

EVALUACIÓN DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA PINTURA
PARTIENDO DE RESIDUOS DE POLIURETANO PARA EL USO SOBRE
SUPERFICIES DE MADERA

CAROLINA RODRIGUEZ PABON
ANDRÉS JOSADAC ORTIZ RODRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

EVALUACIÓN DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA PINTURA
PARTIENDO DE RESIDUOS DE POLIURETANO PARA EL USO SOBRE
SUPERFICIES DE MADERA

CAROLINA RODRIGUEZ PABON
ANDRÉS JOSADAC ORTIZ RODRIGUEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de:
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTÁ D.C.
2019

Nota de aceptación

ING. SANDRA LILIANA MESA

ING. IVÁN MARIN

ING. ANGIE ORTEGA

Bogotá D.C., Febrero del 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUÍS JAIME GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Director Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

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

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto de grado agradecemos a:

Carlos Mario Ramírez fundador y gerente de RyL Industrias S.A.S. por todo el apoyo brindado para el desarrollo del proyecto, por su asesoría, colaboración, disposición y prestarnos las instalaciones de la empresa para la ejecución del mismo.

Sandra Liliana Mesa, ingeniera química, por el apoyo recibido durante la planeación y ejecución del proyecto, por el seguimiento, asesoría y la motivación para culminar el proyecto de la mejor manera.

John Francis Sánchez, por ser el vínculo para llegar a RyL Industrias S.A.S. y por el interés en el proyecto.

Cada una de nuestras familias por brindarnos su apoyo y motivación para realizar el proyecto.

Todos nuestros profesores que a través de su enseñanza nos permitieron generar nuevas capacidades de análisis, crítica, comprensión y desarrollo de ideas que nos permitieron definir puntos clave en la elaboración.

La Universidad de América por ser una institución de excelencia educativa y generar las condiciones para nuestro desarrollo y formación como ingenieros.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a **Dios**, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mis padres, **Mauricio Rodríguez** y **Jazmín Pabón**, por estar siempre conmigo, enseñarme todo lo que se y siempre apoyarme. A mis abuelos **Rosana Novoa** y **José Hipólito Pabón**, porque a lo largo de mi vida siempre han sido una pieza fundamental, porque ante cualquier proyecto que he emprendido han estado ellos apoyándome y dándome todo su amor. A mi tía, **Narda Pabón**, por siempre estar conmigo, por ser mi amiga incondicional, por escucharme siempre cuando lo he necesitado. Les dedico este trabajo a ustedes por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A **Carlos Mario Ramírez**, quien me dio todo su apoyo y me abrió las puertas de su empresa, haciéndome sentir como en casa.

De igual manera, a la Fundación Universidad de América, a toda la Facultad de ingeniería química, a mis profesores en especial a la profesora **Sandra Mesa** quien siempre fue una guía durante este trabajo.

A **Diego Gómez**, por ser un amigo incondicional, por su orientación y apoyo durante este trabajo.

A mi novio **Nicolás Salazar** por darme su apoyo en cada etapa de mi carrera.

A **Leidy Cataño**, porque fue esencial en esta aventura de ser ingenieras químicas.

A **Alejandra Mendieta**, por siempre escucharme y estar ahí para mí.

Dedico este trabajo a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Carolina Rodríguez Pabón

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo al creador de todas las cosas, visibles e invisibles, a **Dios**, ya que gracias a Él todo lo realizado en el proyecto ha sido de favor hacia la empresa y para nosotros, los autores, Él es el principal autor de todo, nos da los pasos para tomar las mejores decisiones en nuestra vida.

Seguido a mis padres, **Jairo Ortiz Ortiz** y **Olga Rodríguez Díaz**, quienes me han orientado y con su ejemplo me enseñan a crecer ética y moralmente; quienes me han apoyado incondicionalmente en mi formación como ingeniero y son mi soporte en la vida, a ellos que con su sacrificio me brindan la oportunidad de crecer integralmente dedico este trabajo.

A mi hermana **Carol Ortiz** que con sus ideas y recursos me orientaba en temas académicos y con sus consejos a tomar posturas al momento de tomar decisiones.

A mi hermana **Sara Ortiz** que con su experiencia me enseñó temas prácticos y mostró herramientas con el fin de adquirir más conocimiento.

A mi cuñado **John Cañas** que gracias a él logramos obtener algunos datos de laboratorio significativos al momento de cumplir nuestros objetivos, también por su apoyo y disponibilidad a lo largo de la carrera generando ideas que me sirvieron en asignaturas académicas.

A mi abuelo **Arquímedes Rodríguez** por su apoyo e interés a lo largo de la carrera, por sus enseñanzas y consejos durante la vida.

A **John Sánchez, Diana Correa, Daniel Sánchez** y **Gabriela Sánchez** quienes me apoyaron en el desarrollo práctico de mi carrera y me han motivado para continuar aprendiendo en cada momento de la vida, por tener la disposición para ayudar en cada momento.

A mis **compañeros ingenieros**, que a lo largo de este proceso de formación aportaron de una u otra manera en el desarrollo personal y académico.

Andrés Josadac Ortiz Rodríguez

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	
¡Error! Marcador no definido.	
1.GENERALIDADES	21
1.1 DESCRIPCIÓN DE RYL INDUSTRIAS S.A.S.	21
1.2 PLÁSTICO	21
1.2.1 Tipos de plásticos.	22
1.3 POLIURETANO	22
1.3.1 Caracterización de los poliuretanos.	23
1.3.2 Tipos de poliuretano, sus propiedades y aplicaciones.	23
1.4 PINTURA	24
1.4.1 Componentes de la pintura.	24
1.4.2 Fabricación de la pintura.	25
1.4.3 Criterios técnicos de pintura exterior.	26
1.4.4 Resinas epoxi.	26
1.4.5 Resinas epoxi sólidas.	28
1.4.6 Resinas epoxi líquidas.	28
1.4.7 Disolventes.	29
2. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RESIDUO KRISTALFLEX PE399	31
2.1 GENERALIDADES DEL RESIDUO	31
2.1.1 Propiedades físicas y químicas del residuo.	32
2.1.2 Caracterización química.	34
3.OBTENCIÓN DE UNA PINTURA PARTIENDO DEL RESIDUO KYSTALFLEX 45	
3.1 DETERMINACIÓN DE SOLVENTES	45
3.2 DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE SOLVENTE POR MASA DE RESIDUO	50

3.3 ELECCIÓN DEL SOLVENTE	58
3.3.1 Disponibilidad y precio del solvente.	58
3.3.2 Evaporación.	59
3.3.3 Clasificación NFPA.	60
3.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN	61
3.4.1 Dilución del residuo con el solvente.	61
3.4.2 Función de cargas, pigmentos y aditivos utilizados en la pintura.	61
3.5 MEZCLA DE CARGAS Y PIGMENTOS	62
3.6 DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL RECUBRIMIENTO	63
3.6.1 Variación del porcentaje de carbonato de calcio en el experimento #1.	66
3.6.2 Evaluación de las cargas caolín y carbonato de calcio, experimento #2.	70
3.6.3 Diseño de experimento final.	74
3.7 EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL PRODUCTO	81
3.7.1 Sólidos totales (ASTM D2369).	81
3.7.2 Tiempo de secado (ASTM D1640-09).	83
3.7.3 Lavabilidad (ASTM D4828-94).	84
3.7.4 Resistencia al agua (ASTM D870-15).	85
3.7.5 Resistencia al álcali (ASTM D870-15).	86
3.7.6 Adherencia (ASTM D3359).	86
3.7.7 Determinación de la viscosidad.	89
3.7.8 Determinación de la densidad.	90
3.7.9 Evaluación sensorial.	91
4. DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROCESO PARA UNA PLANTA PILOTO	93
4.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PINTURA	93
4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	94
4.3 DETERMINACIÓN DE BALANCE DE MATERIA GLOBAL	98
4.4 DIAGRAMA PFD	101
5. DETERMINACION DE LA VIABILIDAD FINANIERA DEL PROCESO A ESCALA PILOTO	102
5.1 INVERSIONES	102
5.1.1 Inversión de activos fijos.	102

5.1.2 Inversión de activo diferido.	103
5.1.3 Capital de trabajo.	103
5.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN	107
5.3 INGRESOS	107
5.4 FINANCIACIÓN	107
5.5 FLUJO DE EFECTIVO	108
5.6 EVALUACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS	109
5.6.1 Determinación de la Tasa Interna de Oportunidad.	109
5.6.2 Determinación del valor presente neto.	110
5.6.3 Determinación tasa interna de retorno.	110
5.6.4 Determinación de relación beneficio/costo.	111
5.6.5 Análisis de la viabilidad financiera del proyecto para la empresa.	112
6. CONCLUSIONES	113
7. RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	116
ANEXOS	119

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación en el mapa	21
Figura 2. Residuo Krystalflex PE399	32
Figura 3. Diagrama de proceso para FTIR.	36
Figura 4. Espectro infrarrojo del residuo Krystalflex PE 399.	37
Figura 5. Espectro infrarrojo de un poliuretano utilizando un poli (éster uretano) (PU) sintetizado a partir de poli (ϵ -caprolactona) diol,1,4	38
Figura 6. Espectro de un prepolímero de poliuretano terminado en epoxi	39
Figura 7. Espectro de Poliuretano terminado en hidroxilo (c. EPPU) modificado por epoxi	41
Figura 8. Disolución Cloruro de metileno	46
Figura 9. Disolución Acetato de etilo	46
Figura 10. Disolución Percloroetileno	47
Figura 11. Disolución Tolueno	47
Figura 12. Disolución Xileno	48
Figura 13. Disolución D-limoneno	48
Figura 14. Disolución Solvente RyL	49
Figura 15. Disolución DMF	49
Figura 16. Plano superior Viscosímetro de Brookfield- indicador de nivel	51
Figura 17. Cloruro de metileno 20%	52
Figura 18. Cloruro de metileno 25%	52
Figura 19. Cloruro de metileno 30% P.U.	53
Figura 20. Cloruro de metileno 35% P.U.	53
Figura 21. Solvente RyL 20% P.U.	54
Figura 22. Solvente RyL 25% P.U.	54
Figura 23. Solvente RyL 30% P.U.	54
Figura 24. Solvente RyL 35% P.U.	54
Figura 25. DMF 20% P.U.	55
Figura 26. DMF 25% P.U.	55
Figura 27. DMF 30% P.U.	56
Figura 28. DMF 35% P.U.	56
Figura 29. Agitación para mezclar las cargas en la pintura.	63
Figura 30. Pintura con anti-espumante.	70
Figura 31. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A1.	72
Figura 32. Relieves en la inmersión de la probeta en la pintura A1.	73
Figura 33. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A2.	73
Figura 34. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A3.	74
Figura 35. Proceso de laboratorio para obtención de pintura.	76
Figura 36. Ocho tratamientos con diferentes porcentajes de cargas.	77
Figura 37. Tratamientos realizados en el diseño de experimentos.	77
Figura 38. Tratamiento 1	78
Figura 39. Tratamiento 2	78

Figura 40. Tratamiento 3	79
Figura 41. Tratamiento 4	79
Figura 42. Tratamiento 5	79
Figura 43. Tratamiento 6	79
Figura 44. Tratamiento 7	79
Figura 45. Tratamiento 8	80
Figura 46. Clasificación de adherencia según la ASTM D3359.	88
Figura 47. Peso de Beaker con pintura para calcular la densidad	90
Figura 48. Diagrama de proceso para producción piloto de pintura de poliuretano.	94
Figura 49. Relaciones de tamaño de agitadores con respecto al disco de cowles.	96
Figura 50. Agitadores para planta piloto de 60L.	97
Figura 51. Diagrama de bloques con balance de materia para producción diaria de planta piloto.	100
Figura 52. Diagrama PFD.	101
Figura 53. Flujo de caja del proyecto.	109

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Determinación del peso de P.U.	50
Ecuación 2. Viscosidad en centipoises	51
Ecuación 3. Viscosidad 20% Cloruro de metileno	56
Ecuación 4. Viscosidad 25% Cloruro de metileno	56
Ecuación 5. Viscosidad 20% RyL	56
Ecuación 6. Viscosidad 25% RyL	56
Ecuación 7. Viscosidad 35% RyL	56
Ecuación 8. Viscosidad 20% DMF	56
Ecuación 9. Viscosidad 25% DMF	57
Ecuación 10. Viscosidad 30% DMF	57
Ecuación 11. Viscosidad 35% DMF	57
Ecuación 14. Cálculo para obtener el porcentaje de materia volátil en la pintura.	82
Ecuación 15. Calculo promediado para el porcentaje de materia volátil promedio con una repetición.	82
Ecuación 16. Porcentaje de materia no volátil promedio de con una repetición.	82
Ecuación 17. Materia no volátil para el primer ensayo.	82
Ecuación 18. Materia no volátil para la repetición.	82
Ecuación 19. Viscosidad de la pintura	89
Ecuación 20. Masa de la pintura para obtener la densidad	91
Ecuación 21. Densidad de la pintura	91
Ecuación 22. Volumen mensual de pintura	95
Ecuación 23. Peso neto de fabricación.	99
Ecuación 24. Ecuación para calcular cuotas fijas	108
Ecuación 25. Ecuación de la TIO.	110
Ecuación 26. Ecuación para calcular valor presente neto.	110
Ecuación 27. Ecuación para la TIR.	111
Ecuación 28. Ecuación para relación beneficio/costo.	111

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades físicas del krystalflex PE399	32
Tabla 2. comparativos de longitudes de onda entre el residuo krystalflex Pe399, poliuretano, poliuretano terminado en epoxi, EPPU.	42
Tabla 3. Relación peso-volumen por solvente	52
Tabla 4. Resultados lectura Cloruro de metileno viscosímetro	53
Tabla 5. Resultados Solvente RyL viscosímetro	55
Tabla 6. Resultados DMF viscosímetro	56
Tabla 7. Viscosidades ensayo % de P.U.	57
Tabla 8. Base de datos solvente-precio por Kg.	59
Tabla 9. Puntos de ebullición de solventes RyL, DMF y Cloruro de metileno	59
Tabla 10. Formulación pintura plástica para exteriores.	63
Tabla 11. Adecuación de fórmula inicial	65
Tabla 12. Fórmula #1	65
Tabla 13. Variaciones de carbonato de calcio para pre experimentación #1	66
Tabla 14. Fórmula con 31,52% de Carbonato de Calcio	67
Tabla 15. Fórmula con 23,52% de Carbonato de Calcio	67
Tabla 16. Fórmula con 15,51% Carbonato de Calcio	68
Tabla 17. Fórmula con 7,51% Carbonato de Calcio	68
Tabla 18. Fórmulas para la pre experimentación #1	69
Tabla 19. Ajuste de formulación sin anti-espumante.	70
Tabla 20. Formulaciones pre experimento #2	71
Tabla 21. Diseño factorial 2 ³ cambiando el porcentaje de los compuestos.	75
Tabla 22. Tratamientos para el diseño de experimentos.	75
Tabla 23. Formulación final para pintura de poliuretano en base solvente.	80
Tabla 24. Descripción de cada clasificación según la norma ASTM D3359.	87
Tabla 25. Viscosidades pintura RyL, epóxica, vinílica y de poliuretano comercial.	89
Tabla 26. Densidad de pintura RyL, epóxica, vinílica y de poliuretano comercial.	91
Tabla 27. Descripción de equipos y cantidades requeridas para montaje de una planta piloto.	98
Tabla 28. Cantidad de materia prima diaria requerida para planta piloto.	99
Tabla 29. Costos para montaje de la planta piloto.	102
Tabla 30. Gastos de adecuaciones, capacitación, materiales y accesorios de inversión de planta piloto.	103
Tabla 31. Costos de materia prima.	104
Tabla 32. Costo de materia prima para un galón de pintura.	104
Tabla 33. Consumo energético del Agitador 1.	105
Tabla 34. Consumo energético del Agitador 2.	105
Tabla 35. Costos energéticos de producción mensual.	105
Tabla 36. Pagos a cargo del empleador mensual.	106
Tabla 37. Costos mensuales de producción.	106
Tabla 38. Tabla de amortización del préstamo.	108

GLOSARIO

Para facilitar el entendimiento del contenido en el presente proyecto se define:

ACABADO: capa más externa de un sistema de pintura o recubrimiento.

ASPECTO AMBIENTE: elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

BRILLO: propiedad óptica de una superficie, caracterizada por su capacidad de reflejar luz de forma especular.

DISOLVENTE: es una sustancia líquida utilizada comúnmente para disolver en otra sustancia. Los disolventes son comúnmente derivados del carbono, de uso frecuente en la industria bajo una gran variedad de denominaciones comerciales y químicas¹.

ENSAYO TIPO: Ensayo que se realiza para verificar la conformidad de un requisito técnico cuando se presentan cambios en la formulación o cambios en el diseño del producto².

MATE: pintura o material de recubrimiento para pared, cuyo brillo especular es menor o igual a 10 unidades de brillo cuando se mide a 60°³

PINTURA: una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida⁴.

PLÁSTICO: son un grupo de materiales orgánicos que contienen como elemento principal el carbono combinado con otros ingredientes como el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno. Es sólido en su estado final, pero en alguna etapa de su manufactura es suficientemente suave para ser moldeado por muchos sistemas por medio de calor y/o presión⁵.

¹ FIGUERAS, Eva. Manipulación segura de productos químicos en grabado. Barcelona, 2008. P. 77.

² NORMA TECNICA COLOMBIANA. Pinturas al agua tipo emulsión. Bogotá: ICONTEC, 2015. 15p: il. (NTC 1335).

³ NORMA TECNICA COLOMBIANA. Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para pinturas y materiales de recubrimiento. Bogotá: ICONTEC, 2013. 24p: il. (NTC 6018).

⁴ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 3

⁵ CORNISH, María Lucía. El ABC de los plásticos. México: Universidad Ibero Americana, 1997. p. 7.

POLÍMERO: proviene de las palabras griegas Poly y Mers, que significa muchas partes, son grandes moléculas o macromoléculas formadas por la unión de muchas pequeñas moléculas: sustancias de mayor masa molecular entre dos de la misma composición química, resultante del proceso de la polimerización⁶.

POLIURETANO: es un tipo de plástico, que se forma por la reacción que se genera de combinar un poliol y un isocianato⁷.

SOLIDOS SUSPENDIDOS: este término se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles que se encuentran en una mezcla⁸.

TERMOPLÁSTICO: Son plásticos con moléculas colocadas de manera tal, que cuando el material es calentado sus relaciones intermoleculares se debilitan y se vuelve más suave. Esto hace que se pueda moldear fácilmente por diferentes métodos. Cuando el material se enfría se endurece y vuelve a su estado normal. El proceso de moldeo es reversible. El material no se descompone y pierde utilizarse para una nueva fabricación⁹.

⁶ YSACURA, Marlenys, et al. Polímeros y biomoléculas, El Cid Editor, apuntes, 2009.

⁷ El mundo de los plásticos. México: Instituto Mexicano del plástico industrial. Pag 30

⁸ CAMPOS, Irene. Saneamiento ambiental. Costa Rica, 2003. P 49.

⁹ Ibid., p. 22

RESUMEN

El propósito de este proyecto es evaluar un proceso para obtener una pintura a partir de un residuo de Poliuretano como resina, para obtener dicho proceso fue necesario elaborar una metodología para lograr un adecuado desarrollo experimental de la pintura a nivel laboratorio.

En primer lugar, se realiza la caracterización el residuo y de esta forma comprobar su composición poliuretánica. Seguido, se realiza la formulación teórica, suministrada por antecedentes bibliográficos para iniciar un desarrollo experimental, se fue generando solucionando a los problemas de formulación y parámetros de cada proceso para obtener una adecuada pintura medida que se desarrolló la etapa experimental; cada carga fue puesta a prueba para ver su reacción al aumentar o disminuir su proporción, considerando esto se formuló y se obtuvo como resultado la primera pintura con base en este residuo, con potencial de comercialización a nivel planta piloto; se generaron unas condiciones de operación conceptuales a grandes rasgos, se realizaron los balances de masa correspondientes a sus flujos y equipos necesario para su implementación. Finalmente se desarrolló un análisis de costos, donde según los resultados y análisis obtenidos, se logra obtener un aumento de producción y una reducción en pérdida de materia prima y tiempo, lo que en volumen representa aumento de ganancias para la empresa.

