tanta influencia como la interacción AB (resina-catalizador).

Adicionalmente se tiene un valor de R-cuadrada bastante alto, lo que indica que el modelo ajustado explica el 98,15% de la variabilidad en el brillo para cada prueba.

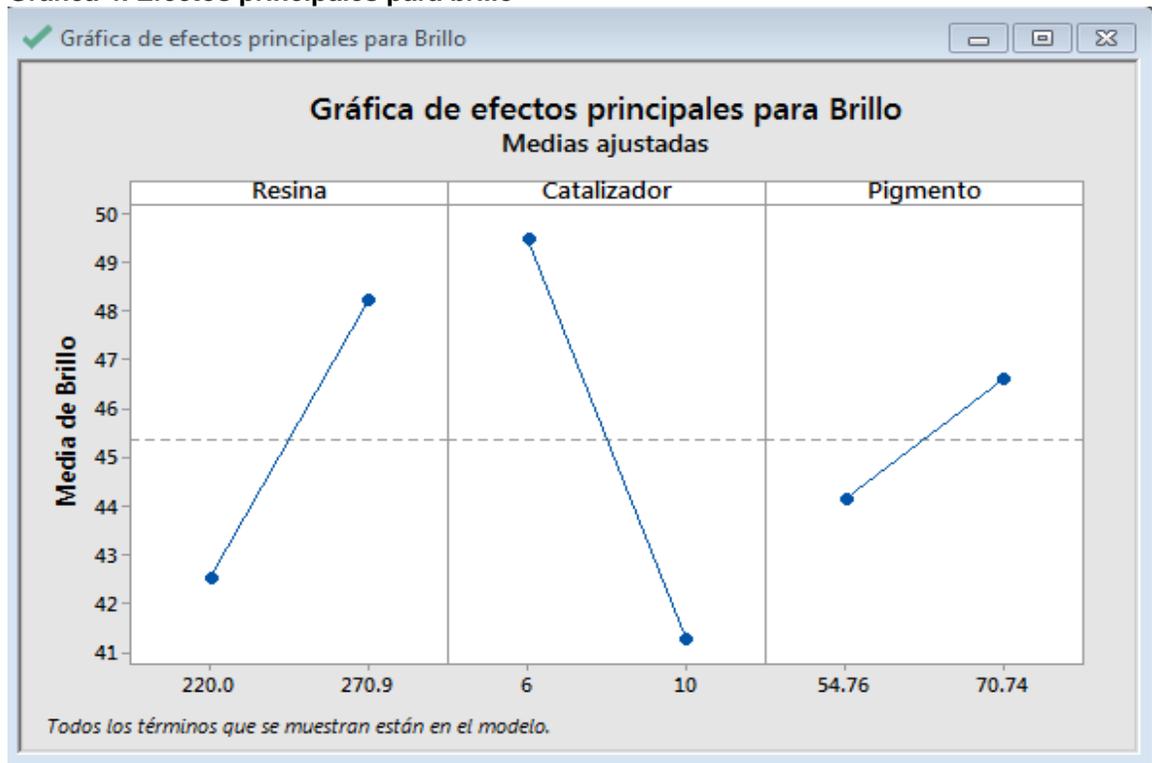
Gráfica 3. Pareto del efecto de las variables en el brillo.



Fuente: MINITAB 17

En el diagrama de Pareto (Gráfica 3) se observa el efecto que tiene cada uno de los factores y su interacción con respecto a la respuesta para el brillo. Se demuestra gráficamente que a pesar de la influencia de las 5 interacciones que tienen valores menores a 0.05 la relación que se debe tener en cuenta es la de la cantidad de resina mezclada con catalizador. En la Gráfica 2 se observa la influencia de los efectos para el brillo en un rango de 41 a 50UB.

Gráfica 4. Efectos principales para brillo



Fuente: MINITAB 17

Por otro lado, en la Gráfica 4 se evidencia que las 3 variables hacen aumentar el valor del brillo y se puede determinar que a mayor cantidad de resina y menor cantidad de catalizador el brillo aumenta, pero el catalizador se utiliza para agilizar el secado de cada muestra, por lo que se afectaría el tiempo de secado al hacer una relación de esta manera.

3.5.2.3 Opacidad: el poder de cubrimiento que se desea manejar en el recubrimiento debe estar por encima del 90% tomando como referencia el cubrimiento que reflejan los esmaltes comerciales. En la tabla 12 se pueden observar los resultados obtenidos para la opacidad de cada muestra.

Tabla 12. Resultados de opacidad.

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Opacidad (%)
1	220,9	6	54,76	86,72
2	270,0	6	54,76	84,31
3	220,9	10	54,76	88,00
4	270,0	10	54,76	65,77
5	220,9	6	70,74	93,21

Tabla 12. (Continuación)

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Opacidad (%)
6	270,0	6	70,74	92,18
7	220,9	10	70,74	98,42
8	270,0	10	70,74	94,22
9	220,9	6	54,76	85,32
10	270,0	6	54,76	85,20
11	220,9	10	54,76	97,80
12	270,0	10	54,76	62,20
13	220,9	6	70,74	94,33
14	270,0	6	70,74	89,80
15	220,9	10	70,74	88,00
16	270,0	10	70,74	93,27

Para determinar las variables que más influencia tienen sobre la opacidad se hace un análisis de la varianza con respecto a cada factor (Tabla 13) y sus interacciones entre sí.

Tabla 13. ANOVA para variable de respuesta opacidad (*)

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA OPACIDAD					
Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
A	1	262,85	262,85	18,45	0,003
B	1	34,19	34,19	2,40	0,160
C	1	485,21	485,21	34,06	0,000
AB	1	148,05	148,05	10,39	0,012
AC	1	195,09	195,09	13,69	0,006
BC	1	64,68	64,68	4,54	0,066
ABC	1	239,71	239,71	16,83	0,003
Error	8	113,97	14,25	N/A	N/A
Total	15	1543,75	-	-	-

A: Resina, B: Catalizador, C: Pigmento.

(*) Se prescindió de algunos valores para hacer más práctica la visualización de la influencia de variables respuesta, la ANOVA completa podrá consultarse en el Anexo C: resultados del análisis de la varianza MINITAB 17.

R-cuadrado: 80,52%

R-cuadrado ajustado por GL: 67,54%

S: 2,37052

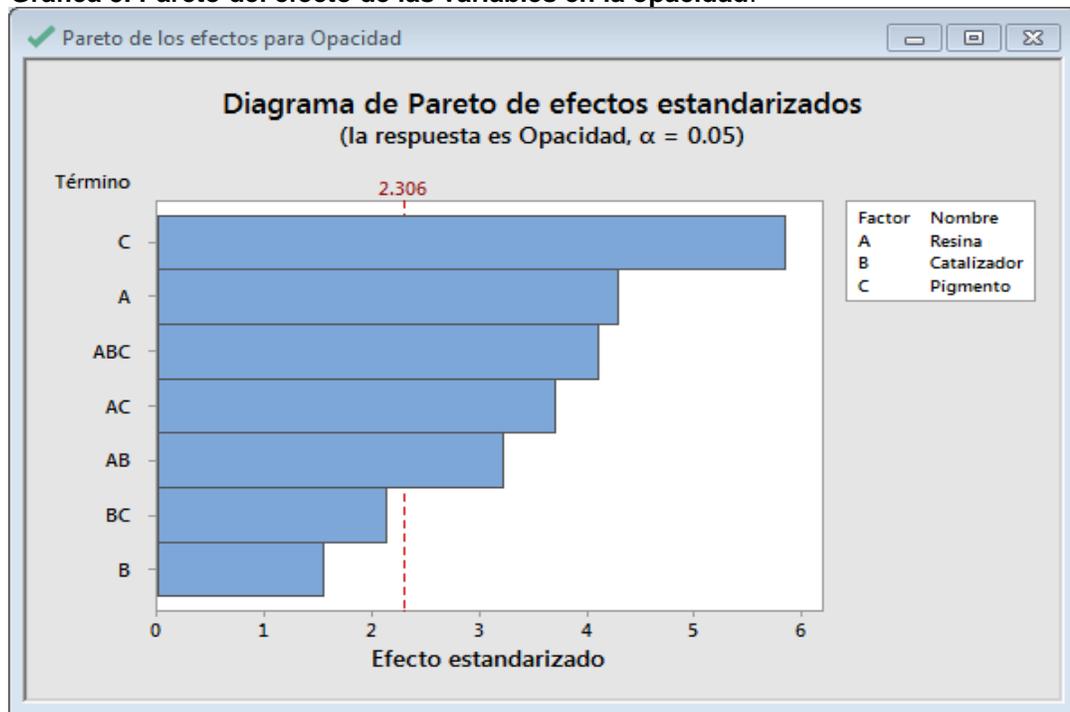
Fuente: MINITAB 17.

Se observa en la tabla ANOVA que en la opacidad, es el pigmento el que tiene mayor influencia, este era el resultado esperado pues en la preparación de las muestras se observó que a mayor cantidad de pigmento, mayor el poder de

cubrimiento de la película y como el recubrimiento no tiene cargas ni otros aditivos de color se supuso desde un principio que el TiO_2 adicionado iba a ser fundamental en la opacidad del recubrimiento, nuevamente se encuentran 5 valores P por debajo de 0,05 encontrando la influencia de la variable A (resina) y se comienza a observar la importancia de la resina principal de poliestireno expandido reciclado en todas las pruebas. El valor ajustado de R-cuadrada apenas pasa con un valor de 67,54%, por lo que no se puede tener demasiada confianza en que esta prueba demuestre realmente la variabilidad en la opacidad del recubrimiento.

En la gráfica 5 se observa de manera más detallada la influencia de cada una de las variables y sus interacciones en la respuesta de la opacidad.

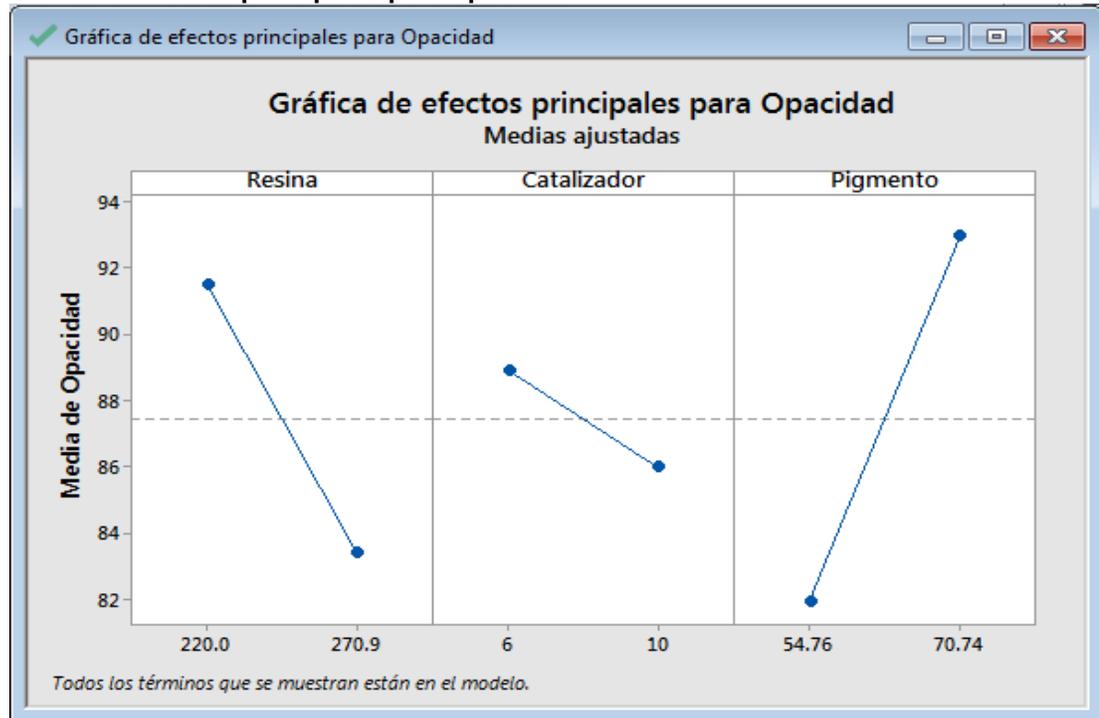
Gráfica 5. Pareto del efecto de las variables en la opacidad.



Fuente: MINITAB 17

En la gráfica 6 se observa de manera más detallada con los dos niveles la manera en la que influye cada una de las variables para la opacidad en un rango de 82% a 94% de poder de cubrimiento.

Gráfica 6. Efectos principales para opacidad.



Fuente: MINITAB 17

Se evidencia que efectivamente la resina y el pigmento influyen de manera notoria en la opacidad, a menor cantidad de resina mayor será el poder de cubrimiento al igual que a mayor cantidad de pigmento, pero se debe recordar que las dos variables se deben controlar de manera equivalente pues si la cantidad de resina es muy pequeña y la cantidad de pigmento es muy alta se puede presentar mala molienda del pigmento y estropear el aspecto de la película al ser aplicada.

3.5.2.4 Secado: el tiempo de secado esperado para el recubrimiento obtenido tiene que estar por debajo de 40 minutos teniendo en cuenta que se espera una eficiencia en el secado como el de un vinilo a base agua para comenzar a mostrar una ventaja frente al esmalte comercial. En esta prueba se espera que la influencia del catalizador sea la más determinante en los tiempos y se aclara que el tiempo de secado que se determinó fue el denominado secado al tacto, el secado entre manos y el secado total no se determinaron en las pruebas de laboratorio. En la tabla 14 se muestran los resultados de los tiempos de secado en minutos para cada muestra.

Tabla 14. Resultados de secado.

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Secado (min)
1	220,9	6	54,76	35
2	270,0	6	54,76	70

Tabla 14. (Continuación)

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Secado (min)
3	220,9	10	54,76	30
4	270,0	10	54,76	34
5	220,9	6	70,74	40
6	270,0	6	70,74	55
7	220,9	10	70,74	26
8	270,0	10	70,74	38
9	220,9	6	54,76	31
10	270,0	6	54,76	62
11	220,9	10	54,76	25
12	270,0	10	54,76	40
13	220,9	6	70,74	35
14	270,0	6	70,74	45
15	220,9	10	70,74	30
16	270,0	10	70,74	41

Analizando la tabla de resultados se observa que sí hay una relación entre la cantidad de catalizador y el tiempo de secado, sin embargo un análisis más específico puede arrojar otros resultados con respecto a la interacción entre las otras variables para determinar cuáles son las que más influencia tienen.

Tabla 15. ANOVA para variable de respuesta secado (*)

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA SECADO					
Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
A	1	1105,56	1105,56	60,79	0,000
B	1	742,56	742,56	40,83	0,000
C	1	18,06	18,06	0,99	0,348
AB	1	150,06	150,06	58,25	0,021
AC	1	85,56	85,56	8,25	0,062
BC	1	52,56	52,56	4,70	0,062
ABC	1	226,56	226,56	6,96	0,030
Error	8	245,50	18,19	N/A	N/A
Total	15	2426,44	-	-	-

A: Resina, B: Catalizador, C: Pigmento.