Palabras clave: poliuretano, pintura, residuo, espectrometría y formulación.

INTRODUCCIÓN

Los plásticos son un gran grupo de materiales orgánicos que contienen como elemento principal el carbono, combinado con tres elementos, los cuales son: hidrogeno, oxígeno y nitrógeno. Estos en su estado final se encuentran en fase sólida, son lo suficientemente suaves para ser moldeados por sistemas de calor y/o presión¹⁰. Los plásticos existen desde hace 60 a 70 años y se estimó que en el año 2015 se produjeron 8.300 millones de toneladas de plástico virgen, de estas, en el 2017, 6.300 millones se consideraron como residuos, el 9% fue reciclado, el 12% incinerados y el 79% acumulado en vertederos o entornos naturales¹¹. El presente trabajo de investigación aborda al tema de reutilización de un residuo mediante la fabricación de pinturas.

La pintura se puede definir como una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida¹². El residuo krystalflex PE399 será la resina en la fabricación de la pintura y es producida por la empresa Huntsman International. La característica principal de este residuo es que en su composición tiene poliuretano y otros compuestos desconocidos.

Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el proceso de obtención de pintura partiendo de residuos de poliuretano para el uso sobre superficies de madera para disminuir las cantidades de residuo y cambiar su disposición final y de esta manera convertirlos de desecho a resina de la pintura RyL.

En el ámbito profesional, como ingenieros químicos, el interés nuestro es aplicar cada uno de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para obtener conocimientos prácticos y experiencia con el fin de brindar un beneficio a la empresa mediante el diseño de la pintura y de esta manera aportarle a la sociedad.

¹⁰CORNISH, María Lucia. El ABC de los plásticos. México: Universidad Ibero Americana, 1997. P 8.

¹¹ BBC Mundo. 5 gráficos para entender que el plástico es una amenaza para nuestro planeta. [en línea]. <http://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>> [Citado: 24 abr. 2018]

¹² CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 3-5.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de obtención de pintura partiendo de residuos de poliuretano para el uso sobre superficies de madera.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar la composición del residuo KRYSTALFLEX PE399.
2. Obtener el recubrimiento partiendo de residuos de poliuretano de acuerdo a un desarrollo experimental.
3. Establecer las especificaciones técnicas del proceso a escala piloto.
4. Determinar la viabilidad financiera del proceso a escala piloto.

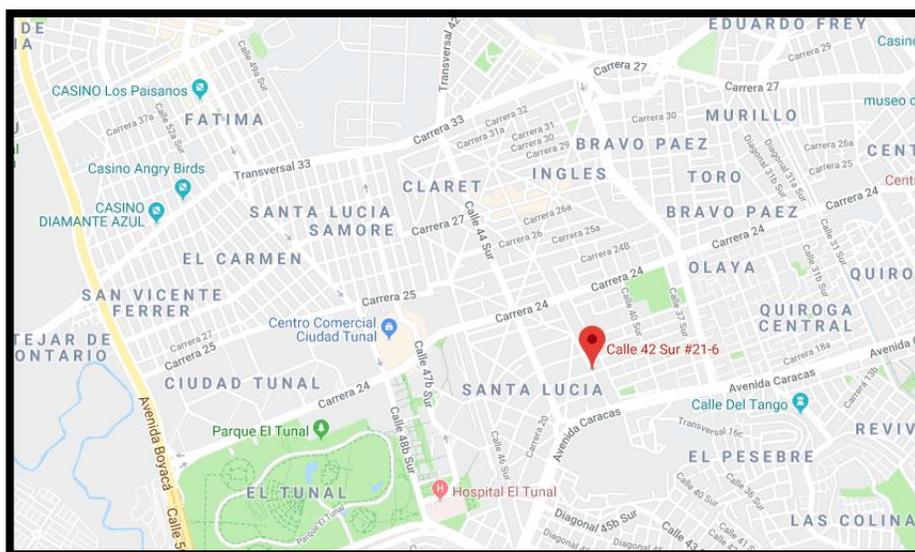
1. GENERALIDADES

Con el objetivo de dar un panorama general acerca de la empresa RyL industrias

1.1 DESCRIPCIÓN DE RYL INDUSTRIAS S.A.S.

RyL Industrias S.A.S. es una empresa ubicada en Bogotá y se puede detallar más exactamente en el barrio Santa Lucia, como lo muestra la Figura 1, dedicada a la fabricación y producción de pegantes como solución punto blanco, pegante industrial 117, pegante MR116, pegante CR725, pega espuma, Intack 710, pegaicopor, disolvente, disolvente trans, endurecedor, endurecedor trans, tapa pet, envase pet x 5000mL, envase pet x 3000mL, envase pet x 2000 mL, fibra dama, fibra segunda, fibra retal x kg, garrafa, para el uso en los sectores de textiles, construcción, madera, calzado, muebles y colchones.

Figura 1. Ubicación en el mapa



Fuente: Google maps. En línea. <https://goo.gl/2dM1vf> Consultado el 12 noviembre del 2018.

1.2 PLÁSTICO

Es un material polimérico que tiene la capacidad de ser moldeado o conformado generalmente mediante la aplicación de calor y presión. Esta propiedad de plasticidad, que a menudo se encuentra en combinación con otras propiedades especiales tales como baja densidad, baja conductividad eléctrica, transparencia y dureza, permite que los plásticos se conviertan en una gran variedad de productos. Estos incluyen botellas de bebidas resistentes y livianas hechas de tereftalato de polietileno (PET), mangueras de jardín flexibles hechas de cloruro de polivinilo

(PVC), contenedores aislantes de alimentos hechos de poliestireno espumado y ventanas inastillables hechas de polimetilmetacrilato¹³.

1.2.1 Tipos de plásticos. Al ser unos compuestos químicos provenientes de una reacción de polimerización, sus propiedades químicas y mecánicas dependen de los compuestos de reacción, generando diversas opciones al momento de crear un polímero, para poder establecer ciertas similitudes entre los plásticos se generan dos tipos para poder clasificarlos y segmentar su uso.

- Los termoplásticos: no sufren cambios en su estructura química durante el calentamiento. Se pueden calentar y volver a moldear cuantas veces se desee. Por ejemplo, el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), el policloruro de vinilo (PVC), el poli tereftalato de etilenglicol (PET), etc.
- Los termoestables: son los que sufren un cambio químico cuando se moldean y, una vez transformados por la acción del calor, no pueden ya modificar su forma. Por ejemplo, las resinas epoxídicas, las resinas fenólicas y amínicas y los poliuretanos¹⁴.

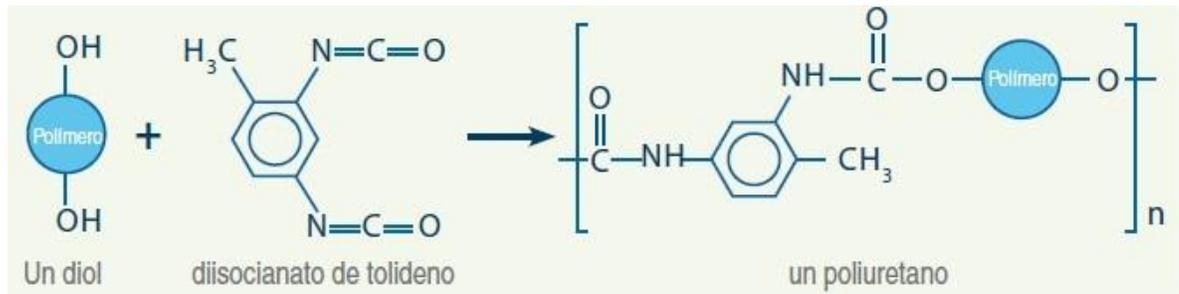
1.3 POLIURETANO

Los poliuretanos son el tipo de polímeros con más demanda en la era actual debido a la versatilidad en las propiedades y en la síntesis. El método de mezcla única y el método de pre-polímero se usan en la producción de poliuretano. Como hay una gran cantidad de ingredientes disponibles para la síntesis de PU, se puede obtener una buena variedad con propiedades según las especialidades adicionales que debe tener este polímero. Han sido los componentes no sustituidos en la industria del mueble, se utilizan como implantes y membranas biodegradables en el campo médico. Los poliuretanos están disponibles como espumas blandas y materiales de herramientas duras. Los elastómeros termoplásticos de poliuretanos son los materiales más buscados en la industria.

¹³ RODRIGUEZ, Ferdinand. Plastic, Chemical compound. [Online]. 07 dic. 2017, Disponible en internet: <URL: <https://www.britannica.com/science/plastic>>, consultado el 24 abr. 2018

¹⁴ SERRETA, P. Soportes Celulósicos. En: Universidad Nacional de Litoral. N° 1. (2009); p. 18. Consultado el 3 de noviembre del 2018.

Figura 2. Reacción de formación del poliuretano



Fuente: FULLQUIMICA. Formación de los polímeros sintéticos- reacciones de condensación. [En línea]. <https://goo.gl/aVf3Uy>. Consultado el 10 de diciembre del 2018.

La generación a partir de fuentes naturales y el reciclado son las atractivas ventajas de los poliuretanos. Los poliuretanos sintetizados se pueden caracterizar por espectroscopia, calorimetría y técnicas de dispersión. Mantienen la versatilidad en los resultados. La estructura separada en fases de los TPU y la cristalinidad inducida son interesantes para el estudio. La separación de fases y la cristalinidad son características dependientes de la temperatura de las PU¹⁵.

1.3.1 Caracterización de los poliuretanos. La síntesis de poliuretano implica un cambio en los grupos funcionales. Los grupos OH y el grupo NCO reaccionan para formar un grupo NHCOO. Después de la formación del pre-polímero de uretano, la polimerización tiene lugar en presencia de un catalizador y un extensor de cadena. Las técnicas espectroscópicas son útiles en la detección de los productos. Las reacciones secundarias y los subproductos se pueden identificar mediante infrarrojos y espectroscopia de resonancia magnética. Una vía clara de la reacción se explica con la ayuda de estas técnicas. El grado de enlace de hidrógeno entre diferentes grupos en poliuretanos normalmente se estudia cuantitativamente mediante el uso de infrarrojos de transformada de Fourier (FTIR).

1.3.2 Tipos de poliuretano, sus propiedades y aplicaciones.

- Espumas flexibles de baja densidad: son usadas para muebles, sillas de camión y cojines. Sus principales propiedades son la flexibilidad, la capacidad de recuperación, la alta resistencia mecánica y la durabilidad.
- Las espumas rígidas: poseen una alta resistencia mecánica, baja conducción de calor, baja absorción a la humedad y baja densidad. Se utilizan como materiales de núcleo en la fabricación de aislamientos térmicos en refrigeradores y paneles de aislamiento en edificios

¹⁵ REGHUNADHAN, Arunima. Polyurethanes: Structure, Properties, Synthesis, Characterization and applications. En: Polyurethane Polymers Blends and Interpenetrating Polymer Networks. Vol 1. Ch 1. (01. Sep. 2017); p. 15

- Elastómeros de poliuretano: tienen bajo costo, resistencia a altas cargas, alta resistencia a la compresión y se pueden colorear fácilmente. Se consideran sustitutos de plásticos y cauchos. Tienen algo de resistencia a la abrasión, resistencia a los solventes y productos químicos, alta resistencia al impacto y baja adaptación de humedad. Estas propiedades mecánicas los hacen adecuados para la fabricación de materiales de ensamble, en la industria de productos de la salud y en la industria de impresión.

También se usan en ruedas, rodillos, poleas, amortiguadores y casquillos. Los elastómeros de baja densidad se utilizan en la industria del calzado para la fabricación de la suela de los zapatos.

- Poliuretanos termoplásticos (TPU): Son poliuretanos segmentados con bloques alternados duros y blandos. La longitud de los bloques blando y duro se pueden controlar durante la síntesis. Son altamente utilizados en los equipos médicos, ruedas de ricino, herramientas eléctricas, deportes y en la industria del calzado. Los TPU tienen alta resistencia a la abrasión, alta resistencia química y a los solventes y resistencia al aceite y a la grasa ¹⁶.

1.4 PINTURA

Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida.

La composición genérica de un recubrimiento es la siguiente:

- Pigmentos.
- Cargas (no es imperativo).
- Ligante o resina.
- Disolvente (no es imperativo).
- Aditivos.

Algunos tipos pueden no contener todos los ingredientes, existen recubrimientos en los cuales no se utilizan cargas, disolventes o ninguno de los dos.

1.4.1 Componentes de la pintura. Para poder producir una pintura, se debe contar con algunos ingredientes mencionados anteriormente y teniendo clara su función dentro de la mezcla, para eso cada componente puede generar cierto beneficio a la pintura como lo son los siguientes:

¹⁶ REGHUNADHAN, Arunima. Polyurethanes: Structure, Properties, Synthesis, Characterization and applications. En: Polyurethane Polymers Blends and Interpenetrating Polymer Networks. Vol 1. Ch 1. (01. Sep. 2017); p. 2-11

- Los pigmentos: son compuestos orgánicos o inorgánicos cuya misión es proporcionar a la pintura color y poder de cubrimiento. Los pigmentos son opacos tanto en estado seco como húmedo.
- Las cargas: son en general de naturaleza inorgánica, aportan cuerpo, materia sólida y dan estructura, viscosidad y reología a el recubrimiento. Las cargas son opacas cuando están secas, pero son translúcidas en estado húmedo.
- Resinas, polímero o ligantes: son productos cuya misión es la de mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, una vez la pintura está seca. Según el tipo de resina utilizada la pintura tendrá unas características de secado y resistencias determinadas.
- Disolventes: se llama así al agua y otros productos de naturaleza orgánica cuya misión es la de dar a la pintura una viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse. Los disolventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación. El uso de estos que no disuelven al ligante es frecuente en la formulación de pinturas en este caso se les nombra como co-solventes.
- Aditivos: son productos que se dosifican en pequeñas cantidades para facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar unas características concretas a la pintura seca, crear las condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y para estabilizar la pintura en el periodo de almacenamiento.

Dentro de este grupo de productos encontramos humectantes y dispersantes, para facilitar el mojado de los pigmentos y cargas, y su posterior dispersión y estabilización; espesantes, que se utilizan para obtener una consistencia determinada; agentes reológicos, para dar un comportamiento determinado a la pintura durante y después del proceso de aplicación, una variedad de productos con misiones muy concretas¹⁷.

1.4.2 Fabricación de la pintura. El proceso de fabricación de la pintura es totalmente físico y se efectúa en cuatro fases.

- Dispersión: en esta fase se homogeneizan disolventes, resinas y los aditivos que ayuden a dispersar y estabilizar la pintura, posteriormente se añaden en agitación los pigmentos y cargas y se efectúa una dispersión a alta velocidad con el fin de romper los agregados de pigmentos y cargas.
- Molido: el producto obtenido en la fase anterior no siempre tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molturación en molinos, generalmente de perlas.

¹⁷ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 3-5

- Dilución: la pasta molida se completa, siempre en agitación, con el resto de los componentes de la fórmula. Los productos se deben añadir uno a uno para evitar posibles reacciones entre ellos.
- Ajuste de viscosidad: es el último paso en la elaboración de una pintura, consiste en proporcionar a la pintura fabricada un aspecto de fluidez homogéneo en todas las fabricaciones y que se ajuste a las necesidades de aplicación de la misma¹⁸.

1.4.3 Criterios técnicos de pintura exterior. En los mercados de recubrimientos se comprenden dos tipos de recubrimiento según su aplicación, aplicación para exteriores e interiores, porque los materiales expuestos a la intemperie requieren propiedades exigentes y porque los recubrimientos de exterior deben cumplir con una propiedad protectora de paredes y muros. Los recubrimientos de fachada son, como consecuencia, desde el punto de vista económico, productos costosos y también lo es su aplicación, teniendo en cuenta que se requiere de andamios, así como porque hay que respetar restricciones del clima: lluvia, frío y sol. Generalmente una pintura de fachada es el líder dentro de un surtido y el mascarón de proa de una empresa de pinturas.

Criterios a tener en cuenta en la formulación de pinturas de fachada en:

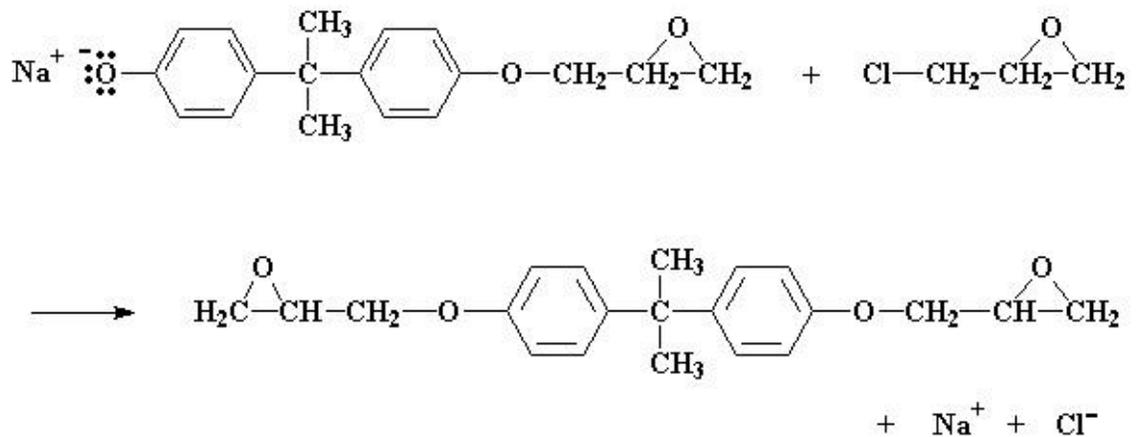
- Exigencias a las materias primas: ligantes, pigmentos y cargas.
- Criterios de protección contra el agua líquida y el vapor¹⁹.

1.4.4 Resinas epoxi. Se trata de un grupo de resinas con un amplio campo de aplicaciones. Son resinas que deben ser reticuladas con aminas, amidas, anhídridos de ácido o ácidos de Lewis, y que pueden reaccionar con los más diversos productos. Las resinas epoxi son el producto de reacción del bisfenol A con epíclorhidrina, como se muestra en la figura 3.

¹⁸ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 3-5

¹⁹ SCHWEIGGER, Enrique. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Ediciones Diaz de santos, 2005. P 100-102.

Figura 5. Prepolímero de resina epoxica.



Fuente: TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS. <https://goo.gl/MkyPZE> [En línea]. Consultado el 12 de diciembre del 2018.

1.4.5 Resinas epoxi sólidas. Son resinas de alto peso molecular, se encuentran en el mercado tanto en estado sólido como en solución, mucho más manejables. Las soluciones suelen ser con xileno aproximadamente al 75% en materia sólida, aunque pueden encontrarse con otros disolventes y otras concentraciones. Según la aplicación a que se deban destinar, se emplearán resinas de mayor o menor equivalente epoxi, cuanto menor sea este mayor será la reactividad de la resina. Los principales fabricantes de resinas pueden aportar información de la resina precisa para una aplicación determinada, su aplicación es muy amplia desde la formulación de imprimaciones, capas intermedias y acabados para estructuras metálicas que estén sometidas a medios altamente agresivos, hasta los barnices para can-coating, o sea, el barnizado de envases metálicos. No es nada desdeñable la aplicación en acabados para la protección de suelos de hormigón, etc.

1.4.6 Resinas epoxi líquidas. Son resinas de peso molecular medio y normalmente se comercializan sin dilución alguna, se pueden encontrar con base en ambos bisfenoles o mezclas del A y el F en función de la aplicación a que se destinen. Es importante decir que las resinas basadas en bisfenol A a bajas temperaturas tienden a la cristalización, mientras que las basadas en el bisfenol F son mucho más resistentes a este fenómeno. De la misma forma pueden encontrarse resinas de distintas viscosidades, cuestión importante según la aplicación a que sean destinadas²⁰.

²⁰ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 66-68

La viscosidad de estas resinas viene determinada de forma muy importante por la temperatura. Véase la siguiente variación de viscosidad: 20 °C 24 Pa.s, 30 °C 4.8 Pa.s. Esto significa que un producto formulado en el laboratorio puede alcanzar viscosidades altísimas cuando el producto está en el exterior a temperaturas de 8-10 °C.