(*) Se prescindió de algunos valores para hacer más práctica la visualización de la influencia de variables respuesta, la ANOVA completa podrá consultarse en el Anexo C: resultados del análisis de la varianza MINITAB 17

R-cuadrado: 94,00%

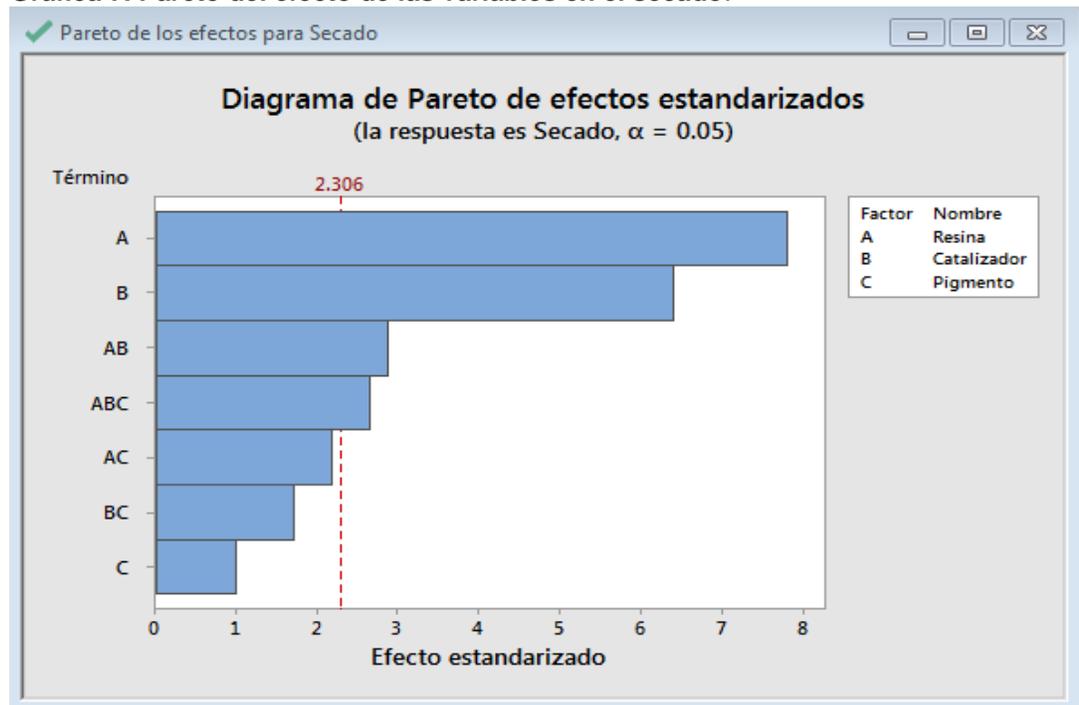
R-cuadrado ajustado por GL: 88,76%

S: 4,26468

Fuente: MINITAB 17.

Observando la tabla ANOVA se ve una relación entre las variables A (resina) y B (catalizador) al igual que en sus interacciones para la determinación del secado de la película. En este caso se tienen 4 valores P por debajo de 0,05 y se nota que la variable C (pigmento) no tiene mayor relevancia en la mejora de los tiempos. El valor de R-cuadrada es aceptable, con un valor de 88,76% lo que explica la variabilidad en el tiempo de secado de cada prueba. El diagrama de Pareto (Gráfica 7) representa de manera más clara la influencia de cada una de las variables.

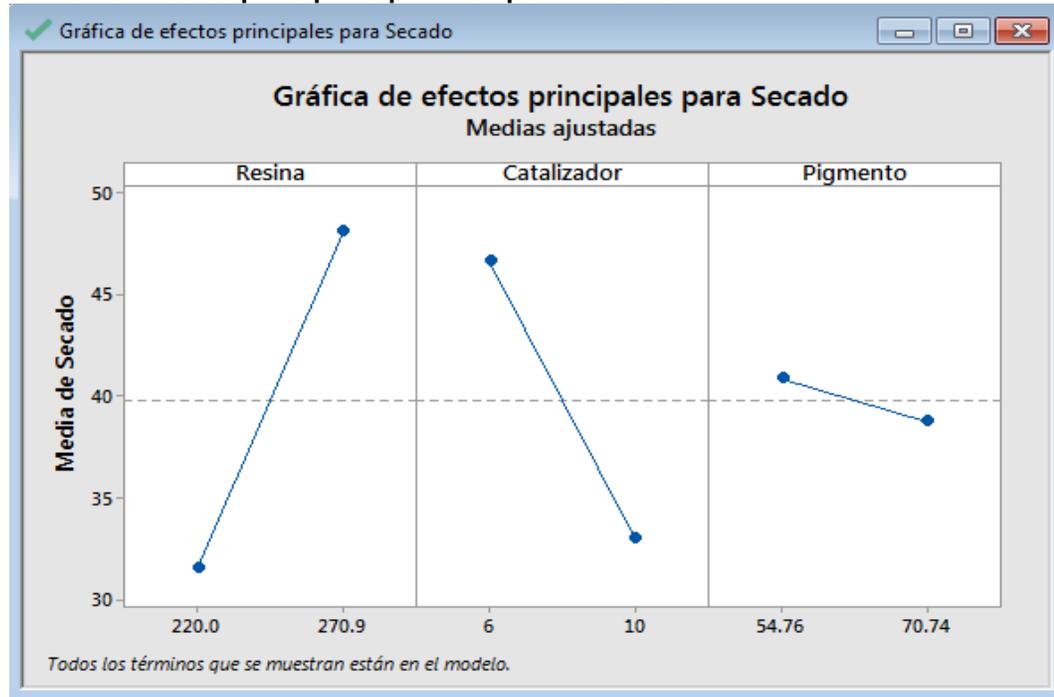
Gráfica 7. Pareto del efecto de las variables en el secado.



Fuente: MINITAB 17

A pesar de que la variable B (catalizador) se supondría debería tener mayor influencia en el secado, debido a que el octoato de cobalto es el encargado de disminuir el tiempo de secado, se observa en el diagrama de Pareto que tiene una mayor influencia la cantidad de resina, aunque no es demasiado marcada la diferencia, pero esto nuevamente comprueba que la resina principal tiene la mayor influencia en todas las respuestas de las pruebas que hasta ahora se han analizado. En la gráfica 8 se observa de manera más detallada la manera en la que influye cada una de las variables para el secado en un rango de 30 minutos a 50 minutos.

Gráfica 8. Efectos principales para tiempo de secado.



Fuente: MINITAB 17

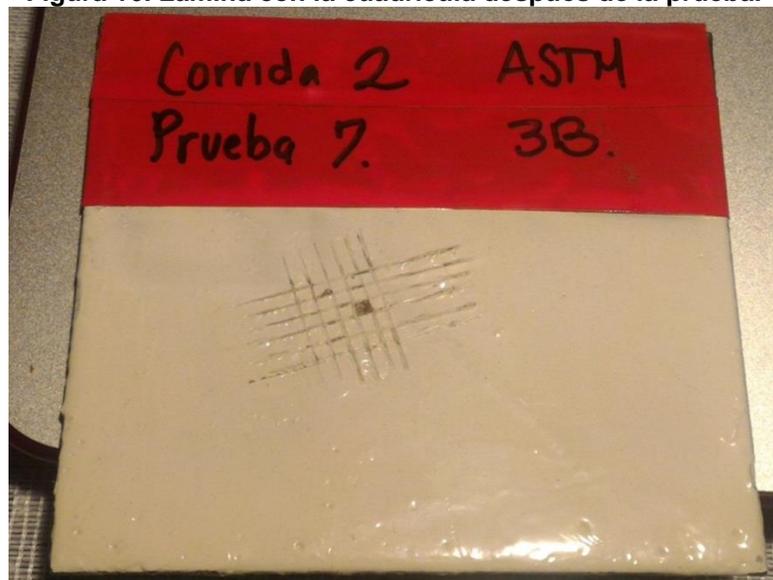
En la Gráfica 8 se debe tener en cuenta que se busca el menor valor posible en el eje Y, dicho esto se puede concluir que con menor cantidad de resina y mayor cantidad de catalizador el tiempo de secado va a mejorar.

3.5.2.5 Adherencia: el rango de adherencia esperado en la prueba pretende ser de clasificación ASTM 3B o 4B, es una de las pruebas que tiene un alto grado de incertidumbre, pues la medición se hace de manera manual, es decir, hay una alta posibilidad de tener error humano en la clasificación determinada pues el resultado se compara contra un patrón ya establecido en norma ISO o ASTM (Anexo A: pruebas y calibración de equipos).

Figura 15. Lámina con la cuadrícula antes de la prueba.



Figura 16. Lámina con la cuadrícula después de la prueba.



Como se explicó en la sección 2.4.5 (prueba de adherencia), una lámina de acero al carbono previamente pulida y limpia se pinta con el recubrimiento, pasadas 48 horas se hacen los cortes con las 6 cuchillas (Figura 15) y se procede a pegar la cinta Permacel para que al retirarla se produzca una fuerza de adherencia sobre la película aplicada, la cinta sobre la cuadrícula desprenderá partes del recubrimiento (Figura 16) y dependiendo del porcentaje de desprendimiento se clasificara la adherencia de la muestra. En la tabla 16 se reúnen las clasificaciones dadas a cada una de las muestras.

Tabla 16. Resultados de adherencia

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Adherencia (ASTM)
1	220,9	6	54,76	3B
2	270,0	6	54,76	2B
3	220,9	10	54,76	4B
4	270,0	10	54,76	3B
5	220,9	6	70,74	2B
6	270,0	6	70,74	2B
7	220,9	10	70,74	3B
8	270,0	10	70,74	3B
9	220,9	6	54,76	3B
10	270,0	6	54,76	3B
11	220,9	10	54,76	3B
12	270,0	10	54,76	2B
13	220,9	6	70,74	2B
14	270,0	6	70,74	2B
15	220,9	10	70,74	3B
16	270,0	10	70,74	3B

Como se puede observar la mayoría de muestras oscilan entre las clasificaciones 2B y 3B, lo que indica que el recubrimiento no tiene una adherencia buena sino apenas aceptable, era algo de esperarse pues al solo ser resina, catalizador y pigmento no se tienen aditivos niveladores ni de endurecimiento, además de que es un recubrimiento sin cargas. De igual manera al manejar solo valores enteros la confiabilidad de la prueba es muy baja y como se mencionó anteriormente es de tipo cualitativo, sin embargo, se realiza una tabla de análisis de varianza (Tabla 17) para demostrar su poca confiabilidad de manera estadística.

Tabla 17. ANOVA para variable de respuesta adherencia (*)

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA ADHERENCIA					
Variable	GL	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado Medio (CM)	Valor F	Valor P
A	1	0,5625	0,5625	3,00	0,122
B	1	1,5625	1,5625	8,33	0,020
C	1	0,5625	0,5625	3,00	0,122
AB	1	0,0625	0,0625	0,33	0,580
AC	1	0,5625	0,5625	3,00	0,122
BC	1	0,5625	0,5625	3,00	0,122
ABC	1	0,5625	0,5625	0,33	0,580
Error	8	0,0625	0,1875		

A: Resina, B: Catalizador, C: Pigmento.

(*) Se prescindió de algunos valores para hacer más práctica la visualización de la influencia de variables respuesta, la ANOVA completa podrá consultarse en el Anexo C: resultados del análisis de la varianza MINITAB 17

R-cuadrado: 72,41%

R-cuadrado ajustado por GL: 48,28%

S: 0,433013

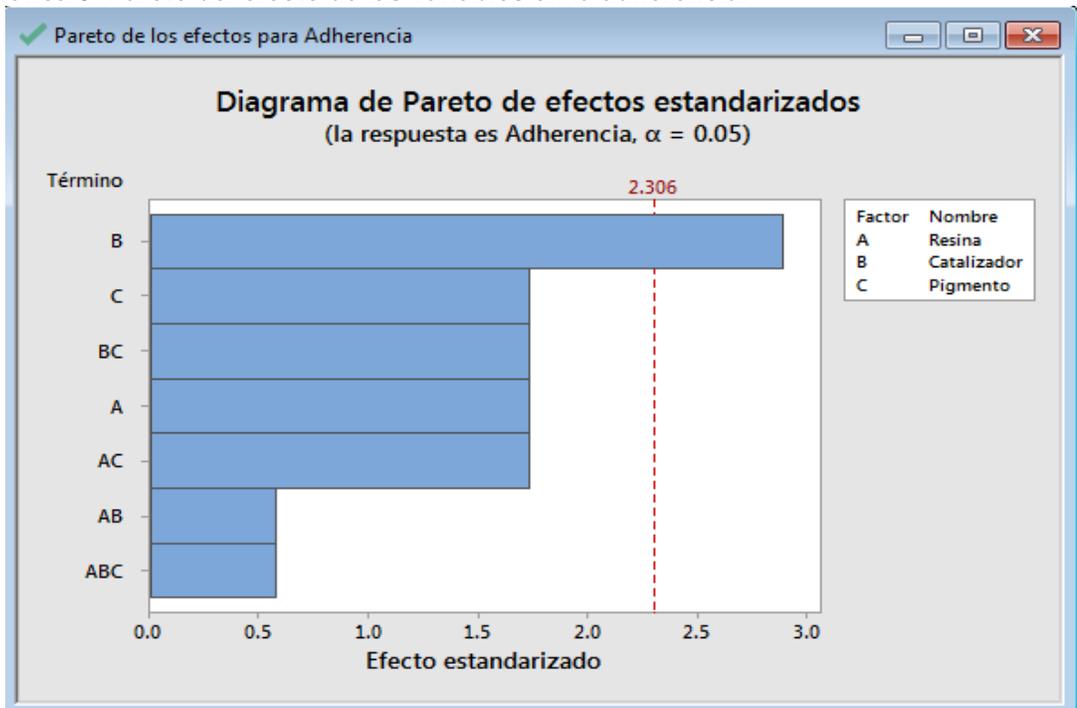
Fuente: MINITAB 17.

Se demuestra que el valor de R-cuadrada ajustada por cada grado de libertad explica solo en un 48,28% la varianza en la variable estudiada, lo cual es muy poco. También es la única variable hasta el momento que tiene un solo valor P por debajo de 0,05 y es la variable B (catalizador).

En la gráfica 9 se observa la superioridad en la influencia de la variable B (catalizador) en la clasificación de la adherencia, sin embargo, por la forma de la gráfica se nota que muchos de los valores son iguales y por ello las barras se extienden hasta los mismos valores sobre el eje x.

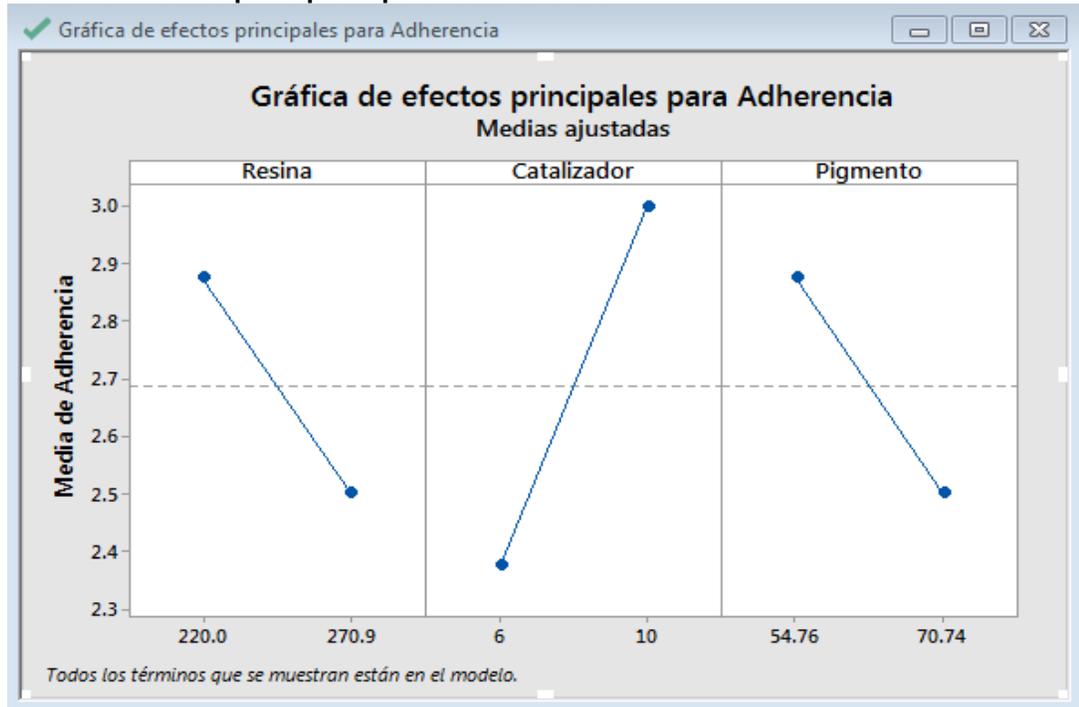
En la gráfica 10 se clasifican los efectos principales de cada una de las variables sobre la clasificación de la adherencia, se podría concluir que se debe tener una cantidad pequeña resina y pigmento mientras se debe aumentar la cantidad de catalizador para mejorar la adherencia.