Algunas resinas se comercializan diluidas con disolventes reactivos para que sean más manejables. Estas resinas tienen su aplicación en los recubrimientos de capa gruesa, esto significa que se aplican con espesores de 200 a 400 micras por capa. Se emplean también en recubrimientos de alta resistencia a la abrasión para suelos y en la preparación de morteros epoxi para suelos²¹.

1.4.7 Disolventes. Los disolventes son los responsables de dar a la pintura líquida una consistencia adecuada para la comercialización del producto; deben dar a la pintura la estabilidad necesaria en su almacenamiento y deben a su vez proporcionar la reología adecuada para la aplicación. Los disolventes deben solubilizar el ligante o resina, y deben hacerlo tanto en el envase como durante todo el proceso de evaporación, o sea, durante todo el proceso de secado y formación del film seco. Cuando se habla de disolventes, se debe distinguir entre los disolventes verdaderos y los co-solventes o diluyentes. Los primeros son capaces por sí solos de disolver al ligante o resina, los segundos pueden utilizarse para diluir las soluciones obtenidas con los disolventes verdaderos. Se debe tener en cuenta que un exceso de co-solvente inestabilizaría la solución y que esto puede suceder tanto en el envase como durante el proceso de evaporación de los disolventes durante el secado. El resultado de un mal equilibrio entre disolvente verdadero y co-solvente es la formación de películas de mala calidad, con arrugas, con falta de brillo y otras deficiencias que deben ser evitadas.

Se utilizan mezclas de disolventes con diversos objetivos, entre otros:

- a) obtener reducciones de viscosidad con pequeñas cantidades de disolvente cuando lo que se desea es mantener el máximo de materia sólida con una viscosidad reducida.
- b) mantener una viscosidad elevada con pocos sólidos.
- c) controlar la velocidad de los mismos.
- d) conseguir efectos de nivelación óptimos²².
- e) evitar la formación de velo a causa de la condensación de agua sobre el film debido a una rápida evaporación.

²¹ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 66-68

²² Ibid., p. 85

f) facilitar la disolución de un producto mediante la humectación previa con un co-solvente y posterior disolución con un verdadero disolvente del producto²³.

²³ CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 85

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RESIDUO KRISTALFLEX PE399

El presente capítulo muestra los procedimientos y análisis realizados al residuo de poliuretano, con el fin de obtener una percepción química y física del residuo para determinar su composición cualitativa y para confirmar si el residuo con el que cuenta la empresa RyL Industrias S.A.S. es un poliuretano, y que características adicionales presenta, así como la descripción del origen del residuo y su aspecto al llegar a la empresa.

2.1 GENERALIDADES DEL RESIDUO

Huntsman International es una multinacional dedicada a proveer polímeros a base de epoxi, acrílico y poliuretano con tecnología avanzada. Fue fundada en 1748 cuando la compañía de productos químicos más antigua de Basilea, Suiza, comenzó a comercializar productos químicos y colorantes.

Tiene una experiencia en más de 30 países en innovación tecnológica y aplicaciones que proporciona soluciones confiables, duraderas y rentables que abordan los desafíos de ingeniería en una amplia gama de industrias²⁴. Uno de sus productos comercializados en Colombia es Krystalflex PE399, dicho producto, es una película de poliéster alifático de alto rendimiento, destinada al procesamiento por laminación con una gama de componentes de vidrio y plástico, para aplicaciones tales como:

- Acristalamiento de contención de la prisión.
- Balística.
- Blindaje de vehículos.
- Pantallas de ordenador.
- Partes de zoológicos²⁵.

Debido al proceso de fabricación, el producto Krystalflex PE399 se obtiene en forma de láminas con estrías poco profundas a las cuales se le realizan cortes dependiendo su aplicación, este proceso de corte genera aproximadamente 3.5 toneladas de residuos mensuales. La empresa RyL industrias S.A.S. adquirió un

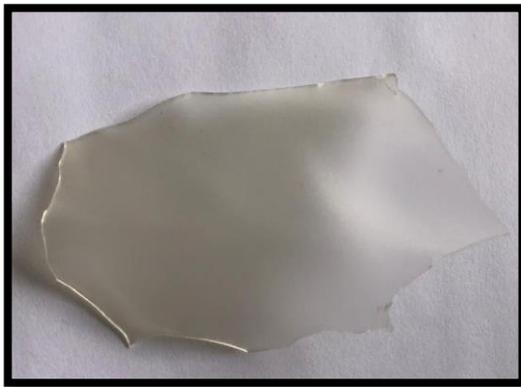
²⁴ HUNTSMAN INTERNATIONAL. Sobre nosotros. [En línea].
<https://www.huntsman.com/advanced_materials/a/About%20us> [Citado: 26 Oct. 2018]

²⁵ HUNTSMAN INTERNATIONAL. Ficha técnica krystalflex pe399. [En línea]
<<https://www.huntsman.com/portal/page/portal/C1CD1F5B185B1738E040EBCD2B6B01F1>> [Citado: 26 Oct.2018]

lote de una tonelada del residuo para analizar la posible homologación del producto en el proceso de impregnación de tela para la industria del calzado, dado a que este residuo no tuvo resultados positivos, se decidió evaluar la posibilidad de generar un desarrollo enfocado a la pintura y de esta manera ampliar su portafolio.

2.1.1 Propiedades físicas y químicas del residuo. Es necesario realizar una descripción y comprensión de las propiedades que tiene el residuo para poder realizar un análisis y determinar algunas propiedades que puede favorecer las propiedades de la pintura. El residuo de poliuretano llega a la empresa RyL Industrias S.A.S. en forma física y en diferentes tamaños, en la figura 6 se observa el residuo es su estado original.

Figura 6. Residuo Krystalflex PE399



Fuente: elaboración propia

Con el fin de obtener más información acerca del residuo, se realizó una revisión de la ficha técnica del producto Krystalflex PE399 y se encontraron las siguientes propiedades del material:

Tabla 1. Propiedades físicas del krystalflex PE399

Propiedad	Tipo	DIN	Unidad	Valor	Astm	Unidad	Valor
Dureza	M	5350 5	Shore A	80	D-2240	Shore A	80
Resistencia a la tracción	E	5350 4	MPa	45	D-412	psi	6500
Elongación	E	5350 4	%	500	D-412	%	500

FUENTE: HUNTSMAN INTERNATIONAL. Ficha técnica krystalflex pe399. [En línea]. <https://www.huntsman.com/portal/page/portal/C1CD1F5B185B1738E040EBCD2B6B01F1>. Consultado el 26 de octubre del 2018.

En la tabla 1 se encuentran algunas propiedades físicas del residuo. Todas las propiedades fueron medidas por la empresa Huntsman International, según las normas DIN (Instituto Alemán de estandarización) y las normas ASTM (Sociedad Americana para pruebas y materiales). Para cada propiedad se encuentra la norma con la cual fue medida, la unidad y su respectivo valor. La primera propiedad medida fue la dureza Shore, esta se utiliza para realizar ensayos sobre goma o plásticos blandos. El krystalflex PE399 tiene un valor de 80 shore A, teniendo una dureza semejante a la suela de un zapato y catalogada como dura. La segunda fue la resistencia a la tracción con un valor de 45 MPa., por lo cual la muestra de krystalflex tiene una excelente resistencia a la tracción ya que su valor se encuentra por encima de 21MPa., la tercera propiedad evaluada fue la elongación con un valor de 500%. La elongación representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante y luego recuperar su longitud original. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original sin inconvenientes²⁶. Estas propiedades son determinadas por el estiramiento de una probeta y la elongación se determina simultáneamente con el esfuerzo de tensión, por esta razón se utiliza la misma norma para la medición de las dos propiedades. Estas dos propiedades son usadas para determinar la resistencia de los elastómeros al deterioro por acción del calor, líquidos, gases, químicos y ozono, entre otros. Para tales fines, la resistencia a la tensión, el módulo de tensión y la elongación última se miden antes y después de la exposición. Si los cambios obtenidos son mínimos, se espera que los compuestos tengan una larga durabilidad en el tiempo. Estas propiedades son de gran importancia para la fabricación de la pintura, ya que esta después de aplicarla sobre una superficie esta genera una película delgada, al tener buena dureza, resistencia a la abrasión y elongación el residuo, se podría predecir que la película no se fracturará con facilidad y se obtendrá una pintura de buena calidad.

Otras características acerca del Krystalflex PE399 son:

- Es un poliuretano termoplástico, lo que quiere decir que a temperaturas altas se vuelve deformable o flexible.
- Tiene resistencia microbiana, lo cual es una ventaja al momento de la fabricación de la pintura ya que se podrá omitir el bactericida.
- Es un promotor de adherencia, con esta propiedad se presume que, en el momento de aplicar la pintura, la fina película va a tener una buena adherencia en el sustrato y no se despegara tan fácilmente.
- Estabilidad UV mejorada, la pintura podría ser más resistente a los rayos ultravioleta y de este modo ser más duradera.
- Excelente impacto al frío ²⁷.

²⁶ POLYMER SCIENCE LANGUAGE CENTER. Mechanical properties of polymers. . [En línea] <<http://www.pslc.ws/spanish/mech.htm>> [Citado el 19 de noviembre de 2018]

²⁷ HUNTSMAN INTERNATIONAL. Ficha técnica krystalflex pe399. [En línea]

- Es fabricado en diferentes calibres.
- El color es transparente
- Posee estrías.
- Al llegar a la empresa este presenta contaminación de polvo, se decide no aplicarle ningún tipo de lavado porque de ser así incluiría un gasto más para la empresa.

2.1.2 Caracterización química. Para evaluar la composición química del residuo y corroborar el compuesto con mayor proporción se debe realizar mediante técnicas fisicoquímicas, cada una de estas tiene un enfoque o cierta área para poder generar resultados, en el caso del residuo al conocer su ficha técnica se comienza con la premisa que este es un polímero, poliuretano. Según la información obtenida del artículo “caracterización estructural de poliuretanos mediante espectroscopia FTIR y RMN” de la autora Bárbara Gregori y de la tesis de maestría “Activación de espuma de Poliuretano con nanopartículas de Ag y evaluación de sus propiedades catalíticas” de la autora María Muñoz, se evalúan distintas técnicas analíticas y de caracterización con el objetivo de caracterizar el material. A continuación, se describen dichas técnicas:

- La espectrometría de masas es una herramienta espectroscópica analítica enfocada principalmente a la separación de especies moleculares y atómicas de acuerdo a su masa²⁸. Está basada en el comportamiento diverso de los iones que se forman por las diferentes técnicas de ionización, al atravesar campos eléctricos y magnéticos. Así dichos iones son separados en función de su relación masa/carga (m/z) y detectados posteriormente²⁹. Puede ser usada para el análisis desde unidades elementales hasta grandes proteínas y polímeros.
- La cromatografía está basada en la separación de los componentes de una mezcla, aprovechando su distribución entre dos fases: la fase móvil y la fase estacionaria. Generalmente, mediante el empleo de una columna que contiene la fase estacionaria, los compuestos a separar son arrastrados por la fase móvil y son analizados a su paso por el detector. Si la fase móvil es un gas, da lugar

<<https://www.huntsman.com/portal/page/portal/C1CD1F5B185B1738E040EBCD2B6B01F1>>
[Citado: 26 Oct. 2018]

²⁸ BRETON, Angela. Secuenciación de proteínas por espectrometría de masas. Instituto de Biotecnología, UNAM. México. 2004. P. 5

²⁹ ROMERO, Roberto. Empleo de la espectrometría de masas como herramienta para la determinación de tóxicos en alimentos: hacia la seguridad alimentaria. Revista Español de salud pública. España. 2007. P. 464.

a la cromatografía de gases, mientras que, si es un líquido, se denomina cromatografía líquida.³⁰

- Resonancia Magnética nuclear puede proporcionar detalles más sutiles de la estructura molecular, como son los ángulos de enlace o las densidades electrónicas. Dado que la técnica puede emplearse con facilidad a bajas temperaturas, resulta posible estudiar moléculas que son inestable o muy reactivas a temperatura ambiente. Por medio de la resonancia magnética (RMN), pueden examinarse los equilibrios conformacionales ³¹.
- Espectroscopia de transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier: conocida como FTIR es el método por el cual se estudia la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material en estudio. Se basa en que las moléculas tienen la posibilidad de rotar y vibrar a distintas frecuencias. La espectroscopia FTIR se usa ampliamente para identificar polímeros debido a su sensibilidad a variaciones menores en estructura polimérica. Además, la técnica es rápida y no destructiva³².

Luego de evaluar los cuatro métodos por los cuales se podría caracterizar el residuo, se encontró que la resonancia magnética es una técnica con difícil disponibilidad y no posee facilidad de interpretación en los resultados. Con la cromatografía de gases y la espectrometría de masas se intentó caracterizar el residuo en la Universidad Pontificia Javeriana, pero como el residuo es un polímero de alta densidad, no se pudo realizar, ya que los equipos utilizados para esta técnica no soportan la interacción con polímeros de alta densidad y esto genera resultados incoherentes y des calibración al equipo. Como el objetivo era comprobar que el residuo se trataba de un poliuretano y encontrar que otros compuestos podrían estar presentes, se eligió la técnica FTIR. Esta es una técnica cualitativa y permite realizar estudios comparativos, además, tenía una excelente disponibilidad, ya que en varios laboratorios como: la universidad nacional de Colombia, Universidad de los Andes y el SENA, se podía realizar el estudio, además se podían interpretar los datos fácilmente con ayuda de los diferentes softwares y por medio de la comparación de espectros de diferentes artículos.

Después de elegir el FTIR como la técnica para caracterizar el residuo, se entregan dos porciones del residuo como muestra para el laboratorio de espectrometría en el

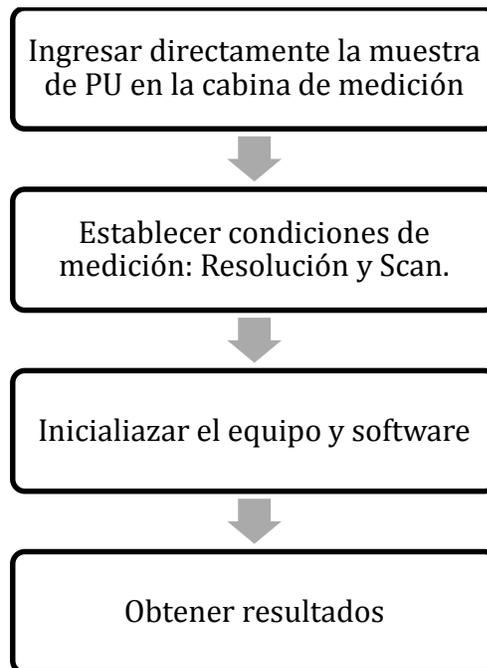
³⁰ GUTIERREZ, Bouzan. la cromatografía de exclusión: análisis de la distribución de pesos moleculares en siliconas por GPC. Boletín INTEXER. Cataluña. 2009. P 34.

³¹ WEININGER, Stephen. Química Orgánica. España. 1988. P 322

³² SHEN, Yiding. Polymer-plastics technology and engineering. China. 2012

SENA, esta muestra es analizada con la metodología mostrada en la figura 7. Este laboratorio posee en su equipo, el software Lab Solutions Data, el cual realiza una comparación entre la muestra analizada y sus espectros de la base de datos y arroja un porcentaje de coincidencia.

Figura 7. Diagrama de proceso para FTIR.

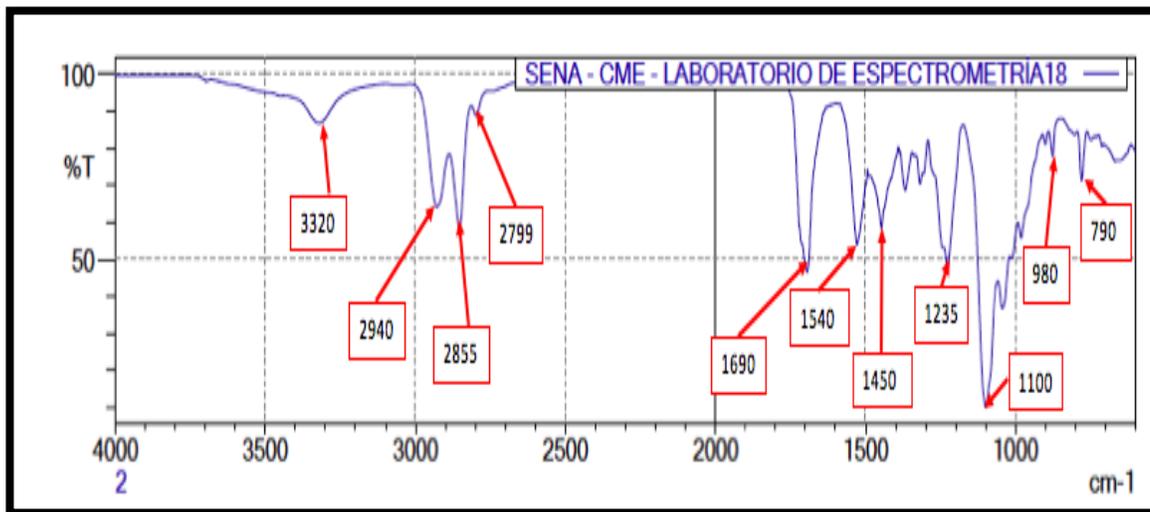


Fuente: elaboración propia

Para caracterizar la muestra por medio del ensayo de FTIR, inicialmente se inicializa el equipo, es importante dejar cargar el equipo por una hora aproximadamente, mientras la lámpara infrarroja estabilizaba el haz de radiación. Después se prepara la muestra, ya que el residuo viene en diferentes calibres, se utilizó el residuo más delgado para que el haz de luz pudiera pasar sin problema y que este generara mejores resultados, se realizó una limpieza previa para retirar el polvo presente en la muestra para evitar longitudes de onda incorrectas, finalmente se recortó el residuo en cuadros de 4x4cm antes de ingresar al equipo. Se establecieron las condiciones de análisis las cuales fueron de 40 scans, los scans son las cantidades de lecturas consecutivas que realiza el equipo a una muestra para mejorar el espectro obtenido, también se estableció la resolución de 4cm⁻¹, que es el número de bandas que el equipo puede obtener por unidad de longitud, después se tomó un background que es una lectura previa que ayuda a eliminar las bandas generadas por el ambiente (CO₂), luego se ingresó la muestra en el porta muestras del equipo y por último se generaron las lecturas mediante el software para obtener los espectros de infrarrojo.

De esta manera el software encontró que la muestra analizada tenía una correspondencia del 73% con una molécula de poliuretano, es decir, que un gran porcentaje de la composición del residuo está presente la molécula de poliuretano obteniendo el espectro de la figura 8.

Figura 8. Espectro infrarrojo del residuo Krystalflex PE 399.



Fuente: SENA. Laboratorio de espectrometría

Se observa el espectro del residuo en la figura 8, dentro de los recuadros rojos se especifica la longitud de onda para los picos más notorios. Los grupos funcionales encontrados son:

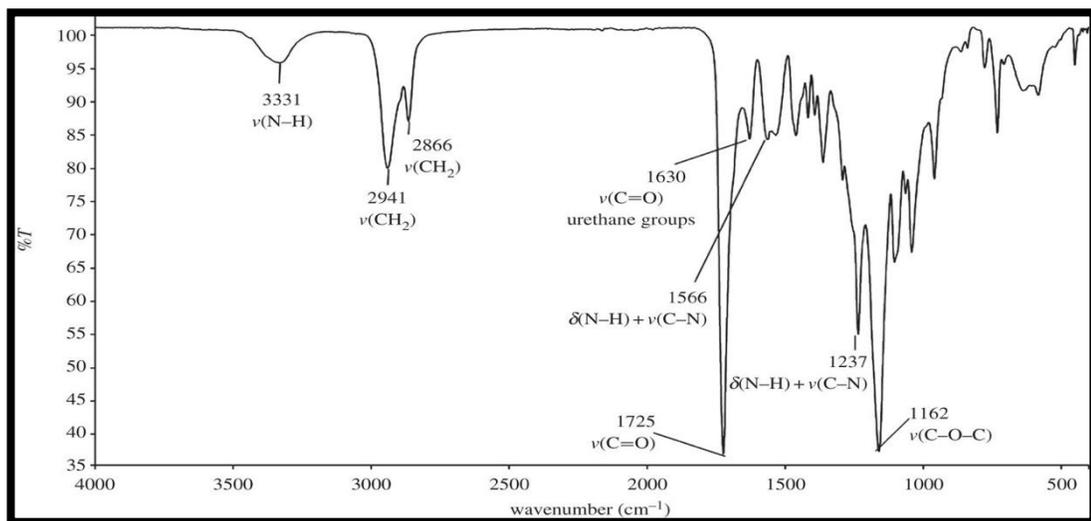
- 3320 cm^{-1} N-H (amina primaria alifática)
- 2940 cm^{-1} C-H (alcano)
- 2855 cm^{-1} C-H (alcano)
- 2799 cm^{-1} C-H (aldehído)
- 1690 cm^{-1} C=O (amida primaria)
- 1540 cm^{-1} N-H (amina)
- 1450 cm^{-1} C-H (alcano)
- 1235 cm^{-1} C-N (amina aromática)
- 1100 cm^{-1} C-N (amina)
- 980 cm^{-1} C-N (amina)
- 790 cm^{-1} C=C (alcano)

Al encontrar cada grupo funcional del espectro se realizaron investigaciones de espectros de poliuretano en artículos, con los cuales el residuo tuviera alguna coincidencia y de esta manera encontrar su afinidad y coincidencia a las variaciones de poliuretano, ya que depende de las sustancias químicas en el proceso de formación y en ocasiones otros posibles grupos funcionales debido a la adición de

aditivos o componentes utilizados con el objetivo de mejorar una o múltiples propiedades.