Grafica 9. Pareto del efecto de las variables en la adherencia.



Fuente: MINITAB 17

Gráfica 10. Efectos principales para la adherencia



Fuente: MINITAB 17

3.5.2.6 Intemperismo: es la segunda prueba que se determina de manera cualitativa se hace con el fin de encontrar defectos en las películas de las pruebas aplicadas. Lo ideal en la prueba sería hacerla en una cámara de intemperismo forzado, pero al tener la limitación para conseguir el equipo decidió hacerse de manera natural (Figura 17) de acuerdo a la norma ISO 2810 o ASTM G7 como se mencionó en la sección 2.4.6 (prueba de intemperismo).

Figura 17. Pruebas de intemperismo natural



En la tabla 18 se muestran los resultados de las pruebas de intemperismo para cada muestra.

Tabla 18. Resultados de intemperismo

Muestra	Resina (g)	Catalizador (g)	Pigmento (g)	Intemperismo (N/A)
1	220,9	6	54,76	Sin cambio
2	270,0	6	54,76	Amarillamiento
3	220,9	10	54,76	Sin cambio
4	270,0	10	54,76	Amarillamiento
5	220,9	6	70,74	Sin cambio
6	270,0	6	70,74	Sin cambio
7	220,9	10	70,74	Sin cambio
8	270,0	10	70,74	Sin cambio
9	220,9	6	54,76	Sin cambio
10	270,0	6	54,76	Amarillamiento
11	220,9	10	54,76	Amarillamiento
12	270,0	10	54,76	Amarillamiento
13	220,9	6	70,74	Sin cambio
14	270,0	6	70,74	Sin cambio
15	220,9	10	70,74	Sin cambio
16	270,0	10	70,74	Sin cambio

La mayoría de las pruebas no tuvo cambios significativos pasados los 15 días, pero se determinó que aquellas muestras que tienen alta cantidad de resina y baja cantidad de pigmento presentaron un ligero amarillamiento. La idea de la prueba era determinar si la resina podría utilizarse en exteriores, desde luego, la prueba no tiene una duración lo suficientemente significativa y no es una prueba que se haga comúnmente a los esmaltes comerciales pero debido a que la resina obtenida tiene cualidades hidrofóbicas se decidió hacer este ensayo para determinar si esta cualidad podía soportar condiciones ambientales.

Aquellas muestras que no presentan amarillamiento son las que aprueban el ensayo y serán las tomadas en cuenta para comparar contra el esmalte comercial.

3.6 COMPARACIÓN DEL RECUBRIMIENTO CON EL ESMALTE COMERCIAL

En la tabla 19 se hace una recopilación de las 16 muestras con las 6 pruebas y se señalan aquellas que están dentro de los rangos que se establecieron como óptimos para el recubrimiento que se comparará contra el recubrimiento comercial tipo esmalte.

Tabla 19. Recopilación resultados pruebas.

Muestra	Viscosidad (KU)	Brillo (UB)	Opacidad (%)	Secado (min)	Adherencia (ASTM)	Intemperismo	Total Fallas
1	125,3	67,4	86,72	35	3	Pasa	1
2	139,7	35,9	84,31	70	2	No Pasa	6
3	116,7	16,7	88	30	4	Pasa	3
4	136,6	59,4	65,77	34	3	No Pasa	3
5	130,5	57,1	93,21	40	2	Pasa	2
6	140	38,5	92,18	55	2	Pasa	4
7	131,2	30	98,42	26	3	Pasa	2
8	141	65,7	94,22	38	3	Pasa	1
9	124,8	66,9	85,32	31	3	Pasa	1
10	138,7	37,2	85,2	62	3	No Pasa	5
11	117,5	15,1	97,8	25	3	No Pasa	3
12	136	54,5	62,2	40	2	No Pasa	3
13	128,7	56,4	94,33	35	2	Pasa	1
14	138,3	36,4	89,8	45	2	Pasa	5
15	138,2	30,5	88	30	3	Pasa	3
16	139,3	58,2	93,27	41	3	Pasa	2

Los valores en rojo muestran rangos por fuera de los establecidos y los valores en verde muestran rangos dentro de los parámetros permitidos, ninguna de las muestras cumple al 100% con los parámetros propuestos de evaluación pero se escoge la muestra número 13 para ser comparada con el esmalte comercial pues, a pesar de que otras muestras también arrojaron una sola falla, la número 13 es la única que no falla en ninguna de las variables cuantitativas que se hicieron con equipos especializados y además el esmalte que se escogió para hacer la comparación tampoco tiene como prueba de calidad la prueba de adherencia, lo que hace más sencillo escoger esta muestra.

Por políticas internas en el laboratorio de Pintuflex S.A.S. los datos suministrados para esmalte sintético ORBITEX® son los mismos que se pueden encontrar en la ficha técnica del producto y no se puede mostrar evidencia fotográfica de las pruebas a las que son sometidos los productos dentro del laboratorio por seguridad.

El esmalte sintético ORBITEX® se eligió de una amplia variedad de productos del mercado porque al venir de la fábrica de Pintuflex S.A.S. los equipos de medición y los métodos utilizados son idénticos a los que se emplearon en las muestras de los recubrimientos desarrollados de manera experimental por este proyecto.

Tabla 20. Comparación con el esmalte comercial ORBITEX®

Sintético ORBITEX® Muestra N° 13		
Viscosidad (KU)	85 - 90	128,7
Brillo (UB)	30 - 40	56,4
Opacidad (%)	80 - 90	94,33
Secado (min)	60 - 300	35

Los datos del esmalte comercial sintético ORBITEX® muestran unos rangos de aceptación de los lotes que producen, a simple vista el recubrimiento obtenido supera los rangos, pero al analizar cada parámetro se muestra, por ejemplo, que el tiempo de secado al tacto es muy superior en el recubrimiento obtenido que en el esmalte comercial que tiene un promedio de secado de 1 a 5 horas.

La opacidad también es un punto a resaltar, ya que el recubrimiento tiene un alto poder de cubrimiento. Pero en la viscosidad, a pesar de que la muestra N° 13 se pensó para que tuviese una viscosidad muy similar a la de una pintura al agua y no a la de un esmalte se puede presentar un problema en el momento en el que se diluya en solvente, pues al diluir la muestra N° 13 además de disminuir su viscosidad también disminuye su poder de cubrimiento, sin embargo, al ser demasiado espeso puede que no tenga un buen aprovechamiento de producto al dejar una película muy gruesa en la aplicación sobre superficie.

En cuanto al brillo, la muestra N° 13 presenta mayor brillo que el esmalte comercial sintético ORBITEX® y para un acabado semibrillante la muestra N° 13 está más cerca del límite de máximo brillo, el acabado del esmalte comercial sintético ORBITEX® tiene un acabado más mate, pero la apariencia deseada la determinará el uso para el que se requiera.

4. ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCTO TERMINADO

El objetivo principal del proyecto fue recrear un proceso de desarrollo de un recubrimiento con características similares a las de un esmalte comercial, para esto, algunas de las materias primas se adquirieron mediante terceros para realizar las pruebas a nivel laboratorio y por esta razón solo se tendrá el costo de las materias primas que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Precio máximo y mínimo para una cantidad de 1/8 de galón.

Detalle	Costo máximo para 1/8		Costo mínimo para 1/8	
d-limoneno	\$ 12.429,28	208,54 mL	\$ 10.093,91	169,36 mL
Octoato de cobalto	\$ 291,6	10 g	\$ 174,96	6 g
Dióxido de titanio	\$ 3.283,0434	70,74 g	\$ 2.541,41	54,76 g
TOTAL	\$ 16.003,92	-	\$ 12.810,29	-

Se tomó el costo de 1/8 de galón debido a que las muestras para análisis de calidad se hicieron de este volumen. En la Tabla 20 también se puede observar los precios en los que oscilaría cualquiera de los recubrimientos sin importar la formulación, pues se toman los límites más altos (+ + +) y los más bajos (- - -) de las cantidades de cada materia prima. Debido a que el d-limoneno se compró por litro se hizo la conversión del peso de la resina que se obtuvo de mezclar 300 mL de d-limoneno con 108 g de poliestireno expandido que fue de 389,7 g y luego se hizo la conversión para los 220g de resina del nivel bajo y los 270,9 g del nivel alto con una regla de 3.

El d-limoneno se compró en el almacén de suministros químicos CASA QUÍMICOS LTDA. por un precio de \$59.600 el litro.

El octoato de cobalto se compró en el almacén de suministros químicos DIVERQUIMICOS S.A.S por un precio de \$2.916 por 100 g.

Y el pigmento en pasta de dióxido de titanio se compró de igual manera en el almacén de suministros químicos DIVERQUIMICOS S.A.S por un precio de \$23.205 por 500 g.

Al igual que el costo del d-limoneno, los precios del octoato de cobalto y del dióxido de titanio se convirtieron linealmente para las cantidades expresadas en la Tabla 21.

Para el caso puntual de la muestra N° 13 la comparación contra el precio del esmalte comercial sintético ORBITEX® se haría con base a la formulación de las interacciones para esa prueba en particular. En la Tabla 6, el diseño de interacciones para la muestra N° 13 es: -1, -1, +1, lo que significa que tanto resina como catalizador tienen las cantidades del nivel bajo y el pigmento tiene la cantidad del nivel alto.

Tabla 22. Precio para 1/8 de galón muestra N° 13

Detalle	Costo para 1/8 muestra	
d-limoneno	\$ 10.093,91	169,36 mL
Octoato de cobalto	\$ 174,96	6 g
Dióxido de titanio	\$ 3.283,04	70,74 g
TOTAL	\$ 13.551,91	-

En el portafolio de Pintuflex S.A.S. el esmalte sintético ORBITEX® en presentación de 1/8 se encuentra en un precio de \$10.357 incluyendo los costos de producción, el recubrimiento obtenido a partir de la formulación de la muestra N° 13 para la misma cantidad tiene un precio de \$13.551,91 sin incluir los costos de producción.

5. CONCLUSIONES

- Se determinó mediante experimentación que la resina principal de la relación 4:2 (18g de poliestireno expandido reciclado por cada 50mL de d-limoneno) fue la mejor para realizar todas las muestras a lo largo del desarrollo de todas las pruebas del proyecto.
- Tras realizar las pruebas físicas a las diferentes muestras obtenidas se notó que la mayoría de las formulaciones tuvieron desempeños aceptables y sobresalientes, lo que demuestra que la calidad de la resina obtenida es buena en general y cumplió con el objetivo para el que fue desarrollada.
- Se observó que el recubrimiento obtenido con la muestra N° 13 presentó mejores resultados que el recubrimiento comercial tipo esmalte en las pruebas de calidad realizadas, esto demuestra la viabilidad que hay en el desarrollo de recubrimientos con resina de poliestireno expandido reciclado.
- A pesar del correcto desempeño de la resina principal se observaron variaciones demasiado bruscas en las cantidades que se utilizaron para la relación en la que se degradó el poliestireno expandido con el d-limoneno, esto impidió dar un valor puntual para la relación de degradación más efectiva.
- De acuerdo a la diferencia de costos obtenida en el desarrollo del proyecto se determina que puede ser viable pues, aunque el recubrimiento de la muestra N° 13 puede ser un poco más costoso, la relación costo beneficio le da una ventaja al recubrimiento obtenido en el proyecto pues esta degradado mediante un solvente natural y biodegradable cumpliendo con normativas de cuidado del medio ambiente.
- Basándose en los resultados de las pruebas de calidad y en el panorama de costos del producto terminado, se refleja que los costos de proyecto podrían disminuirse mediante la implementación de cargas como talcos y carbonatos, además de aditivos para aumentar el volumen de las muestras y así disminuir la utilización de la resina principal degradada d-limoneno que es la que más costo aporta al producto final. Éstas materias primas no se tuvieron en cuenta en el desarrollo del proyecto pues la finalidad principal del mismo era comprender el comportamiento de la resina reciclada sin añadir mayor cantidad de otras sustancias.

6. RECOMENDACIONES

- Ensayar nuevas relaciones de resina el desarrollo de otro recubrimiento para analizar sus propiedades y realizar comparaciones.
- Realizar más de una repetición por cada prueba para descartar la incertidumbre en los resultados y determinar mejor la respuesta de cada prueba.
- Agregar más cargas y aditivos al recubrimiento final para así disminuir el uso de la resina principal y disminuir los costos finales.

BIBLIOGRAFIA

Arcila I, & Miranda, J, A, 2015. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PINTURA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO UTILIZANDO UN SOLVENTE AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE (tesis de pregrado). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Benitez, I, & Velez, J, A, 2013. OBTENCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO A PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO (tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia.

Hattori, K., et ál. (2010). DISSOLUTION OF POLYSTYRENE INTO P-CYMENE AND RELATED SUBSTANCES IN TREE LEAF OILS. J Wood.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS DE CERTIFICACION. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613 (En línea) Consultado 29 de julio de 2017. Disponible en internet.

_____, Documentación. Presentación de Tesis, trabajos de grado, trabajos de investigación. NTC 1418 . Sexta actualización Bogotá D.C (En línea) Consultado 29 de julio de 2017. Disponible en internet.

_____, Generalidades sobre las pinturas al agua tipo emulsión. NTC 1335. Cuarta actualización Bogotá 2009.

_____, Referencias Documentales para fuentes de información electrónica. NTC 4490. Bogotá 2008.

Karaduman, A. (2002). THERMAL DEGRADATION OF POLYSTYRENE WASTES IN VARIOUS SOLVENTS. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.

Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. A NEW RECYCLING SYSTEM FOR EXPANDED POLYSTYRENE USING A NATURAL SOLVENT. Part 1: A New Recycling Technique. Packaging, Tecnology and Science. 1998

Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. A NEW RECYCLING SYSTEM FOR EXPANDED POLYSTYRENE USING A NATURAL SOLVENT. Part 2: A New Recycling Technique. Packaging, Tecnology and Science. 1998

Noguchi, T. Miyashita, M. Inagaki, Y. Watanabe, H. A NEW RECYCLING SYSTEM FOR EXPANDED POLYSTYRENE USING A NATURAL SOLVENT. Part 3: A New Recycling Technique. Packaging, Tecnology and Science. 1998

RECYCLING OF EXPANDED POLYSTYRENE USING NATURAL SOLVENTS, KAZUYUKI HATTTORI. Chapter 1. 2015.

TECNOLOGÍA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS: COMPONENTES FORMULACIÓN, MANUFACTURA Y CONTROL DE CALIDAD. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. Argentina (2009). Editorial de la Universidad.

Tracton A.A., COATINGS TECHNOLOGY FUNDAMENTALS, TESTING AND PROCESSING TECHNIQUES, Third Edition, USA, 2006.

ANEXOS

ANEXO A.

PRUEBAS Y CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

1. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN VISCOSÍMETRO

INFORMACIÓN GENERAL							
Código Interno:	HV-IME-21						
Nombre del Instrumento de Medición:	Viscosímetro Stormer						
Fabricante	BYK Gardner						
Modelo:	Brookfield KU-2						
Nº de Serie:	8505107						
Ubicación:	Laboratorio						
Fecha de ingreso:	1/09/10						
CONTROL DE CALIBRACIÓN Y/O VERIFICACIÓN							
FECHA	OPERACIÓN REALIZADA		FECHA PRÓXIMA		RAZÓN SOCIAL PROVEEDOR	Nº DE CERTIFICADO	INCERTIDUMBRE
	VERIFICAR	CALIBRAR	VERIFICAR	CALIBRACIÓN			
18/02/11		X		02/12	CM Y CIA LTDA.	010211	Para 498mPa*s:± 2.7
							Para 975mPa*s: ±3.6
10/07/12		X		07/13	METRILAB LTDA	12C-057	Para 2010mPa*s: ± 8.39
11/09/13		X		09/15	METRILAB LTDA	13C-156	Para 2080mPa*s: ± 10.19
19/02/16		X		02/18	METRILAB LTDA	16C-049	Para 2040mPa*s: ± 8,43
							Para 597,1mPa*s: ± 6,54
PRÓXIMA 22/02/18							

Fuente: LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD PINTUFLEX S.A.S.