Para comprar el espectro obtenido del residuo se comenzó a buscar espectros de poliuretano, y entre todos generaban una misma tendencia de picos, se escogió el espectro con más afinidad en sus longitudes de onda, como lo es el espectro de poliuretano sintetizado a partir de poli (ϵ -caprolactona) diol,1,4 y este se observa en la figura 9. El cual fue extraído del artículo “Polyurethane-based scaffolds for myocardial tissue engineering” de la autora Valeria Chiono.

Figura 9. Espectro infrarrojo de un poliuretano utilizando un poli (éster uretano) (PU) sintetizado a partir de poli (ϵ -caprolactona) diol,1,4



Fuente: CHIONO, Valeria. Polyurethane-based scaffolds for myocardial tissue engineering. Página 35. Consultado el 1 de noviembre 2018.

En la figura 9 se observa un espectro de poliuretano sin ninguna carga adicional, los picos característicos encontrados fueron:

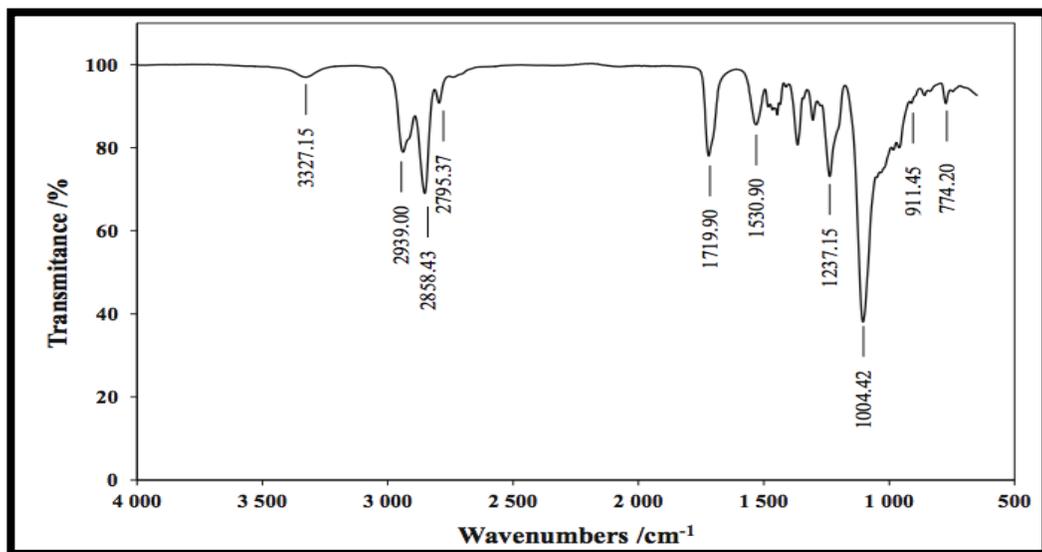
- 3331 cm^{-1} N-H (Amina alifática primaria)
- 2941 cm^{-1} C-H (alcano)
- 2866 cm^{-1} C-H (alcano)
- 1725 cm^{-1} C=O (Amida)
- 1630 cm^{-1} C=O (amida primaria)
- 1237 cm^{-1} C-N (amida aromática), N-H
- 1162 cm^{-1} C-O-C

En primera instancia se comparó el espectro del residuo con el espectro del poliuretano de la figura 9 con el fin de encontrar algún tipo de coincidencia o

tendencia para corroborar la composición de poliuretano en el residuo, se encontraron 5 picos idénticos, no obstante, existen 2 picos ubicados en la longitud de onda 1725 cm^{-1} y 1162 cm^{-1} con los cuales el espectro del residuo y el espectro de poliuretano no tienen en común. Dichos picos se deben a la formación del poliuretano, ya que fue formado mediante la fusión de aditivos por extracción, ya que en la figura 6 tampoco muestra dichos picos, este poliuretano tiene un enfoque biomédico, por eso sus compuestos difieren del espectro obtenido en los laboratorios del SENA.

Al encontrar variaciones o modificaciones en los compuestos de poliuretano se encontró que pueden tener resinas epoxi dentro de su composición como se evidencia en el espectro en la Figura 10, encontrado en el artículo “thermal and surface properties of hybrid materials obtained from epoxy-functional urethane and siloxane” del autor Lukasz Byczynski.

Figura 10. Espectro de un prepolímero de poliuretano terminado en epoxi



FUENTE: BYCZYNSKI, Lukasz. Thermal and Surface properties of hybrid materials obtained from epoxy-functional urethane and siloxane. Página 8. Consultado el 1 de noviembre 2018.

En este espectro se evidencian los siguientes grupos funcionales:

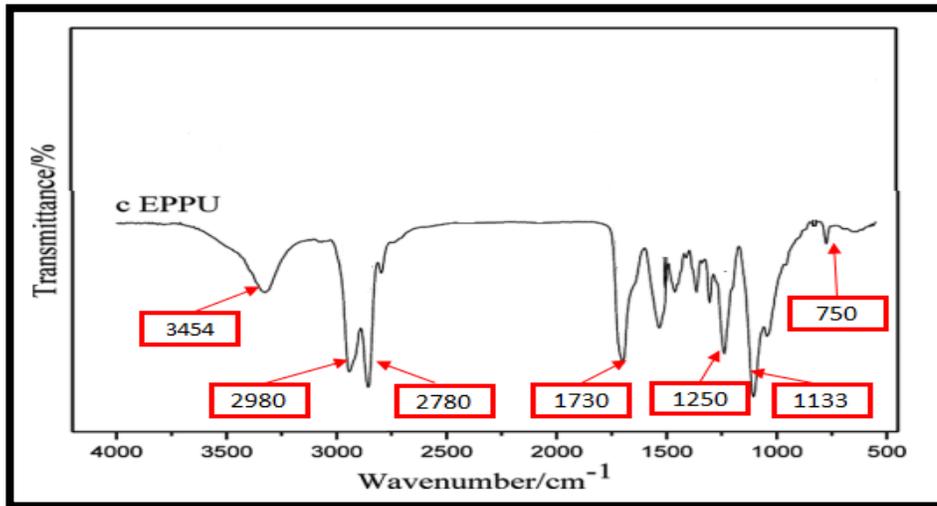
- $3327,15\text{ cm}^{-1}$ N--H (amina alifática primaria)
- $2939,00\text{ cm}^{-1}$ C--H (alcano)
- $2858,43\text{ cm}^{-1}$ C--H (alcano)
- $2795,37\text{ cm}^{-1}$ C-H (aldehído)

- 1719,90 cm^{-1} C=O (amida)
- 1530,90 cm^{-1} N-H (amina)
- 1237,15 cm^{-1} C-N (amina aromática), N-H
- 1004,42 cm^{-1} C-N (amina)
- 911,45 cm^{-1} C-O
- 774,20 cm^{-1} C=C (alcano)

Al tener mayor afinidad este espectro del poliuretano con terminación epoxica en la figura 10 y el espectro del residuo en la figura 8, se encontraron 8 picos idénticos, no obstante, existen picos 2 ubicados en la longitud de onda 1719.90 cm^{-1} y 911.45 cm^{-1} con los cuales el espectro del residuo y el espectro de poliuretano con terminación epoxi no tienen en común. Las diferencias y similitudes en sus picos reflejan que tienen grupos funcionales o composiciones similares, con respecto a las figuras 8,9 y 10 tienen algunos picos cercanos o en su mismo punto, de esto se difiere que hay una tendencia poliuretánica, y que, debido a las composiciones diferentes de cada material, ya sea por aditivos o por tener otro grupo funcional como en este caso el siloxano presenta esta diferencia, que son menores que las similitudes encontradas.

Al encontrar una tendencia del residuo de ser un poliuretano con alguna resina epoxica se desarrolló nuevamente el ejercicio comparativo con otro espectro, espectro de poliuretano terminado en hidroxilo modificado por epoxi, en la figura 11. Extraído del artículo "Polymer-plastics technology and engineering" del autor Yiding Shen.

Figura 11. Espectro de Poliuretano terminado en hidroxilo (c. EPPU) modificado por epoxi



FUENTE: SHEN, Yiding. Polymer-plastics technology and engineering. China. Consultado el 1 de noviembre 2018.

Se observa un espectro de un poliuretano terminado en hidroxilo modificado por epoxi, en los recuadros rojos de la figura 11 se puede encontrar la longitud de onda de los picos más característicos. Estos picos se nombran a continuación:

- 3454 cm^{-1} hidroxilo de resina epoxi
- 2980 cm^{-1} C-H (alcano)
- 2780 cm^{-1} C-H (aldehído)
- 1730 cm^{-1} C=O (amida)
- 1250 cm^{-1} C-N (amina)
- 1133 cm^{-1} Si-O-Si
- 750 cm^{-1} C=C (alcano)

Para corroborar su afinidad con los poliuretanos con adición de una resina epoxica se comparan los espectros de la figura 8 y 11, encontrando que poseen 4 picos idénticos, no obstante, existen picos 3 ubicados en la longitud de onda 3454 cm^{-1} , 1730 cm^{-1} y 1133 cm^{-1} con los cuales el espectro del residuo y el espectro de poliuretano terminado en hidroxilo modificado por epoxi no tienen en común. De la figura 9 se evidencia la misma tendencia con respecto a los demás espectros, esto se debe a su composición principal que es de un poliuretano; cada material es diferente del otro y por eso existen picos que no presentan una tendencia comparable, por lo que este compuesto es un poliuretano epoxico que adicionalmente se le agregó una ramificación hidroxila para evaluar su comportamiento frente a otros aditivos agregados en su elaboración, según el artículo. Después de analizar y realizar la comparación de los tres espectros con

respecto al espectro de la figura 8 y con el objetivo de resumir los datos anteriormente encontrados, se realizó la tabla 2, en la cual se encuentra para cada espectro los valores de los picos más representativos, junto con el grupo funcional al cual se pertenecen.

Tabla 2. comparativos de longitudes de onda entre el residuo krystalflex Pe399, poliuretano, poliuretano terminado en epoxi, EPPU.

Longitud de onda cm-1	Grupo funcional	Residuo krystalflex	Poliuretano	Poliuretano terminado en epoxy	Eppu
3454	hidroxilo de Resina epoxi	-	-	-	3454
3330-3250	N-H (aliphatic primary amine)	3320	3331	3327,15	-
3000-2840	C-H (alkane)	2940 y 2855	2941 y 2866	2939 y 2858,43	2980-2850
2830-2695	C-H (aldehyde)	2799	-	2795.37	2780
1730-1720	C=O (amide)	-	1725	1719.90	1730
1690-1630	C=O (primary amide)	1690	1630	-	-
1650-1580	N-H (amine)	1540	1566	1530,90	-
1450-1375	C-H (alkane)	1450	-	-	-
1342-1266	C-N (aromatic amine), N-H	1235	1237	1237,15	-
1133	Si-O-Si	-	-	-	1133
1250-1020	C-N (amine)	1100	-	1104,42	1250
1162	C-O-C	-	1162	-	-
980-960	C=C (alkane)	980	-	-	-
911	C-O	-	-	911,45	-
840-790	C=C (alkane)	790	-	774,20	750

Fuente: elaboración propia

Para los resultados obtenidos en el ensayo de FTIR del residuo (figura 8), se compararon las zonas iniciales, medias y finales dando como resultado las siguientes similitudes:

- Zona inicial (3500 cm^{-1} - 2500 cm^{-1})

Comparando la fig. 8 encontramos una similitud en el primer pico ubicado en la longitud de onda 3331 cm^{-1} en donde podemos encontrar el grupo funcional de la amida primaria alifática (N-H).

Para la fig. 9 y 10 se encontraron 3 picos similares ubicados en los rangos con longitud de onda de 2980 cm^{-1} – 2793 cm^{-1} con grupos funcionales como son: hidroxilo de resina epoxi, amida alifática primaria, alcano y aldehído.

- Zona media (2000 cm^{-1} - 1000 cm^{-1})

Comparando la fig. 8 encontramos una similitud en los picos a los que corresponden los grupos funcionales amida primaria (C=O), amina (N-H), amina aromática (C-N). Para la fig. 9 los espectros comparten los siguientes grupos funcionales: amina (N-H), amina aromática (C-N). Para la fig. 10 el grupo amina.

- Zona final (1000 cm^{-1} - 600 cm^{-1})

En la última zona el espectro la única similitud que se aprecia es con respecto a la fig. 8 y 10 presenciando el grupo funcional alcano (C=C).

Luego de comparar las diferentes zonas de los espectros, procede a analizar los datos obtenidos.

Para confirmar que el residuo estuviera en su gran mayoría compuesto por poliuretano, se analizaron y se compararon los picos más pronunciados de las figuras 8, 9 y 10 con respecto a la figura 3. Se confirmó la presencia poliuretano en el residuo y gracias a la similitud entre los espectros se presume que el residuo en su composición posee el grupo epoxi, gracias a su afinidad con los espectros de la figura 9 y 10. Para corroborar dicha información, se encontró que la empresa Huntsman International fabrica polímeros en base epoxi, de esta información se podría suponer la presencia de este grupo, aunque en la ficha técnica no especifica la presencia de este. También se encontró que dentro de los posibles componentes del residuo se encuentra el vidrio, el cual generó cierta perturbación en el espectro del residuo obteniendo algunas diferencias con los demás. Tener un residuo de poliuretano epoxi como resina para la fabricación de pintura genera ventajas como proteger la superficie aplicada de la corrosión, mejorar la adherencia, alta dureza,

resistencia a la humedad con alta durabilidad. Además de tener un bajo costo esta materia prima por ser un residuo. Se pretende fabricar una pintura con precios más bajos para competir en el mercado y poder en un futuro utilizarla en otras aplicaciones como acabado para la decoración y protección de superficies metálicas y de fibra de vidrio, para el exterior de tanques, tuberías, maquinaria, equipos y estructuras. En una gran variedad de ambientes industriales con alto grado de contaminación (plantas de refinación del petróleo, químicas, petroquímicas, etc.)³³.

La importancia de realizar la caracterización química a la muestra era confirmar la presencia de poliuretano. Con la aplicación de esta técnica se logró cumplir el propósito principal del capítulo ya que al fabricar la pintura en las especificaciones del producto final se debe confirmar la base de que producto o resina es fabricada. También obtener información del residuo, la cual podrá servir para distintas aplicaciones y futuros desarrollos para la empresa RyL industrias.

³³ PINTUCO. Esmalte poliuretano altos sólidos. [Online][Citado: 29 Oct. 2018] Disponible en internet URL:
<https://www.pintuco.com.co/productos/proteccion-industrial/esmalte-poliuretano-altos-solidos>

3. OBTENCIÓN DE UNA PINTURA PARTIENDO DEL RESIDUO KYSTALFLEX

El siguiente capítulo tiene como finalidad generar una formulación de pintura a nivel laboratorio y que sirva como base para la producción a nivel piloto e industrial de la misma, partiendo de una formulación obtenida en la investigación bibliográfica, realizando experimentos previos para determinar sus porcentajes en la pintura y la necesidad de su presencia. Posteriormente realizar un control de calidad de la pintura para verificar si el producto tiene la calidad deseada y si cumple con las especificaciones comparando sus valores con los de las pinturas comerciales.

3.1 DETERMINACIÓN DE SOLVENTES

Para la primera etapa en la elaboración de la pintura, es necesario obtener una base con resina, dicha base se compone de un solvente y el residuo de poliuretano. El residuo debe estar disuelto para obtener un fluido viscoso, homogéneo y con poder de pegajosidad; para determinar que solventes pueden diluir el residuo se eligieron ocho, en el artículo “Síntesis de poliuretanos. Caracterización por espectrometría infrarroja” donde se desarrollan tres poliuretanos y evalúan su solubilidad a varios solventes, dando como resultado positivo el Dimetilformamida (DMF), en el proyecto de grado “Síntesis y caracterización de poliuretanos termoplásticos. Aplicación a la formulación de adhesivos.” se utiliza Acetato de Etilo y Tolueno para ciertas formulaciones de adhesivos de poliuretano, en la tesis de grado “Diseño de un sistema de destilación para la recuperación de Percloroetileno en el lavado de poliuretano de la empresa La Fortaleza LTDS.” En Ecuador, describen el proceso para remover el poliuretano en los moldes de las inyectoras, donde el Percloroetileno y el Cloruro de metileno son los solventes utilizados, permitiendo diluir los restos de poliuretano para removerlos de las superficies de aluminio. El Xileno, D-Limoneno y Solvente RyL fueron solventes propuestos por la empresa para evaluar su comportamiento con el residuo.

Se planteó un experimento preliminar con el fin de determinar que solventes diluían la muestra de Poliuretano independiente de la cantidad de poliuretano, este experimento consiste en agregar 10 ml de solvente con 3 gramos de poliuretano por cada muestra, valor propuesto debido a que se encuentra en un porcentaje donde las pinturas comerciales tienen su relación de sólidos, entre el 20 y 40%, y teniendo la mayoría el 30%. Para ver el efecto que tienen los solventes y el poliuretano de desarrollaron 8 muestras, con cada solvente 3 gramos del residuo, las muestras se revisaron durante 24 horas y a este procedimiento se realizó una repetición para confirmar su interacción ya que el solvente que logre disolver el residuo va a ser un compuesto principal y clave en la elaboración del producto final.

En las mediciones se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza analítica BBG, con capacidad máx. de 600g y error de +/- 0,01
- Probeta de plástico
- Envases de vidrio con tapa plástica

La muestra con el cloruro de metileno se disolvió completamente en el residuo, en el círculo rojo se señala el fluido obtenido, un fluido con grumos y poco uniforme, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Disolución Cloruro de metileno



Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la figura 13 que el comportamiento del residuo con Acetato de etilo no fue positivo, ya que no se percibió cambio significativo en el residuo, como se señala en la anterior muestra que el poliuretano permanece en su estado inicial.

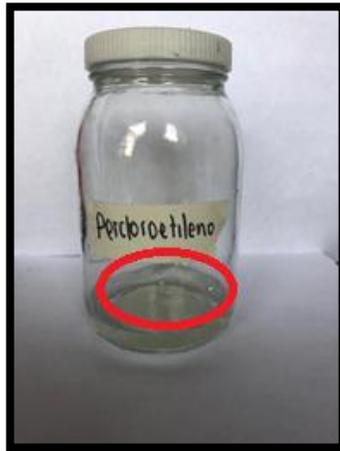
Figura 13. Disolución Acetato de etilo



Fuente: elaboración propia

La muestra del Percloroetileno no fue positiva, ya que el residuo mostró muy pocos cambios en su forma, en el círculo rojo de la figura 14 se observa la película del residuo sin disolver, se eliminaron sus estrías, sin embargo, no es tenido en cuenta para las siguientes pruebas.