DATOS METROLÓGICOS									
Magnitud:				Viscosidad					
Rango de medición:				40.2 – 145.0 KU (27-5274 mPa*s)					
Unidad de medición:				Unidades Krebs (KU)					
División de escala:				0,1KU					
Margen de Tolerancia:				±1.9 KU (± 118mPa *s)					
Frecuencia de Verificación:				N.A					
Frecuencia de Calibración:				2 años					
K	CONF.	VARIACIÓN	PASA	TRAZABILIDAD METROLÓGICA (PATRONES EMPLEADOS EN LA CALIBRACIÓN)					
				INSTRUMENTO	MARCA	LOTE	CERT.	CALIB	HAS TA
2	95,00%	Para 498mPa*s: -21.8mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD 500 Cp		112305			
		Para 975mPa*s: -72mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD 1000 Cp		52809			
2	95,45%	Para 2010mPa*s: 13.71mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD	CANNON	N1000K U	11101	21/03/11	31/ 03/ 13
				TERMÓMETRO	COOPER- ATKINS	36036-C	5745	26/10/11	
2	95,45%	Para 2080mPa*s: - 23.60mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD	CANNON	N1000K U	13101	11/06/13	30/ 06/ 15
				TERMÓMETRO	COOPER- ATKINS	36036-C	5745	26/10/11	
2	95,45%	Para 2080mPa*s: - 44,00mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD	CANNON	N1000K U	14201	10/20/20 14	10/ 31/ 16
2	95,45%	Para 597,1mPa*s: 48,9mPa*s	SI	ACEITE DE VISCOSIDAD	CANNON	N350KU	15101	4/06/15	04/ 30/ 17

Fuente: LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD PINTUFLEX S.A.S.

2. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN ESPECTROFOTOMETRO

Código interno: HV-IME-08

Nombre del instrumento de medición: espectrofotómetro

Fabricante: BYK – Gardner

Modelo: spectro-guide gloss S

Fecha de ingreso: 24/10/05

Magnitud: color – brillo – opacidad

Margen de tolerancia: Calibración verde OK

Frecuencia de verificación: Mensual

Calibraciones 2016 – 2017

FECHA	VERIFICACIÓN	PRÓXIMA	PROCEDIMIENTO	VARIACIÓN	PASA
4/01/16	X	1/02/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
1/02/16	X	1/03/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
1/03/16	X	1/04/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/04/16	X	2/05/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
2/05/16	X	1/06/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/06/16	X	02/07/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
02/07/16	X	01/08/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/08/16	X	03/09/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
03/09/16	X	04/10/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
04/10/16	X	01/11/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/11/16	X	01/12/16	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/12/16	X	03/01/17	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
03/01/17	X	01/02/17	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/02/17	X	02/03/17	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
02/03/17	X	01/04/17	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI
01/04/17	X	02/05/17	CONTRA PATRÓN	Calibración Verde OK	SI

Fuente: LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD PINTUFLEX S.A.S.

3. PATRON DE DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA

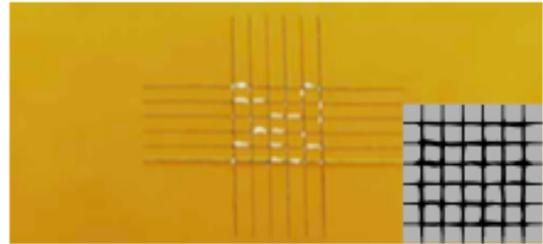
The cross-cut test is a simple and easily practicable method for evaluating the adhesion of single- or multi-coat systems.

Procedure

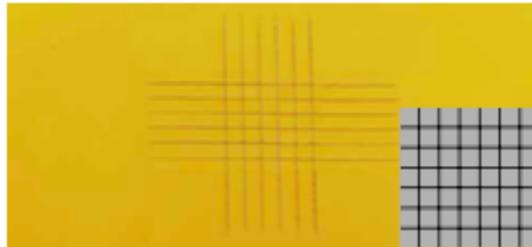
- Make a lattice pattern in the film with the appropriate tool, cutting to the substrate
- Brush in diagonal direction 5 times each, using a brush pen or tape over the cut and remove with Permacel tape
- Examine the grid area using an illuminated magnifier

Cross-Cut Results

Adhesion is rated in accordance with the scale below.



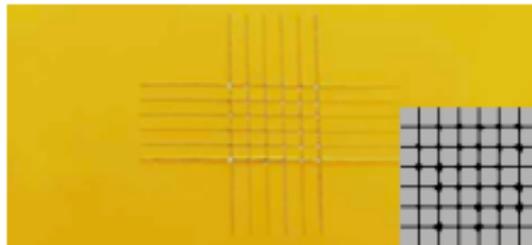
- ISO Class.: 2 / ASTM Class.: 3 B
The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area significantly greater than 5 %, but not significantly greater than 15 %, is affected.



- ISO Class.: 0 / ASTM Class.: 5 B
The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.



- ISO Class.: 3 / ASTM Class.: 2 B
The coating has flaked along the edges of the cuts partly or wholly in large ribbons, and/or it has flaked partly or wholly on different parts of the squares. A cross-cut area significantly greater than 15 %, but not significantly greater than 35 %, is affected.



- ISO Class.: 1 / ASTM Class.: 4 B
Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross-cut area not significantly greater than 5 % is affected.



- ISO Class.: 4 / ASTM Class.: 1 B
The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area significantly greater than 35 %, but not significantly greater than 65 %, is affected.
- ISO Class.: 5 / ASTM Class.: 0 B
Any degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.

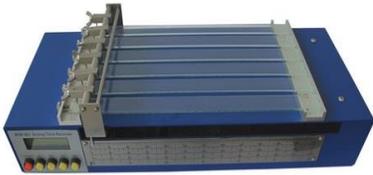
Standard

ASTM	D 3002	D 3359
ISO		2409

ANEXO B.

EQUIPOS UTILIZADOS EN CONTROL DE CALIDAD

EQUIPO	FOTO	ESPECIFICACIONES
<p>Viscosímetro Stormer Digital KU-2</p>		<p>Normas: ASTM D562 y NTC 559. Rangos: temperatura de operación de 10 a 40 °C . Rango de medición de 40 a 141 KU. Precisión: ± 1 %</p>
<p>Termómetro Cooper Atkins 36036</p>		<p>Rangos: temperatura ambiente entre -60 °C y 260°C. Precisión: ± 0,3 °C</p>
<p>Balanza de precisión Ohaus SP 601</p>		<p>Precisión: 2 cifras significativas x 0,1g. Hasta 600g. ± 0,1g.</p>
<p>Espectrofotómetro spectro-guide gloss S</p>		<p>Datos de color y brillo independientemente de la temperatura. Sistema de iluminación circunferencial. Rango: 60°: 0 – 10 GU GU: Gloss Units (unidad de brillo)</p>
<p>Aplicador 3mills</p>		<p>Aplicador de 4 lados mod bgd206/2 de 1, 2, 3,4 mils en ss inoxidable de 4 " 10.16cms de cada lado.</p>

<p>Espectrofotómetro spectro-guide gloss S</p>		<p>Normas: ISO 11664, ASTM D 2244 y DIN 5033. Portátil. Geometría de medición difusa, control de color. Longitud de onda: Min: 400nm Máx.: 700nm</p>
<p>Secador Drying Time Recorder</p>		<p>Normas: ASTM D 5895, ISO 9117-4 y DIN 14022. Pruebas para tiempos seleccionados de 6,12, 24 y 48h.</p>
<p>Kit de adherencia</p>		<p>Normas: ASTM D 3002, D3359, ISO 2409. Kit con cortador de 6 cuchillas marca BYK.</p>

ANEXO C

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA VARIANZA MINITAB 17

1. VISCOSIDAD

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	935.584	133.655	35.48	0.000
Lineal	3	758.422	252.807	67.11	0.000
Resina	1	584.431	584.431	155.15	0.000
Catalizador	1	5.641	5.641	1.50	0.256
Pigmento	1	168.351	168.351	44.69	0.000
Interacciones de 2 términos	3	156.232	52.077	13.83	0.002
Resina*Catalizador	1	0.226	0.226	0.06	0.813
Resina*Pigmento	1	84.181	84.181	22.35	0.001
Catalizador*Pigmento	1	71.826	71.826	19.07	0.002
Interacciones de 3 términos	1	20.931	20.931	5.56	0.046
Resina*Catalizador*Pigmento	1	20.931	20.931	5.56	0.046
Error	8	30.135	3.767		
Total	15	965.719			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.94084	96.88%	94.15%	87.52%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		132.656	0.485	273.40	0.000	
Resina	12.088	6.044	0.485	12.46	0.000	1.00
Catalizador	-1.187	-0.594	0.485	-1.22	0.256	1.00
Pigmento	6.488	3.244	0.485	6.69	0.000	1.00
Resina*Catalizador	0.238	0.119	0.485	0.24	0.813	1.00
Resina*Pigmento	-4.587	-2.294	0.485	-4.73	0.001	1.00
Catalizador*Pigmento	4.237	2.119	0.485	4.37	0.002	1.00
Resina*Catalizador*Pigmento	-2.287	-1.144	0.485	-2.36	0.046	1.00

2. BRILLO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	4500.96	642.99	114.42	0.000
Lineal	3	424.57	141.52	25.18	0.000
Resina	1	130.53	130.53	23.23	0.001
Catalizador	1	269.78	269.78	48.01	0.000
Pigmento	1	24.26	24.26	4.32	0.071
Interacciones de 2 términos	3	3969.79	1323.26	235.48	0.000
Resina*Catalizador	1	3760.76	3760.76	669.25	0.000
Resina*Pigmento	1	0.95	0.95	0.17	0.692
Catalizador*Pigmento	1	208.08	208.08	37.03	0.000
Interacciones de 3 términos	1	106.61	106.61	18.97	0.002
Resina*Catalizador*Pigmento	1	106.61	106.61	18.97	0.002
Error	8	44.95	5.62		
Total	15	4545.91			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
2.37052	99.01%	98.15%	96.04%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		45.369	0.593	76.55	0.000	
Resina	5.713	2.856	0.593	4.82	0.001	1.00
Catalizador	-8.213	-4.106	0.593	-6.93	0.000	1.00
Pigmento	2.462	1.231	0.593	2.08	0.071	1.00
Resina*Catalizador	30.663	15.331	0.593	25.87	0.000	1.00
Resina*Pigmento	0.488	0.244	0.593	0.41	0.692	1.00
Catalizador*Pigmento	7.213	3.606	0.593	6.09	0.000	1.00
Resina*Catalizador*Pigmento	-5.163	-2.581	0.593	-4.36	0.002	1.00

3. OPACIDAD

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	1429.78	204.25	14.34	0.001
Lineal	3	782.25	260.75	18.30	0.001
Resina	1	262.85	262.85	18.45	0.003
Catalizador	1	34.19	34.19	2.40	0.160
Pigmento	1	485.21	485.21	34.06	0.000
Interacciones de 2 términos	3	407.82	135.94	9.54	0.005
Resina*Catalizador	1	148.05	148.05	10.39	0.012
Resina*Pigmento	1	195.09	195.09	13.69	0.006
Catalizador*Pigmento	1	64.68	64.68	4.54	0.066
Interacciones de 3 términos	1	239.71	239.71	16.83	0.003
Resina*Catalizador*Pigmento	1	239.71	239.71	16.83	0.003
Error	8	113.97	14.25		
Total	15	1543.75			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
3.77438	92.62%	86.16%	70.47%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		87.422	0.944	92.65	0.000	
Resina	-8.106	-4.053	0.944	-4.30	0.003	1.00
Catalizador	-2.924	-1.462	0.944	-1.55	0.160	1.00
Pigmento	11.014	5.507	0.944	5.84	0.000	1.00
Resina*Catalizador	-6.084	-3.042	0.944	-3.22	0.012	1.00
Resina*Pigmento	6.984	3.492	0.944	3.70	0.006	1.00
Catalizador*Pigmento	4.021	2.011	0.944	2.13	0.066	1.00
Resina*Catalizador*Pigmento	7.741	3.871	0.944	4.10	0.003	1.00

4. SECADO

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2280.94	325.85	17.92	0.000
Lineal	3	1866.19	622.06	34.20	0.000
Resina	1	1105.56	1105.56	60.79	0.000
Catalizador	1	742.56	742.56	40.83	0.000
Pigmento	1	18.06	18.06	0.99	0.348
Interacciones de 2 términos	3	288.19	96.06	5.28	0.027
Resina*Catalizador	1	150.06	150.06	8.25	0.021
Resina*Pigmento	1	85.56	85.56	4.70	0.062
Catalizador*Pigmento	1	52.56	52.56	2.89	0.128
Interacciones de 3 términos	1	126.56	126.56	6.96	0.030
Resina*Catalizador*Pigmento	1	126.56	126.56	6.96	0.030
Error	8	145.50	18.19		
Total	15	2426.44			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
4.26468	94.00%	88.76%	76.01%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		39.81	1.07	37.34	0.000	
Resina	16.62	8.31	1.07	7.80	0.000	1.00
Catalizador	-13.63	-6.81	1.07	-6.39	0.000	1.00
Pigmento	-2.12	-1.06	1.07	-1.00	0.348	1.00
Resina*Catalizador	-6.13	-3.06	1.07	-2.87	0.021	1.00
Resina*Pigmento	-4.62	-2.31	1.07	-2.17	0.062	1.00
Catalizador*Pigmento	3.63	1.81	1.07	1.70	0.128	1.00
Resina*Catalizador*Pigmento	5.63	2.81	1.07	2.64	0.030	1.00

5. ADHERENCIA

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	3.93750	0.56250	3.00	0.073
Lineal	3	2.68750	0.89583	4.78	0.034
Resina	1	0.56250	0.56250	3.00	0.122
Catalizador	1	1.56250	1.56250	8.33	0.020
Pigmento	1	0.56250	0.56250	3.00	0.122
Interacciones de 2 términos	3	1.18750	0.39583	2.11	0.177
Resina*Catalizador	1	0.06250	0.06250	0.33	0.580
Resina*Pigmento	1	0.56250	0.56250	3.00	0.122
Catalizador*Pigmento	1	0.56250	0.56250	3.00	0.122
Interacciones de 3 términos	1	0.06250	0.06250	0.33	0.580
Resina*Catalizador*Pigmento	1	0.06250	0.06250	0.33	0.580
Error	8	1.50000	0.18750		
Total	15	5.43750			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.433013	72.41%	48.28%	0.00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		2.688	0.108	24.83	0.000	
Resina	-0.375	-0.187	0.108	-1.73	0.122	1.00
Catalizador	0.625	0.313	0.108	2.89	0.020	1.00
Pigmento	-0.375	-0.188	0.108	-1.73	0.122	1.00
Resina*Catalizador	-0.125	-0.062	0.108	-0.58	0.580	1.00
Resina*Pigmento	0.375	0.187	0.108	1.73	0.122	1.00
Catalizador*Pigmento	0.375	0.188	0.108	1.73	0.122	1.00
Resina*Catalizador*Pigmento	0.125	0.062	0.108	0.58	0.580	1.00

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

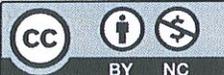
Yo **Diana Carolina Avellaneda Diaz** en calidad de titular de la obra **evaluación para la obtención de un recubrimiento con resina a base de poliestireno expandido** reciclado a nivel laboratorio, elaborada en el año **2016**, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifiesto conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C, a los 22 días del mes de agosto del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Diana Carolina	Avellaneda Diaz
Documento de identificación No	Firma
1.015.433.347 BOGOTÁ D.C	