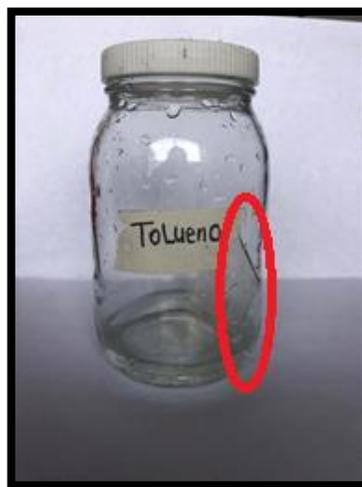
Figura 14. Disolución Percloroetileno



Fuente: elaboración propia

La muestra con Tolueno también dio negativo para la dilución del residuo, en el círculo rojo de la figura 15 se muestra en gran parte el residuo sin un cambio perceptible, al momento de retirar el residuo se apreció que el tolueno no tiene poder de dilución frente al residuo.

Figura 15. Disolución Tolueno



Fuente: elaboración propia

Al igual que el Tolueno, la muestra con Xileno, figura 16, no presentó cambios al transcurrir el tiempo de contacto con el solvente, y como se señala en el círculo rojo la muestra del residuo permaneció intacta.

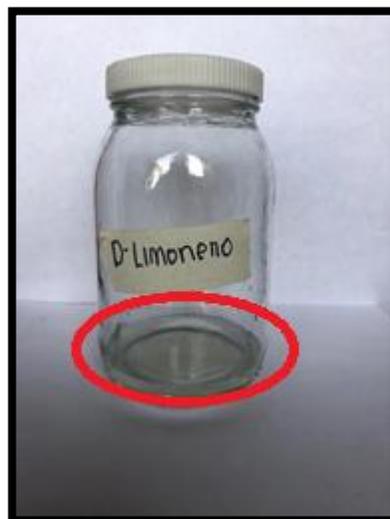
Figura 16. Disolución Xileno



Fuente: elaboración propia

El solvente D-Limoneno tampoco tuvo un efecto positivo en la muestra, este solvente fue propuesto por su obtención en base al limón y su favorabilidad ambiental, al retirar la muestra del solvente no se observó un cambio, porque era visualmente igual al residuo en su estado inicial, en el círculo rojo de la figura 17 se ve el residuo en su forma original.

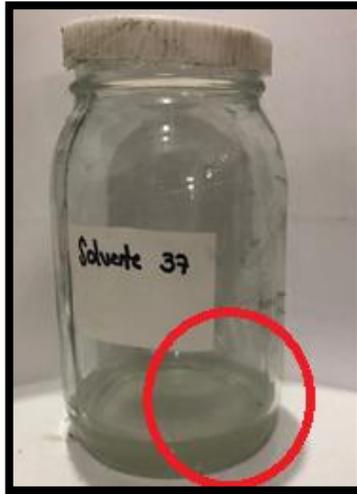
Figura 17. Disolución D-limoneno



Fuente: elaboración propia

El solvente RyL (Solvente 37) mostró un buen desempeño para diluir el residuo, con un fluido de apariencia lechosa y con menos grumos con respecto al cloruro de metileno, el solvente RyL logró diluir completamente el residuo como se observa en la figura 18.

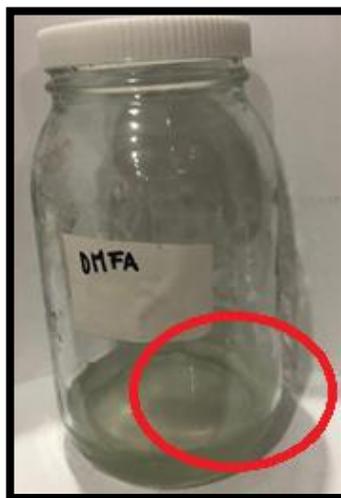
Figura 18. Disolución Solvente RyL



Fuente: elaboración propia

El solvente DMF o DMFA al igual que el solvente RyL y el Cloruro de metileno logró diluir en su totalidad el residuo, con un fluido más uniforme que el resto, en el círculo rojo de la figura 19 se muestra el resultado a las 24 horas de contacto con el solvente, donde no se aprecian partes del residuo sin disolver.

Figura 19. Disolución DMF



Fuente: elaboración propia

Durante esta prueba, se observó que las tapas de plástico de los frascos de vidrio se expandieron, esto se debe a los gases producidos por los solventes, además el material de la tapa era polipropileno, el cual no tiene buena resistencia a los solventes. Luego de obtener los tres frascos con residuo diluido, se agregaron unas gotas de agua, con el fin de determinar si la muestra podría llegar a ser soluble en agua y se observó que el residuo después de estar disuelto por completo, se volvía a solidificar. Por lo tanto, se determinó que en la formula no se agregaría agua, para evitar formación de grumos en la pintura.

3.2 DETERMINACIÓN DE VOLUMEN DE SOLVENTE POR MASA DE RESIDUO

Luego de haber encontrado que solventes diluían el residuo, se procede a determinar el volumen por masa de residuo. Este ensayo consiste en realizar una relación volumen-peso, con la cantidad de volumen del solvente y con cuatro diferentes pesos de poliuretano.

Ecuación 1. Determinación del peso de P.U.

$$\text{Peso P. U.} = \text{Volumen del solvente} * X\%$$

En la prueba realizada en el numeral 3.1, las muestras de los solventes Cloruro de metileno, solvente RyL y DMF mostraron una buena dilución con los 3 gramos, es decir 30% en peso de residuo, y se observó que el residuo se diluyó completamente, por esta razón se decidió definir una ecuación que nos permitiera relacionar el volumen del solvente con el porcentaje del residuo, ecuación 1, la cual inició en X= 20% de poliuretano con incrementos del 5% donde la variable respuesta es su viscosidad. El valor final fue de 35%, ya que, si se realizaba con más porcentaje al fabricar la pintura, esta quedaría muy viscosa, se inició en 20%, ya que con un menor porcentaje no se podría aprovechar el residuo y la empresa requería darle una buena disposición a este.

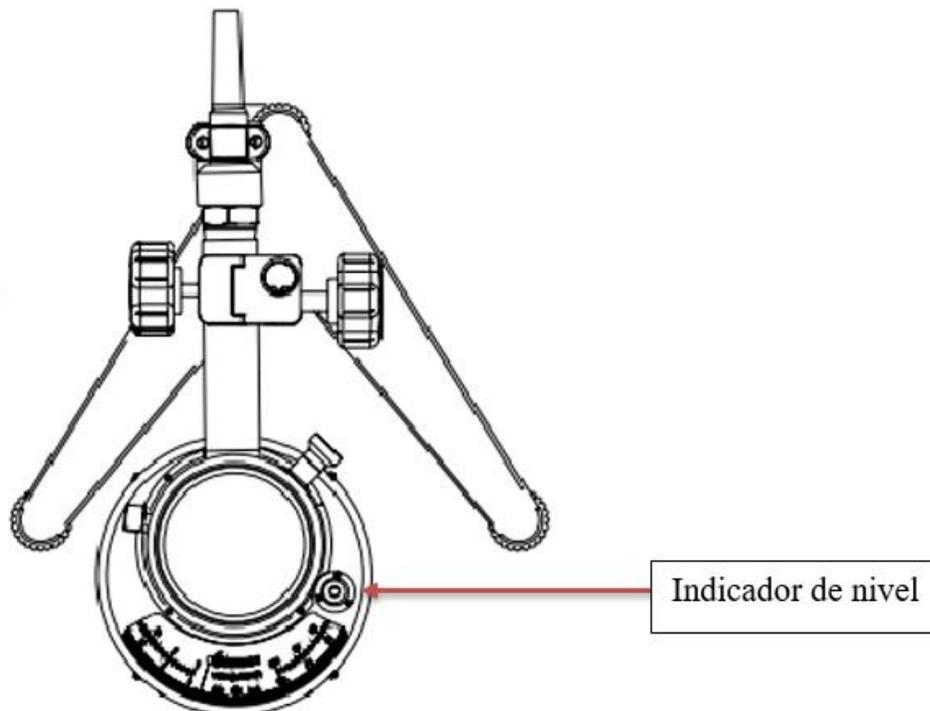
Para iniciar esta prueba, se marcaron cuatro frascos por cada solvente (elegido en el numeral anterior), y en cada uno de ellos un volumen definido y su porcentaje en peso de poliuretano para evaluar su viscosidad, esta es la variable de respuesta, ya que al fabricar la pintura todas las muestras se van a comparar con respecto a la viscosidad de una pintura comercial, además una mayor o menor viscosidad podrían ocasionar grumos en la pintura o mala adherencia en el sustrato. Adicionalmente se calculó el tiempo requerido para obtener una solución homogénea.

En las mediciones se utilizaron los siguientes equipos:

- Balanza analítica BBG, con capacidad máx. de 600g y error de +/- 0,01
- Probeta de plástico
- Viscosímetro Brookfield análogo
- Envases de vidrio con tapa plástica

Para determinar las viscosidades por medio del viscosímetro análogo de Brookfield es necesario comprobar que se encuentra en el nivel indicado, este se comprueba visualizando el equipo en un plano superior como lo indica la figura 120:

Figura 20. Plano superior Viscosímetro de Brookfield- indicador de nivel



Fuente: elaboración propia

Se ajusta la aguja y se introduce el material a evaluar hasta que se cubra la marca de inmersión.

Luego de realizar la lectura de los datos tanto de valor, aguja y velocidad se utiliza la ecuación 2 suministrada por el manual del viscosímetro para obtener sus valores en Centipoises

Ecuación 2. Viscosidad en centipoises

$$\text{Viscosidad (cP)} = \text{Valor leído} * \text{Factor de conversión}$$

Las pruebas con los solventes cloruro de metileno, DMF y solvente RyL se prepararon con la relación peso/ volumen propuestas con el fin de obtener una

relación para cuantificar y posteriormente generar una formulación, al no obtener la densidad del residuo y evitar errores al momento de calcularse, se prefiere utilizar el peso. Y para observar el aumento de volumen al solubilizarse la muestra se tiene en cuenta el volumen del solvente para su relación, estas relaciones se encuentran referenciadas en la tabla 3.

Tabla 3. Relación peso-volumen por solvente

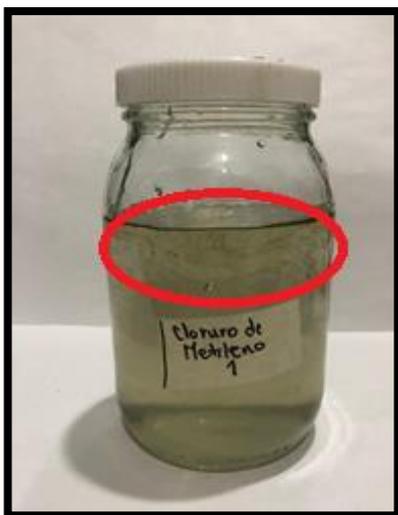
Ensayo	Relación peso/volumen
1	0,2
2	0,25
3	0,3
4	0,35

Fuente: elaboración propia

En la figura 21 se observa como con una relación de 0,2 el cloruro de metileno disuelve bien el residuo, pero al aumentar su relación como se observa en las figuras 17, 18 y 19, se observa como comienza a presentar grumos y material no disuelto.

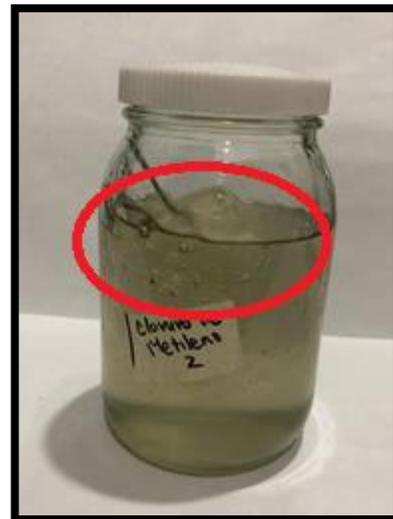
- Cloruro de metileno

Figura 21. Cloruro de metileno 20%



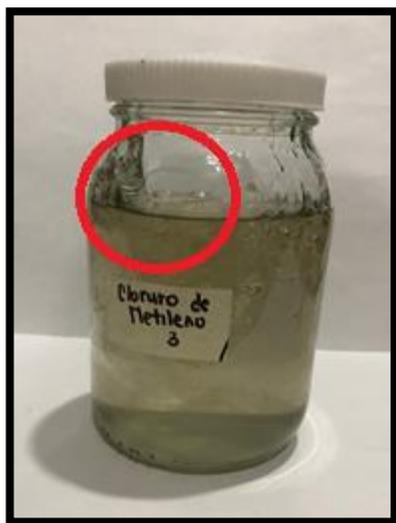
Fuente: elaboración propia

Figura 22. Cloruro de metileno 25%



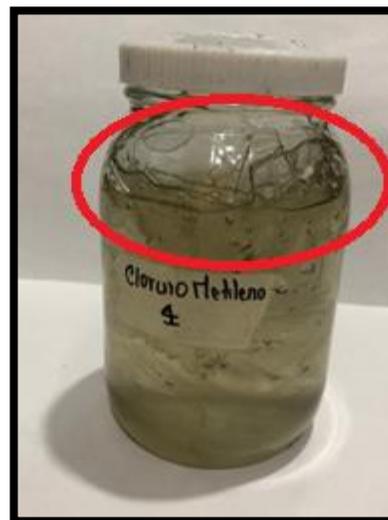
Fuente: elaboración propia

Figura 23. Cloruro de metileno 30% P.U.



Fuente: elaboración propia

Figura 24. Cloruro de metileno 35% P.U.



Fuente: elaboración propia

En la tabla 4 se encuentran los valores de la viscosidad para las cuatro pruebas con cloruro de metileno, y se determinó que en las pruebas 3 y 4 del cloruro de metileno, figuras 23 y 24, las cuales tenían una relación peso/volumen de 0,30 y 0,35 no fue posible realizar la medición de la viscosidad ya que no se diluyo en su totalidad el residuo.

Tabla 4. Resultados lectura Cloruro de metileno viscosímetro

Cloruro de metileno			
Ensayo	Valor medido	Aguja	Velocidad
1	31,5	4	20
2	15,5	5	10
3	Por fuera del rango	N/A	N/A
4	Por fuera del rango	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia

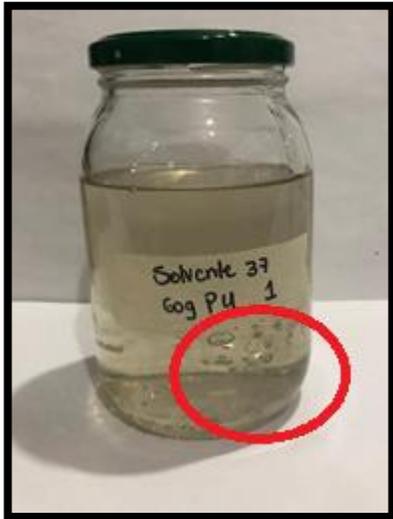
Para lograr obtener el valor de viscosidad es necesario realizar unos cálculos, estos se encuentran compilados junto con los demás resultados de los solventes en la tabla 7.

- Solvente RyL

Al momento de realizar los ensayos con el solvente RyL, se formaron burbujas como se señala en los círculos rojos de las muestras, adicional a esto se señalan en la

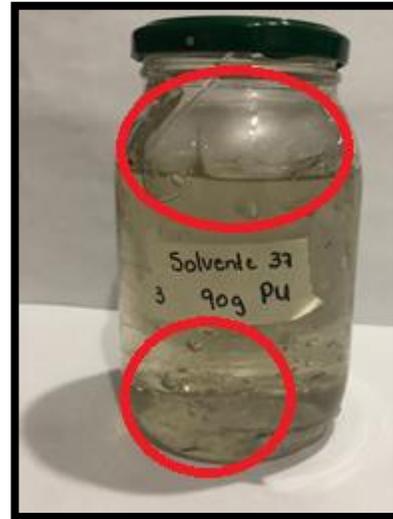
parte superior de las figuras 27 y 28 una falta de uniformidad en el fluido, con grumos y partes del residuo sin disolver.

Figura 25. Solvente RyL 20% P.U.



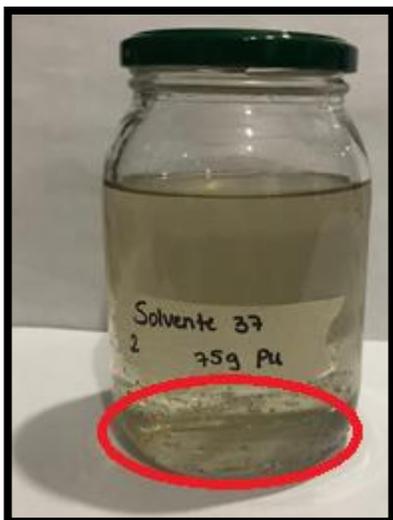
Fuente: elaboración propia

Figura 27. Solvente RyL 30% P.U.



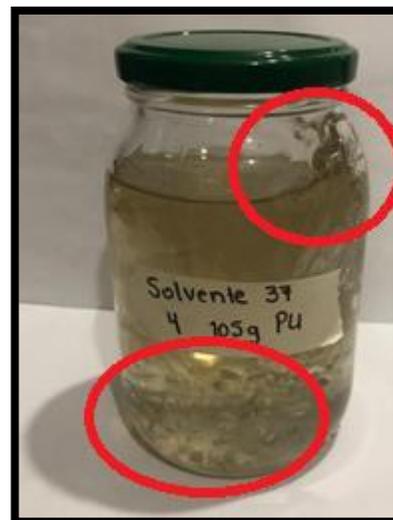
Fuente: elaboración propia

Figura 26. Solvente RyL 25% P.U.



Fuente: elaboración propia

Figura 28. Solvente RyL 35% P.U.



Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Resultados Solvente RyL viscosímetro

Solvente RyL			
Ensayo	Valor medido	Aguja	Velocidad
1	55,5	4	50
2	38	4	20
3	Sin valor constante	N/A	N/A
4	Por fuera del rango	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia

- DMF

El solvente DMF presentó un buen comportamiento ya que no se generaron burbujas y se pudo leer la viscosidad en los cuatro ensayos, la particularidad visual con este solvente es que se generaron líneas grises en el fluido y esto es debido a la presencia de polvo en el residuo. Tanto en la figura 29 y 30 Se observa una solución más cristalina y más homogénea, esto es debido a sus bajas viscosidades con respecto a los ensayos de las figuras 31 y 32.

Figura 29. DMF 20% P.U.



Fuente: elaboración propia

Figura 30. DMF 25% P.U.



Fuente: elaboración propia

Figura 31. DMF 30% P.U.



Fuente: elaboración propia

Figura 32. DMF 35% P.U.



Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Resultados DMF viscosímetro

Ensayo	DMF		Velocidad
	Valor medido	Aguja	
1	31	4	20
2	57	4	20
3	59	6	20
4	67	6	20

Fuente: elaboración propia

Para los valores medidos de cada solvente se realiza un cálculo con forme a la ecuación 2 provista por el manual del viscosímetro obteniendo los siguientes cálculos:

Ecuación 3. Viscosidad 20% Cloruro de metileno

$$\text{Viscosidad (cP)} = 31.5 * 100 = 3150$$

Ecuación 4. Viscosidad 25% Cloruro de metileno

$$\text{Viscosidad (cP)} = 15.5 * 400 = 6200$$

Ecuación 5. Viscosidad 20% RyL

$$\text{Viscosidad (cP)} = 55.5 * 40 = 2220$$

Ecuación 6. Viscosidad 25% RyL

$$\text{Viscosidad (cP)} = 38 * 100 = 3800$$

Ecuación 7. Viscosidad 35% RyL

$$\text{Viscosidad (cP)} = 43 * 200 = 8600$$

Ecuación 8. Viscosidad 20% DMF

$$\text{Viscosidad (cP)} = 31 * 100 = 3100$$

Ecuación 9. Viscosidad 25% DMF

$$\text{Viscosidad (cP)} = 57 * 100 = 5700$$

Ecuación 10. Viscosidad 30% DMF

$$\text{Viscosidad (cP)} = 59 * 500 = 29500$$

Ecuación 11. Viscosidad 35% DMF

$$\text{Viscosidad (cP)} = 67 * 500 = 33500$$

Estos valores fueron organizados en la tabla 7 con el fin de obtener una visualización más cómoda y poder comparar de forma rápida los valores para los mismos porcentajes variando el solvente y generar un análisis de su poder de dilución.

Tabla 7. Viscosidades ensayo % de P.U.

Solventes	% de Poliuretano			
	20% (1)	25% (2)	30% (3)	35% (4)
Cloruro de metileno	3150	6200	N/A	N/A
Solvente RyL	2220	3800	N/A	N/A
DMF	3100	5700	29500	33500

Fuente: elaboración propia

Para determinar la mejor apariencia para la base de pintura se realizaron las 12 muestras con solventes y porcentajes del residuo distintos, se observó que en los ensayos del 30% y 35% de Cloruro de metileno no se lograron medir las viscosidades, esto puede ser causado a la sobresaturación y es posible que, la alta volatilidad del solvente generó pérdidas del mismo cada vez que estaba destapado para realizar su medición, al tener presencia del residuo sin disolver el viscosímetro no pudo generar un valor constante. El solvente RyL con el 35% de P.U. mostró un resultado desfavorable encontrándose grumos en él y sin la correcta lectura de datos, ya que la aguja giraba, pero con fluctuaciones en su velocidad, se notó en algunos momentos que la aguja era forzada por grumos o por partes de poliuretano que no disolvieron completamente.

De acuerdo a la viscosidad obtenida se eligió la muestra del 20% de PU para los tres solventes ya que era la menos viscosa, favorable para la manipulación y pensando en el transporte de esta en una planta piloto a la segunda parte del proceso donde se agregarán cargas para dar las propiedades necesarias para ser una pintura, cabe aclarar que en Colombia no hay una normativa que indique un rango de viscosidades en las cuales se deben encontrar las pinturas, cada productor propone una viscosidad diferente. Como variable repuesta se determinó la viscosidad porque esta permite comparar cuantitativamente la fluidez de la base, ya que al ser menos viscoso aumenta la facilidad para mezclar las cargas en la segunda parte del proceso.

3.3 ELECCIÓN DEL SOLVENTE

Para la elección del solvente se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Disponibilidad del solvente y precio del solvente
- Evaporación
- Clasificación NFPA

3.3.1 Disponibilidad y precio del solvente. Se contactaron diferentes distribuidoras de materias primas químicas para obtener información acerca de los solventes, disponibilidad y precio en el mercado, después de obtener una base de datos se comparó tanto en disponibilidad y el precio mínimo en el mercado. En este criterio el Solvente RyL se encuentra disponible y su precio es suministrado por la empresa RyL Industrias S.A.S., para el solvente DMF solo se encontró que la empresa Química Interkrol Ltda. De las distribuidoras de materias primas consultadas es la única que tenía disponibilidad de la materia prima.

En la tabla 8 se encuentra el precio de Cloruro de metileno por kilogramo de cada distribuidora consultada.

Tabla 8. Base de datos solvente-precio por Kg.

Empresa	Cloruro de metileno
Ciacomeq S.A.S.	\$4,620
Química Interkrol Ltda.	\$3,800
Cimpa S.A.S.	\$4,340
Elementos Químicos Ltda.	\$5,300
Copriquin Ltda	\$6,240
Químicos Sesan S.A.S.	-
Proquimort Import S.A.S.	\$3,070
Evolquim Ltda.	\$3,570

Fuente: elaboración propia

El solvente RyL es un producto ofrecido por la empresa RyL Industrias S.A.S. y se encuentra con alta disponibilidad y su costo es de \$3,725 por Kilogramo.

El solvente DMF tiene un costo de \$10,115 y es distribuido por Química Interkrol LTDA.

3.3.2 Evaporación. La evaporación es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, ya que este afecta directamente la tasa de secado, se generó una tabla que contiene nombre del solvente y punto de ebullición del mismo para compararlos entre ellos y predecir que solvente es más rápido o más lento al momento de la aplicación de la pintura.

Tabla 9. Puntos de ebullición de solventes RyL, DMF y Cloruro de metileno

Nombre del solvente	Punto de ebullición (°C)
Solvente RyL	94,9
DMF	153
Cloruro de metileno	40

Fuente: elaboración propia

Los datos obtenidos en la tabla 9, se observa cómo podría afectar escoger un solvente para la fabricación de la pintura, ya que a menor punto de ebullición se

seca más rápido la pintura, en este caso para el cloruro de metileno los ensayos realizados con este solvente se secaban muy rápido generando un fluido altamente viscoso y con dificultad para su fluidez, adicional para los ensayos realizados con este solvente la tapa plástica era la que más deformaciones tenía, esto genera un aumento del volumen al interior del frasco por la expansión del gas, ya que estas moléculas se encuentran más separadas que en un líquido. El solvente que mayor tiempo de secado presenta es el DMF ya que su punto de ebullición es el más alto, si solo se tendría en cuenta este aspecto se elegiría este y el Solvente RyL para realizar más pruebas para ver su comportamiento al mezclar las cargas de la pintura.

3.3.3 Clasificación NFPA. La clasificación NFPA se obtiene de fichas técnicas disponibles en la web y corroboradas al momento de cotizar los solventes en el numeral 3.3.1. “Disponibilidad de solvente y costo de solvente”. El factor para tener en cuenta como criterio para la elección del solvente es la categoría de la salud, obteniendo los siguientes valores por producto.

- Cloruro de Metileno: 2
- DMF: 3
- Solvente RyL: 2

Al obtener los datos de disponibilidad y precio, puntos de ebullición y clasificación NFPA para la salud de cada solvente, se analiza cada solvente con respecto a los criterios de selección.

El Solvente RyL porque es un producto fabricado por Industrias RyL S.A.S., es un desarrollo generado para diluir algunos polímeros, entre ellos el poliuretano, con facilidad de entrega, tiene un punto de ebullición medio con respecto a los otros dos y un puntaje de “2” en la clasificación de la salud por la NFPA.

El DMF tiene un alto costo en relación a los otros solventes y una baja disponibilidad en el mercado y el Cloruro de Metileno tiene un costo promedio y alta disponibilidad en el mercado adicional la muestra con el cloruro de metileno expuesta al ambiente se solidificó y formo grumos.

Evaluando los puntos de ebullición, el cloruro de metileno es el más bajo llegando a ser muy cercano a la temperatura ambiente, por eso queda descartado y el factor principal que se evaluó en la clasificación NFPA fue el riesgo con respecto a la salud, de esta manera el DMF queda rechazado.

Analizando los anteriores resultados obtenidos en el laboratorio se llegó a elegir el solvente RyL como materia prima para determinar la formulación en la pintura, su comportamiento frente al poliuretano en cuanto a viscosidad y poder de dilución lo

hacen el ideal para realizar una formulación, en la ponderación de puntajes también presentó mayores beneficios tanto económicos como favorables para un proceso en grandes cantidades al momento de desarrollar esta primera parte para la obtención de una base para generar la pintura.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN

El proceso para la fabricación de la pintura consta de dos etapas:

1. Dilución del residuo en el solvente.
2. Mezcla de cargas y pigmentos con la primera etapa.

La agitación es uno de los factores que permite que la dilución se haga más rápida y controlada, por tanto, se evaluó su necesidad para cada etapa del proceso.

3.4.1 Dilución del residuo con el solvente. Para determinar el impacto de la agitación en la pintura se realizó una prueba dejando el 20% de residuo en un frasco con 300 ml de solvente RyL, y de igual manera un segundo frasco con las mismas cantidades, el primer frasco con agitación y el segundo sin esta. Para esta prueba se eligió una velocidad baja, la cual está entre 500 y 700 rpm, ya que a revoluciones mayores a estas el poliuretano diluido se adhería al disco y al eje del agitador, impidiendo el correcto funcionamiento del agitador y forzando el movimiento, a revoluciones menores se notó que no lograba agitar correctamente las películas del residuo y estas se pegaban a las paredes de los envases.

Para el frasco con agitación se cronometró un tiempo de 4h y 32 min para la dilución completa del residuo de poliuretano. El frasco sin agitación duró aproximadamente 24 h. en contacto con la mezcla y aún se notaban algunos grumos. Se determinó que es necesaria la agitación para obtener la base de la pintura ya que la mezcla se diluyó completamente y quedó uniforme evitando así la formación de grumos.

3.4.2 Función de cargas, pigmentos y aditivos utilizados en la pintura. En la formulación de la pintura se eligieron cuatro componentes, ya que son los necesarios para realizar una pintura, sin la necesidad de aditivos o sustancias que mejores cierta característica según alguna especificación, estos compuestos cumplen las siguientes funciones.

1. Bióxido de titanio: Es el pigmento blanco por excelencia, posee un elevado poder de cubrimiento y su resistencia a la luz y al exterior es excelente, tiene además una resistencia a los agentes químicos muy elevada³⁴. El Ti posee una

³⁴ Ibid., p. 9

reactividad fotoquímica de importancia por medio de la cual los rayos de luz solar (los rayos uv) en un ambiente húmedo producen un cambio del oxígeno O₂ al ozono O₃ radical libre , aumentando el poder fuerte oxidativo, degradando los polímeros y produciendo caleo, así como atacando los pigmentos orgánicos³⁵.

2. Caolín: es un silicato de aluminio de estructura laminar flexible y de color blanco. Tiene mayor poder de cubrimiento que el talco. Sirve para estabilizar la distribución de pigmentos y para dar una viscosidad aparente³⁶, posee una elevada absorción de aceite, confiere una elevada estructura a la pintura, tiene buena resistencia al exterior y a los agentes químicos³⁷.
3. Carbonato de calcio: Se encuentra en la naturaleza como producto natural, también se lo conoce con el nombre de «calcita» o de «creta», debido a que su origen está en sedimentos marinos de microorganismos procedentes del cretáceo. El carbonato cálcico es una de las cargas más utilizadas, especialmente en pinturas plásticas o de emulsión, debido a su bajo coste, baja absorción de aceite y baja viscosidad estructural. Su resistencia a los agentes químicos es baja, sin embargo, presenta una buena resistencia al exterior, y si bien es totalmente transparente en estado húmedo, presenta una buena opacidad una vez seco³⁸.
4. Tripolifosfato de sodio: es un aditivo el cual tiene la función de humectar eficazmente las cargas y aceleran el proceso de dispersión de ellas y contribuyen así al aceleramiento del proceso de dispersión de sólidos y a reducir costos. Los polifosfatos, con su carga eléctrica negativa, estabilizan la dispersión de cargas con una protección electrostática negativa y las partículas se repelen entre sí³⁹.

3.5 MEZCLA DE CARGAS Y PIGMENTOS

Para la segunda parte en la cual se mezclaron las cargas y pigmentos, se realizó una revisión bibliográfica del libro “Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología” del autor Calvo Carbonell y se encontró que la velocidad de agitación para lograr una excelente dispersión de todas las cargas y pigmentos debe ser de 1200 rpm , con un disco cowles, por esta razón las experimentaciones se llevaron a cabo con una velocidad fija de 1200 rpm, ubicando el disco como lo muestra la figura 29, la ubicación del disco tiene un papel importante en la fabricación de la pintura ya que de este depende si la pintura tendrá alta, media o baja viscosidad.

³⁵ SCHWEIGGER, Enrique. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos, Ediciones Díaz de Santos, 2005. P37

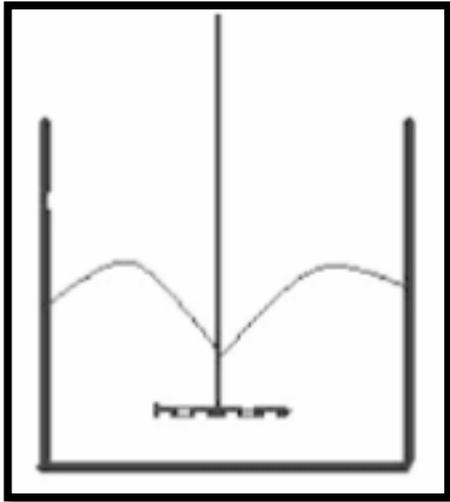
³⁶ *ibid.*, P. 39-40

³⁷ CALVO. Op. Cit., p. 23

³⁸ CALVO, Carbonell. Pinturas y recubrimientos, introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 21

³⁹ SCHWEIGGER, Enrique. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos, Ediciones Díaz de Santos, 2005. P. 87

Figura 33. Agitación para mezclar las cargas en la pintura.



FUENTE: CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. página 204. Consultado el 15 de septiembre del 2018.

Luego de realizar la dispersión de la pintura con 1200 rpm se encontró que las cargas se dispersan correctamente, las cargas deben ser agregadas una en una con la condición que la carga agregada ya esté totalmente dispersa para adicionar la otra.

3.6 DETERMINACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

Al obtener la información de las cargas, pigmentos y aditivos, en la tabla 10 se planteó una formulación inicial para comenzar a realizarle ajustes de ser necesario, está se tomó del libro “pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología” de Jordi Calvo Carbonell.

Tabla 10. Formulación pintura plástica para exteriores.

Compuesto	Porcentaje %
Agua	25,00
Polifosfato	0,10
Dispersante poliacrílico	0,30
Biocida	0,15

Éster de celulosa 60000	0,40
Antiespumante	0,15
Dióxido de titanio	10,00
Caolín calcinado	1,20
Carbonato cálcico	40,00
Resina 50%	20,72
Coalescente (4% s/resina) ²	0,72
Antiespumante	0,10
Agua	Según necesidades

FUENTE: CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 207. Consultado el 15 de septiembre del 2018.

Al definir en el capítulo 2 que el residuo está compuesto de poliuretano, esta será la resina utilizada durante todo el proceso, por esta razón no se agregó un dispersante poliacrílico, se omitió el biocida ya que la ficha técnica del residuo de poliuretano específica que se encuentra un biocida en su composición, y adicional este es un aditivo y no es esencial para la fabricación de la pintura, al igual que el éster de celulosa 60000 y el coalescente.

A continuación, se muestra el procedimiento que se utilizó para determinar la fórmula inicial de la pintura.

En el primer paso, #1 de la tabla 11, se eliminaron las casillas de los compuestos que no fueron tenidos en cuenta para la formulación y se suman los porcentajes para obtener el total porcentual de la fórmula.

En el segundo paso, #2 de la tabla 11, se ajusta el total al 100% dividiendo el porcentaje de cada compuesto en el total del primer paso, 97,27% y multiplicándolo por 100%.

En el tercer paso, #3 de la tabla 11, se tuvo en cuenta la densidad del Solvente RyL, $\rho = 0,9764 \text{ g/mL}$, para transformar la relación peso del residuo / volumen de solvente, obteniendo anteriormente, en una nueva relación de pesos con el 83% en peso del solvente y 17% en peso del residuo, se tomó una base de 77,5 gramos como total para calcular los porcentajes en peso del solvente y residuo, dando como resultado 64,33% de solvente y 13,18% de residuo, valores que fueron ingresados en el paso #3.

Para el cuarto paso, #4 de la tabla 11, la metodología es la misma que en el segundo paso para obtener la fórmula inicial para ver su comportamiento. Los porcentajes se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11. Adecuación de fórmula inicial

Compuesto	#1 Porcentaje	#2 Porcentaje	#3 Porcentaje	#4 Porcentaje
Solvente	25,00%	25,70%	64,33%	49,299%
Polifosfato	0,10%	0,10%	0,10%	0,077%
Antiespumante	0,15%	0,15%	0,15%	0,115%
Dióxido de titanio	10,00%	10,28%	10,28%	7,878%
Caolín calcinado	1,20%	1,23%	1,23%	0,943%
Carbonato cálcico	40,00%	41,12%	41,12%	31,512%
Resina 50%	20,72%	21,30%	13,18%	10,100%
Antiespumante	0,10%	0,10%	0,10%	0,077%
TOTAL	97,27%	100,00%	130,49%	100,00%

Fuente: elaboración propia

Las formulaciones fueron ajustadas con la finalidad de obtener una fórmula del 100%, agregando las condiciones explicadas anteriormente y omitiendo algunos de sus compuestos.

Para la primera fabricación de la pintura y observar que comportamientos tenía esta, se prepara en un frasco de vidrio la base de la pintura, esto es el residuo de poliuretano ya disuelto en el solvente, en relación a los nuevos porcentajes de la tabla 12, pretenden hacer 300 gramos de pintura, para lo cual se obtienen las siguientes cantidades:

Tabla 12. Fórmula #1

Compuesto	Porcentaje	Cantidad (gramos)
PU	10,10%	30,30
Solvente	49,30%	147,90
Bióxido de titanio	7,88%	23,63
Caolín calcinado	0,94%	2,83
Carbonato de calcio	31,51%	94,54
Polifosfato	0,08%	0,23
Antiespumante	0,19%	0,57
Total	100,00%	300

Fuente: elaboración propia

Se realizó un montaje en el mezclador del laboratorio, se inicia agitando con un disco de cowles a 1200 rpm, la primera carga que se agrega es el bióxido de titanio, y se espera hasta encontrar homogeneidad y no visualizar partículas sin disolver, con la misma metodología se agrega el caolín calcinado, el carbonato de calcio, el polifosfato y el antiespumante.

Al agregar el carbonato de calcio se observa que al transcurrir el tiempo no se mezclaba esta carga en su totalidad, por lo que es necesario realizar un experimento para obtener la cantidad de carbonato de calcio necesaria para que se disperse.

3.6.1 Variación del porcentaje de carbonato de calcio en el experimento #1.

Para determinar el porcentaje de carbonato de calcio necesario en la pintura se plantean cuatro variaciones en su composición, con variaciones del 8% como y obteniendo la cantidad de carbonato de calcio para utilizar en las mezclas, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Variaciones de carbonato de calcio para pre experimentación #1

Porcentaje	Carbonato de calcio (gramos)
31,51%	94,53
23,51%	70,53
15,51%	46,53
7,51%	22,53

Fuente: elaboración propia

Para obtener cuatro formulaciones diferentes variando la cantidad de carbonato de calcio se dejaron igual los gramos de los demás componentes de la pintura, para ver el comportamiento únicamente del carbonato de calcio y ajustando cada fórmula al 100%, obteniendo las formulaciones de las tablas 14, 15, 16 y 17.

- 31,51% Carbonato de calcio

Tabla 14. Fórmula con 31,52% de Carbonato de Calcio

Compuesto	Porcentaje	Gramos
PU	10,10%	30,30
Solvente	49,30%	147,90
Bióxido de titanio	7,88%	23,64
Caolín calcinado	0,94%	2,82
Carbonato de calcio	31,51%	94,53
Polifosfato	0,08%	0,24
Antiespumante	0,19%	0,57
Total	100,00%	300,00

Fuente: elaboración propia

- 23,51% Carbonato de calcio

Tabla 15. Fórmula con 23,52% de Carbonato de Calcio

Compuesto	Porcentaje	Gramos
PU	10,98%	30,30
Solvente	53,59%	147,90
Bióxido de titanio	8,57%	23,64
Caolín calcinado	1,02%	2,82
Carbonato de calcio	25,55%	70,53
Polifosfato	0,09%	0,24
Antiespumante	0,21%	0,57
Total	100,00%	276,00

Fuente: elaboración propia

- 15,51% Carbonato de calcio

Tabla 16. Fórmula con 15,51% Carbonato de Calcio

Compuesto	Porcentaje	Gramos
PU	12,02%	30,30
Solvente	58,69%	147,90
Bióxido de titanio	9,38%	23,64
Caolín calcinado	1,12%	2,82
Carbonato de calcio	18,46%	46,53
Polifosfato	0,10%	0,24
Antiespumante	0,23%	0,57
Total	100,00%	252,00

Fuente: elaboración propia

- 7,51% Carbonato de calcio

Tabla 17. Fórmula con 7,51% Carbonato de Calcio

Compuesto	Porcentaje	Gramos
PU	13,29%	30,30
Solvente	64,87%	147,90
Bióxido de titanio	10,37%	23,64
Caolín calcinado	1,24%	2,82
Carbonato de calcio	9,88%	22,53
Polifosfato	0,11%	0,24
Antiespumante	0,25%	0,57
Total	100,00%	228,00

Fuente: elaboración propia

Con el fin de visualizar únicamente las variaciones en las cantidades del carbonato de calcio se compilan los datos tratados anteriormente en la tabla 18, junto con los gramos de cada compuesto utilizado en las cuatro formulaciones propuestas.

Tabla 18. Fórmulas para la pre experimentación #1

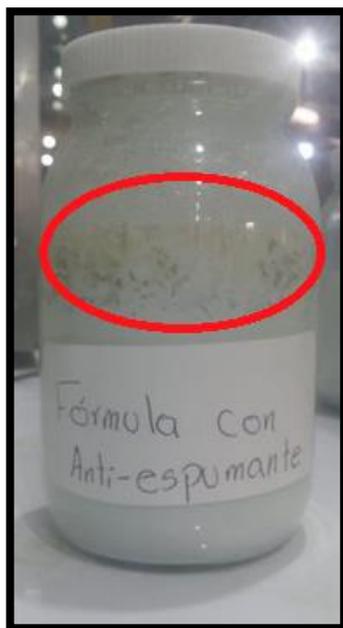
Compuesto	Gramos			
	7,51%	15,51%	23,51%	31,51%
PU	30,3	30,3	30,3	30,3
Solvente	147,9	147,9	147,9	147,9
Bióxido de titanio	23,64	23,64	23,64	23,64
Caolín calcinado	2,82	2,82	2,82	2,82
Carbonato de calcio	22,53	46,53	70,53	94,53
Polifosfato	0,24	0,24	0,24	0,24
Antiespumante	0,57	0,57	0,57	0,57

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos en la tabla 18 para los porcentajes del 31,51% y 23,51% fueron desfavorables para la mezcla, ya que no se logró dispersar el carbonato de calcio, esta carga quedó suspendida a lo largo del tiempo mientras se agitaba. Por lo cual se rechazaron esos porcentajes, con el 15,51% se obtuvo una mezcla muy viscosa, sin apariencia a una pintura y con algunos sólidos suspendidos, arcillosa y muy granulada, con baja consistencia y fue debido a la alta cantidad de carbonato de calcio y a su lenta mezcla ya que se generaron aglomeraciones del carbonato y los picos no tenían contacto con la base para mezclarse, el que mejor se comportó fue el 7,51% ya que aparentemente sus sólidos fueron disueltos en su totalidad y se tornó en una mezcla visualmente parecida a una pintura vinílica comercial, el tiempo entre cada carga fue relativamente corto, de 5min aproximadamente y no se formaron aglomeraciones de alguna carga.

Luego de analizar en porcentaje de carbonato de calcio, se observó en todas las pruebas que el antiespumante no era soluble con la pintura como se muestra en el círculo de la figura 29, en todas las formulaciones con anti espumante se notó una capa de color café claro que no permitía que la pintura se adhiriera a las paredes del envase, lo cual no permitía fijar la pintura, por lo que se retiró de la fórmula con el fin de obtener una mezcla homogénea y se re calculó la fórmula para obtener una formulación del 100%, dividiendo el porcentaje de cada compuesto en la suma de sus porcentajes

Figura 34. Pintura con anti-espumante.



Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Ajuste de formulación sin anti-espumante.

Compuesto	Porcentaje	Ajuste	Porcentaje
PU	13,29%	13,29% / 99,75%	13,32%
Solvente	64,87%	64,87% / 99,75%	65,00%
Bióxido de titanio	10,37%	10,37% / 99,75%	10,30%
Caolín calcinado	1,24%	1,24% / 99,75%	1,27%
Carbonato de calcio	9,88%	9,88% / 99,75%	10,00%
Polifosfato	0,11%	0,11% / 99,75%	0,11%
Antiespumante	-	-	-
Total	99,75%		100,00%

Fuente: elaboración propia

Obteniendo en la tabla 19, una fórmula ajustada al 100% sin anti espumante, visualmente homogénea y con buena fluidez.

3.6.2 Evaluación de las cargas caolín y carbonato de calcio, experimento #2.

Se realizó un segundo experimento para evaluar la necesidad de utilizar las cargas como caolín calcinado y carbonato de calcio por separado o juntas con el fin de determinar si son necesarias en el proceso, y ver de qué forma cambia la pintura al

variar sus componentes, ya que al adicionar cada carga se presume un aumento de tiempo para dispersarse y aumenta el precio de la pintura final, adicional a esto el desarrollo experimental #2, pretende disminuir los porcentajes de cargas sin afectar notablemente la pintura. Se propusieron tres pruebas de la siguiente manera:

Tabla 20. Formulaciones pre experimento #2

Compuesto	A1	A2	A3
PU	13,32%	13,32%	13,32%
Solvente	65,00%	65,00%	65,00%
Bióxido de titanio	10,30%	10,30%	10,30%
Caolín calcinado	1,27%	0,00%	1,27%
Carbonato de calcio	0,00%	10,00%	10,00%
Polifosfato	0,11%	0,11%	0,11%

Fuente: elaboración propia

Para las pruebas A1, A2 y A3 se decidió pintar unos bloques de madera por inmersión ya que su aspecto era muy similar y su viscosidad relativamente cercana.

Viscosidad A1: 3,800 cP

Viscosidad A2: 4,300 cP

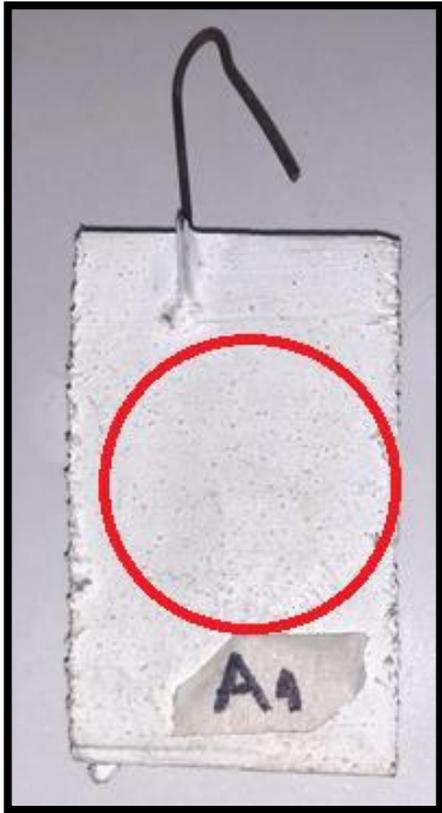
Viscosidad A3: 4,300 cP

No se contempló el quitar el bióxido de titanio porque en la industria de pinturas predomina ampliamente el color blanco y este es el pigmento clásico. Es un producto de gran consumo en la industria de pinturas por su costo y su índice de refracción que es junto con el carbonato de calcio, los que mejor poder de cubrimiento brindan, el TI posee una reactividad fotoquímica de importancia por medio de la cual los rayos de luz solar (los rayos UV) en un ambiente húmedo producen un cambio de oxígeno, aumentando el poder fuerte oxidativo, degradando los polímeros y produciendo caleo, así como atacando los pigmentos orgánicos.⁴⁰

Se obtuvo el siguiente registro fotográfico del desarrollo experimental:

⁴⁰ SCHWEIGGER, Enrique. Manuela de pinturas y recubrimientos plásticos, Ediciones Díaz de Santos, 2005. p. 39

Figura 35. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A1.



Fuente: elaboración propia

Realizadas las inmersiones en las pinturas, la pintura A1, sin carbonato de calcio, mostró un acabado con relieves indicadas en el círculo rojo de la figura 35, y con un acercamiento en la figura 36, estos relieves son ocasionados por las imperfecciones en la madera, ya que las probetas no fueron lijadas antes de su inmersión con el fin de ver su poder cubriente y no tener la necesidad de aplicar varias capas o en su defecto varias inmersiones por lo tanto su apariencia era menos lisa al tacto con respecto a las pinturas A2 y A3, su viscosidad disminuyó debido a que tiene una alta demanda de ligante, esto es la base de la pintura, su porción líquida que contiene la resina y solvente, adicional a esto el carbonato de calcio aporta poder cubriente a la pintura, esto para mitigar la necesidad de pasar varias capas sobre una misma superficie para visualizar que está totalmente cubierta, a este efecto se le conoce como mono capa y es el resultado de agregar buenas cantidades de cargas, como lo es el bióxido de titanio y el carbonato de calcio.

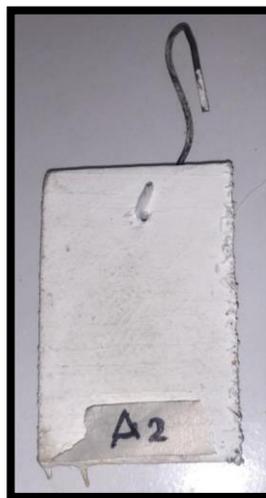
Figura 36. Relieves en la inmersión de la probeta en la pintura A1.



Fuente: elaboración propia

En la figura 37, se observa la pintura A2, la cual no mostró gran variación con la pintura A3 (figura 38), sin embargo, según la consulta en la sección 3.4.2. el caolín sirve para estabilizar la distribución de los pigmentos y para dar una viscosidad aparente evitando la sedimentación de estos, aumentando la permeabilidad y elasticidad de la pintura, por esta razón se decidió dejar las dos cargas, carbonato de calcio y caolín por las propiedades que brindan a la pintura.

Figura 37. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A2.



Fuente: elaboración propia

En la figura 34, se observa la pintura A3 fue realizada con la formulación final del numeral 3.5.1., mostrando el mejor comportamiento, con una superficie lisa al tacto y mejor poder cubriente con respecto a las otras 2, ya que fue en la que se apreciaron menores imperfecciones de la madera y con un color blanco más pronunciado y sin mancharse con facilidad respecto a las pruebas pintadas con las pinturas A1 y A2.

Figura 38. Probeta de madera pintada por inmersión con la Pintura A3.



Fuente: elaboración propia

3.6.3 Diseño de experimento final. Para encontrar la fórmula final, se realiza un diseño de experimentos de la forma 2^3 el cual se encuentra en la tabla 21, ya que con este diseño factorial se estudian tres factores en dos niveles cada uno y consta de 8 experimentos (tratamientos) diferentes, variando la cantidad de carbonato de calcio, Caolín y Bióxido de titanio, de la formulación obtenida anteriormente la cantidad de residuo y solvente son inmodificables ya que vienen de una relación peso/peso, debido al tiempo provisto para culminar el proyecto no se evaluó la variación del polifosfato, por lo cual únicamente se contempló variar las cargas y no aditivos.

Tabla 21. Diseño factorial 2³ cambiando el porcentaje de los compuestos.

Compuesto	Cantidad	
Carbonato de calcio	5%	10%
Caolín	0,8%	1,27%
Bióxido de titanio	8%	10,30%

Fuente: elaboración propia

Se estudiaron 3 factores de dos niveles cada uno, por lo que consta de 8 tratamientos diferentes obteniendo los resultados de la tabla 22.

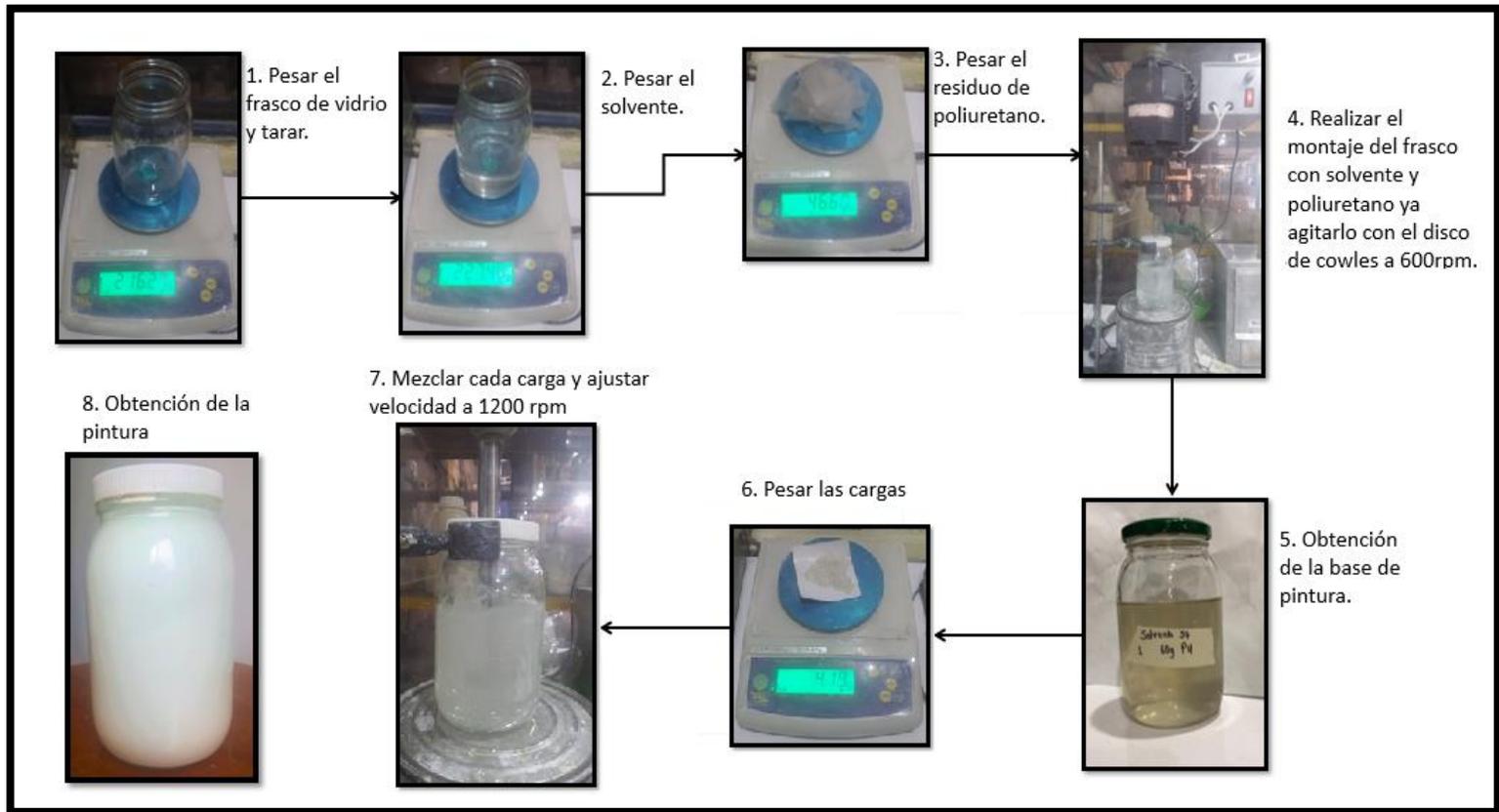
Tabla 22. Tratamientos para el diseño de experimentos.

Tratamiento	Compuesto	Cantidad
1	Carbonato de calcio	5%
	Caolín	0,8%
	Bióxido de titanio	8%
2	Carbonato de calcio	5%
	Caolín	0,8%
	Bióxido de titanio	10,30%
3	Carbonato de calcio	5%
	Caolín	1,27%
	Bióxido de titanio	8%
4	Carbonato de calcio	5%
	Caolín	1,27%
	Bióxido de titanio	10,30%
5	Carbonato de calcio	10%
	Caolín	1,27%
	Bióxido de titanio	10,30%
6	Carbonato de calcio	10%
	Caolín	1,27%
	Bióxido de titanio	8%
7	Carbonato de calcio	10%
	Caolín	0,8%
	Bióxido de titanio	10,30%
8	Carbonato de calcio	10%
	Caolín	0,8%
	Bióxido de titanio	8%

Fuente: elaboración propia.

Para obtener los ocho tratamientos previstos se realiza el siguiente procedimiento:

Figura 39. Proceso de laboratorio para obtención de pintura.



Fuente: elaboración propia.

Al obtener los ocho tratamientos se pintaron las probetas de madera por inmersión, ya que fue la técnica solicitada por la empresa pues se quería aplicar futuramente en cercas de madera y fue la forma solicitada por un cliente interesado en el desarrollo.

En la figura 40 se encuentran los ocho tratamientos realizados para el desarrollo experimental con el fin de encontrar una formulación adecuada a la producción a nivel laboratorio de la pintura.

Figura 40. Ocho tratamientos con diferentes porcentajes de cargas.



Fuente: elaboración propia

Figura 41. Tratamientos realizados en el diseño de experimentos.



Fuente: elaboración propia

En el tratamiento #1 en la figura 42 se observa una pintura menos viscosa y con un color no tan pronunciado, más opaco que las demás, para los tratamientos 1,2,7 y 8, en las figuras 42,43,46 y 49, se presentaron varios sólidos en su fondo debido al

poco porcentaje de caolín utilizado. El tratamiento # 5, figura 46, es la que se ve de color más brillante y con un color blanco, se encuentra en la segunda posición de izquierda a derecha en la figura 41.

Los tratamientos 1,2,3 y 4, figuras 42,43,44 y 45, tienen en su composición el más bajo porcentaje de carbonato de calcio, presentando baja viscosidad con respecto a los demás y mayor fluidez al momento de pintar, pero sin poder adelgazarla con thinner por ejemplo porque su rendimiento en sólidos podría verse afectado y perder poder de cubrimiento, es decir los sólidos que la cubren no son los suficientes y se podrían llegar a ver la necesidad de aplicar más capas, ya que son más notorias las imperfecciones de la madera.

Los tratamientos 5, 6, 7 y 8, en las figuras 46,47,48 y 49, presentan similitudes como la viscosidad y en las probetas de madera son las que mejor suavidad al tacto ofrece, disminuyendo al tacto las imperfecciones de la madera y con la necesidad de pintar con solo una inmersión, dando la opción de adelgazar la pintura con otro diluyente para un mejor rendimiento de esta, por ende, son los tratamientos 5 y 6 que mejores características presentan, debido a que los tratamientos 7 y 8 presentan altos sólidos sin diluir. Por esta razón se optó por asumir el tratamiento # 5 como el ideal para hacer un proceso de control de calidad.

Figura 42. Tratamiento 1



Fuente: elaboración propia

Figura 43. Tratamiento 2



Fuente: elaboración propia

Figura 44. Tratamiento 3



Fuente: elaboración propia

Figura 46. Tratamiento 5



Fuente: elaboración propia

Figura 45. Tratamiento 4



Fuente: elaboración propia

Figura 47. Tratamiento 6



Fuente: elaboración propia

Figura 48. Tratamiento 7



Fuente: elaboración propia

Figura 49. Tratamiento 8



Fuente: elaboración propia

Finalmente se determina la siguiente fórmula como la más completa con el análisis realizado y para la fabricación de la pintura:

Tabla 23. Formulación final para pintura de poliuretano en base solvente.

Compuesto	Porcentaje
PU	13,32%
Solvente	65,00%
bióxido de titanio	10,30%
caolín calcinado	1,27%
carbonato de calcio	10,00%
polifosfato	0,11%
Total	100,00%

Fuente: elaboración propia

3.7 EVALUACIÓN DE CALIDAD DEL PRODUCTO

Para asegurar que la pintura pueda ser un proyecto viable en la empresa RyL industrias S.A.S. debe cumplir algunos requerimientos que se tienen para el control de calidad de pinturas, por esta razón se procedió a evaluar algunos aspectos como:

- Sólidos Totales (ASTM D2369)
- Tiempo de secado (ASTM D1640-09)
- Lavabilidad (ASTM D4828)
- Resistencia al agua (ASTM D870-15)
- Resistencia al álcali (ASTM D870-15)
- Adherencia (ASTM D3359)
- Viscosidad
- Densidad

3.7.1 Sólidos totales (ASTM D2369). Este método de prueba es el procedimiento de elección para la determinación de compuestos volátiles en recubrimientos con el fin de calcular el contenido orgánico volátil en recubrimientos bajo condiciones de prueba especificadas. Esta prueba fue realizada en el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia.

Primero se tomó una muestra del recubrimiento líquido y se mezcló bien a mano antes de tomar las muestras. Después se pesó un plato de papel de aluminio y se registró el peso al 0,1 mg más cercano. Se usaron guantes desechables (sin talco) de goma. Para facilitar la dispersión de la muestra, se colocó un clip metálico (parcialmente desplegado) en el plato de aluminio y se pesó con el plato. Luego se agregó al plato de papel de aluminio la respectiva la cantidad de solvente (3 ± 1 ml de solvente). Después se extrajo la jeringa de la muestra y luego se tiró de la punta del émbolo 6 mm para extraer la muestra del cuello de la jeringa. A continuación, se limpió la superficie exterior de la jeringa para eliminar el exceso de material luego se tapó la jeringa, después se colocó la jeringa llena en la escala y se taró la escala. Se usaron guantes para manipular la jeringa.

Después se retiró la tapa y se dispuso de la jeringa al plato el peso de la muestra objetivo. Luego se agregó la muestra gota a gota al plato que contiene solvente. El clip para papel puede se usó para ayudar a dispersar la muestra de recubrimiento en el solvente⁴¹.

Después de dispensar la muestra, no se limpió la punta de la jeringa pues se retiró la muestra del cuello de la jeringa tirando del émbolo hacia arriba, después se tapó

⁴¹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for volatile content of coating. Estados Unidos: ASTM International: 2015. 5h. II. (ASTM D2369-10)

y se colocó la jeringa en la balanza. Luego se Caliento el plato de papel de aluminio en el horno de tiro forzado durante 60 minutos a 110 ± 6 ° C.

Para finalizar se retiró el plato del horno y se colocó inmediatamente en un desecador, se dejó enfriar a temperatura ambiente ese registro el peso⁴² .

Para calcula el porcentaje de materia volátil (V) en la pintura se realizó la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Cálculo para obtener el porcentaje de materia volátil en la pintura.

$$V_A = 100 - \left[\left(\frac{W_2 - W_1}{S_A} \right) * 100 \right]$$

Donde:

V_A = % volatil

W_1 = peso del plato

W_2 = pero del plato mas muestra despues del calentamiento

S_A = peso de la muestra

V_B = % volatil (determinacion por duplicado, calculo de la misma manera como V_A

V = % volatil final

Ecuación 13. Calculo promediado para el porcentaje de materia volátil promedio con una repetición.

$$V = (V_A + V_B)/2$$

el porcentaje de materia no volátil (N), en la pintura se calculó por diferencia de la siguiente manera:

Ecuación 14. Porcentaje de materia no volátil promedio de con una repetición.

$$N = (N_A + N_B)/2$$

Donde:

Ecuación 15. Materia no volátil para el primer ensayo.

$$N_A = 100 - V_A$$

Ecuación 16. Materia no volátil para la repetición.

$$N_B = 100 - V_B$$

N_A representa la primera determinación y N_B representa el duplicado de la determinación.

⁴² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for volatile content of coating. Estados Unidos: ASTM International: 2015. 5h. II. (ASTM D23

Tabla 24. Sólidos totales en pinturas comerciales y pintura RyL

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Sólidos por peso	35.9%	52%	30%	60-65%

Fuente: elaboración propia

3.7.2 Tiempo de secado (ASTM D1640-09). Este método se utiliza para determinar las diversas etapas y tasas de secado, curado y formación de película de recubrimientos orgánicos con el fin de comparar tipos de recubrimientos o cambios de ingredientes, o ambos. Esto es importante en el desarrollo de recubrimientos para varios usos finales y también para el control de calidad de la producción. Este ensayo fue realizado en los laboratorios de RyL industrias S.A.S., existen diferentes métodos para determinar el tiempo de secado a continuación se explican los exigidos por la norma:

- a) Tiempo establecido para tocar: después de aplicar una capa de la pintura en una probeta se toca suavemente la película con la punta de un dedo limpio e inmediatamente se coloca la punta del dedo contra un pedazo de vidrio limpio y transparente. Se observa si alguno de los recubrimientos se transfirió al vidrio. Para los fines de este ensayo, la presión de la punta del dedo contra el recubrimiento no debía ser mayor que la requerida para transferir una mancha del recubrimiento de 3 a 5 mm en sección transversal.
- b) Tiempo libre de polvo: se realiza mediante el método de prueba de fibras de un algodón, en el cual se separan una serie de fibras individuales de una masa de algodón absorbente con la ayuda de pinzas. A intervalos regulares de secado, se deja caer varias de las fibras de algodón desde una altura de 25 mm sobre una sección marcada de la película. Se considera que la película tiene polvo seco cuando las fibras de algodón se pueden quitar soplando ligeramente sobre la superficie de la película.
- c) Tiempo de secado al tacto: se toca la película ligeramente a intervalos de tiempo variables. La película se considera seca cuando el dedo que toco la película no dejo marcas pronunciadas en la misma área en cada observación.
- d) Tiempo seco-duro: Con el extremo del pulgar apoyado en la película de prueba y el dedo índice apoyando el panel de prueba, se ejerce una presión máxima hacia abajo (sin torcer) del pulgar sobre la película. Luego se Pulió ligeramente el área contactada con un paño suave.
- e) La película se considera seca y dura cuando cualquier marca dejada por el pulgar se elimina completamente con la operación de pulido.

- f) Tiempo de secado en seco: se coloca el panel de prueba en una posición horizontal a una altura tal que cuando el pulgar se coloque sobre la película, el brazo del que realiza la prueba este en una línea vertical desde la muñeca hasta el hombro. Se apoya la película con el pulgar, ejerciendo la presión máxima del brazo, al mismo tiempo que gira el pulgar en un ángulo de 90 ° en el plano de la película. La película se considera seca o de fácil manejo cuando no hay aflojamiento, desprendimiento, arrugamiento u otra evidencia de distorsión de la película ⁴³.

Tabla 25. Tiempos de secado para pinturas comerciales y pintura RyL

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Tiempo de secado al tacto	15 minutos	8 horas	30 minutos	2-3 horas

Fuente: elaboración propia

3.7.3 Lavabilidad (ASTM D4828-94). Esta prueba determina la facilidad relativa de eliminación de la suciedad y las manchas de la pintura por el lavado manual o mecánico con una esponja y un limpiador líquido o polvo. Fue realizada en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Colombia.

Para realizar esta prueba, primero se aplicó la pintura en un panel plástico y se dejó secar durante 7 días. Al octavo día se aplicaron diferentes tipos de manchas sobre la mitad de la superficie del panel luego de una hora se lavó la película de pintura aproximadamente por 100 ciclos con una esponja y jabón (el jabón debe estar debidamente pesado). Después se enjuagó, se secó y por último se evaluó el grado de remoción de suciedad o manchas, la erosión y cualquier cambio en el brillo o color entre el área lavada y no lavada⁴⁴.

Para determinar su lavabilidad se utilizaron manchas de tinta de esfero rojo, lápiz mirado #2, delineador de ojos, solución de yodo y marcador permanente, no hubo ningún cambio en el brillo, erosión o cambios de color en la probeta. Para el esfero rojo y marcador permanente se obtuvo una clasificación de 3, para el lápiz mirado #2 y la solución de yodo de 7 y para el delineador de ojos 10.

⁴³ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for drying, curing, or film formation of organic coatings at room temperature. Estados Unidos: ASTM International: 2003. 3h. II. (ASTM D1640-03)

⁴⁴ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for practical washability of organic coatings . Estados Unidos: ASTM International: 1994. 4h. II. (ASTM D4828-94)

Los cambios apreciables con respecto al original son del lápiz mirado #2 y de la solución de yodo, sin poder remover sus manchas totalmente.

3.7.4 Resistencia al agua (ASTM D870-15). La inmersión en agua puede provocar la degradación de los recubrimientos. El conocimiento de cómo un revestimiento resiste la inmersión en agua es útil para predecir su vida útil. La falla en una prueba de inmersión en agua puede ser causada por una serie de factores que incluyen una deficiencia en el recubrimiento mismo, la contaminación del sustrato o la preparación inadecuada de la superficie. Por lo tanto, la prueba es útil para evaluar la calidad del recubrimiento. Fue realizada en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Colombia.

Para realizar esta prueba, primero se cubrió con pintura la muestra y se dejó secar, luego se sumergió parcialmente en un recipiente resistente a la corrosión. Se variaron las condiciones de exposición como la temperatura del agua y la duración de la prueba. El agua impregno la pintura a velocidades que dependen de las características de la pintura y de la temperatura del agua. Cualquier efecto como cambio de color, formación de ampollas, pérdida de adherencia, reblandecimiento o agilización se reportaron⁴⁵. Tiempo de la prueba fue de 24 horas, el sustrato de las muestras fue vidrio plano transparente y se usó agua destilada con conductividad 3,5 μS . La prueba se realizó con recirculación de agua a 38 C.

Tabla 26. Resultados de resistencia al agua pintura epoxica y pintura RyL

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Resistencia al agua	No se observan ampollas durante la prueba, ni desprendimiento de la película	No presenta cambios notorios	-	-

Fuente: elaboración propia

⁴⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for testing wáter resistance of coatings using wáter inmersión. Estados Unidos: ASTM International: 2015. 3h. II. (ASTM D870-15)

3.7.5 Resistencia al álcali (ASTM D870-15). Para la prueba de resistencia al álcali, se realizó el mismo procedimiento de la prueba resistencia al agua, la diferencia es que la inmersión no se hace en agua sino en una sustancia alcalina. Y se obtuvieron el siguiente resultado, el cual se comparó con los resultados de las pinturas comerciales, El tiempo de la prueba fue de 18 horas, el sustrato de las muestras fue vidrio plano transparente y se usó hidróxido de calcio para preparar una solución de PH básico. La prueba se realizó con recirculación a 20 C, obteniendo la tabla 27.

Tabla 27. Resistencia al álcali pintura vinílica y pintura RyL

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Resistencia al álcali	No se observan ampollas durante la prueba, ni desprendimiento de la película	-	Poco resistente	-

Fuente: elaboración propia

3.7.6 Adherencia (ASTM D3359). Si un revestimiento cumple su función de proteger o decorar un sustrato, debe adherirse a él durante la vida útil esperada. Debido a que el sustrato y su preparación de superficie (o la falta de él) tienen un efecto drástico sobre la adhesión de los recubrimientos, un método para evaluar la adhesión de un recubrimiento es de considerable utilidad en la industria. Este ensayo fue realizado en los laboratorios de RyL industrias S.A.S. y se realizó de la siguiente manera:

1. Se seleccionó un área libre de manchas e imperfecciones menores de la superficie y se colocó sobre una base firme y debajo de una lupa iluminada se realizaron los cortes paralelos dependiendo del espesor de película seca de la siguiente manera:

Para recubrimientos cuyo espesor de película seca sea hasta de 50 μm inclusive (2,0 mils), debe haber un espacio de 1 mm entre los cortes si el sustrato es metálico (sustrato duro) o 2 mm de espacio si el sustrato es madera o yeso (sustrato blando). Se hacen los cortes, a menos que se haya acordado algo diferente.

Para recubrimientos cuyo espesor de película seca esté entre 50 μm (2,0 mils) y 125 μm (5 mils), el espacio entre los cortes debe ser de 2 mm y se hacen seis cortes. Para películas con un espesor mayor de 125 μm (5 mils), se puede usar un espaciado entre los cortes de 3mm, y se debe usar el método de ensayo A.

2. Todos los cortes se hicieron de aproximadamente 20 mm (3/4 in.) de largo, luego se cortó a través de la película al sustrato en un movimiento constante con solo suficiente presión en la herramienta de corte para que el filo alcance el sustrato.
3. Después de hacer los cortes requeridos se cepilló la película ligeramente con un cepillo suave para eliminar las escamas desprendidas o las cintas de los recubrimientos.
4. Luego se examinó la cuchilla de corte y no se notó pérdida de filo. Se hicieron cortes adicionales a 90° y centrados en los cortes originales.
5. Se cepillo el área como antes y se inspeccionó las incisiones para detectar si había llegado al sustrato (madera).
6. Luego se retiran dos vueltas completas de cinta y se desecharon. Se cortó un tramo adicional a una velocidad constante (sin tirones bruscos) y se cortó una tira aproximadamente de 75 mm de longitud.
7. Se colocó el centro de la cinta sobre los cortes y se aplanó con el dedo sobre el área de los cortes. Para garantizar que haya buen contacto con la película, se frotó la cinta firmemente con el borrador del extremo de un lápiz.
8. Dentro de los 90 ± 30 s de la aplicación, se retiró la cinta sujetando el extremo libre y rápidamente (sin halar) hacia atrás sobre sí misma tan cerca de un ángulo de 180 ° en lo posible.
9. Se inspeccionó el área de la rejilla para eliminar el recubrimiento del sustrato o de un recubrimiento anterior usando la lupa iluminada⁴⁶.

Se calificó la adherencia de acuerdo con la escala ilustrada en la Fig. 50.

Tabla 28. Descripción de cada clasificación según la norma ASTM D3359.

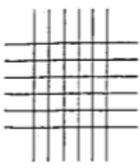
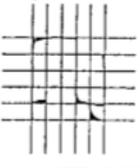
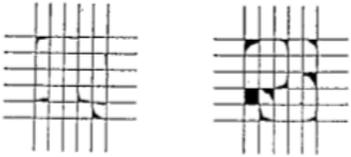
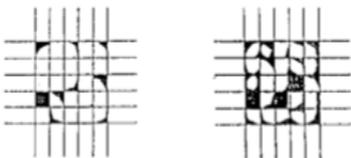
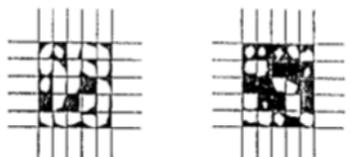
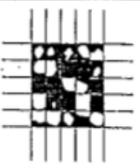
Clasificación	Descripción
5B	Los bordes de los cortes son completamente parejos; ninguno de los cuadros el enrejamiento formado por los cortes está suelto.
4B	Pequeñas escamas del recubrimiento están sueltas en las intersecciones; menos del 5% del área está afectada.
3B	Pequeñas escamas de recubrimiento están sueltas a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes. El área afectada está entre el 5% y 15% del enrejamiento formado por los cortes.
2B	El revestimiento se ha desprendido a lo largo de los bordes de los cortes y en partes de las esquinas. El área afectada está entre el 35% y el 65% del enrejado.

⁴⁶ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for measuring adhesión by tape test. Estados Unidos: ASTM International: 2009. 8h. II. (ASTM D3359-09)

- 1B El revestimiento de ha rasgado a lo largo de los bordes en tiras grandes y se han desprendido cuadros enteros. El área afectada está entre el 35% y el 65% del enrejado.
- 0B El astillamiento y desprendimiento es peor que el grado 1B.

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for measuring adhesion by tape test. Estados Unidos: ASTM International: 2009. P4. II. (ASTM D3359-09). Consultado el 15 de noviembre del 2019.

Figura 50. Clasificación de adherencia según la ASTM D3359.

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

Fuente: AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for measuring adhesion by tape test. Estados Unidos: ASTM International: 2009. P.4. II. (ASTM D3359-09). Consultado en noviembre del 2018.

Tabla 29. Adherencia de pintura epoxica y pintura RyL

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Adherencia	5B	5B	-	-

Fuente: elaboración propia

3.7.7 Determinación de la viscosidad. Para determinar la consistencia de pinturas conforme a su viscosidad se debe realizar bajo la NTC 559, basada en la ASTM D562. Para esta norma se necesita el equipo viscosímetro stormer y no fue posible adquirir este equipo por parte de la empresa, por lo tanto, la viscosidad se determinó con un viscosímetro análogo marca Brookfield modelo RVT. Las pruebas se realizaron a 25°C, a temperatura del laboratorio. Para determinar su viscosidad se escogió la aguja 4 y velocidad 20, se determinó mediante la ecuación 17.

Ecuación 17. Viscosidad de la pintura

$$Viscosidad (cP) = 43 * 100 = 4300 cP$$

No hay una normativa que indique en que valores se debe encontrar la viscosidad de una pintura. En la norma indica que su valor debe ser un acuerdo entre partes.

La viscosidad obtenida de la pintura RyL se comparó con respecto a las viscosidades de las pinturas: vinílica, ya que esta es una pintura para exteriores, epóxica y de poliuretano, porque según la caracterización del residuo en el capítulo 2 se presume que el residuo es un poliuretano con terminación epóxica.

Las unidades de los valores hallados están en Krebs, por lo cual fue necesario convertir los centipoises a Krebs con ayuda del manual del viscosímetro Brookfield KU-2, anexo C y se obtuvieron los resultados en la tabla 30.

Tabla 30. Viscosidades pintura RyL, epóxica, vinílica y de poliuretano comercial.

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epóxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Viscosidad	135 KU	77-91 KU	100-105 KU	60-70 KU

Fuente: elaboración propia

Los datos de densidad y viscosidad de la pintura epóxica fue obtenida de los datos de la ficha técnica de pintura epóxica poliamida de la empresa Pintuland, la pintura vinílica de la ficha técnica de Vinílico 2 en 1 de la empresa ICO y la pintura de poliuretano de la ficha técnica de Esmalte de poliuretano altos solidos de Pintuco. Se puede observar que la pintura RyL es más viscosa que las pinturas comerciales,

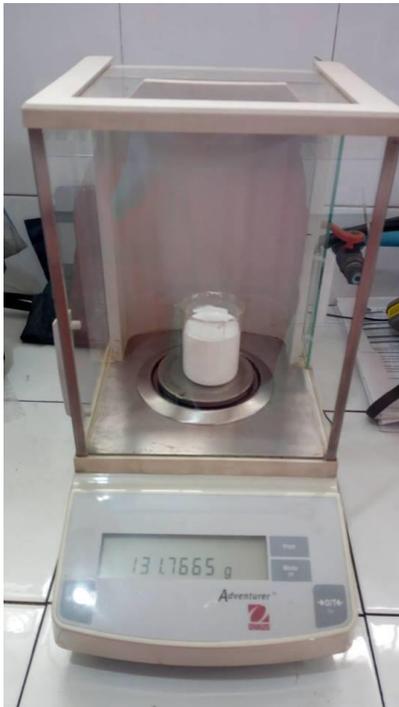
como no hay una normativa que indique en que valores se debe encontrar la viscosidad de una pintura y según la norma, esta indica que su valor debe ser un acuerdo entre partes. La alta viscosidad no es un problema, ya que en la etiqueta del producto se sugiere al comprador que al momento de aplicar esta pintura será necesario diluirla con thinner.

3.7.8 Determinación de la densidad. Se realizó la determinación de densidad basados en la norma ASTM D1475-13, esta norma indica que se debe hacer en un picnómetro o un envase de metal debidamente graduado, al momento de realizar el ensayo en un picnómetro no fue fácil introducir la pintura y la tapa no bajó con naturalidad para ajustarse con el esmeril, por lo tanto, no se pudo realizar con el picnómetro. Se decidió utilizar un beaker graduado de 80mL y llevar la pintura a la marca de 80mL, se realizó pesando el beaker pequeño en vacío, limpio y seco, luego se le agregó la pintura cuidadosamente hasta llegar a 80mL y pesando de nuevo el beaker, al finalizar la diferencia entre estos valores fue el peso de la pintura que ocupaba 80mL, con los siguientes datos y cálculos:

Masa Beaker vacío: 45,7208 g

Masa Beaker con pintura: 131,7665 g

Figura 51. Peso de Beaker con pintura para calcular la densidad



Fuente: elaboración propia

Ecuación 18. Masa de la pintura para obtener la densidad

$$\text{Masa pintura} = 45,7208g - 131,7665 g = 86,0457 g$$

Masa Pintura 86,0457 g

Ecuación 19. Densidad de la pintura

$$\rho = \frac{(131,7665 - 45,7208)g}{80 mL} = \frac{1,076g}{mL} = 1,076 \frac{Kg}{L}$$

Tabla 31. Densidad de pintura RyL, epóxica, vinílica y de poliuretano comercial.

Propiedad	Pintura RyL	Pintura epoxica	Pintura vinílica	Pintura de poliuretano
Densidad	4,073 Kg/gal	4,8-5,6 Kg/gal	4,65-5,85 Kg/gal	4,27-4,30 Kg/gal

Fuente: elaboración propia

En las pinturas acabadas la determinación de la densidad tiene gran importancia debido a que el envasado posterior de las mismas se efectuará en volumen y para ello debe efectuarse una transformación de litros o galones a kilogramos en la que es imprescindible conocer la densidad⁴⁷. En la tabla 31, ese observa que la pintura es menos densa que las pinturas comerciales, por lo tanto, un galón de pintura RyL pesara en 4,073 Kg, mientras que una pintura vinílica puede oscilar entre 4,65 Kg y 5,85 Kg, una epóxica entre 4,8Kg y 5,85 Kg y una pintura de poliuretano entre 4,27 Kg hasta 4,30 Kg.

3.7.9 Evaluación sensorial. La opacidad, el color y el brillo de las superficies son percepciones subjetivas por la interacción de la luz con la película de las pinturas. Estas propiedades, en conjunción con la forma de la superficie pintada, combinan aspectos estéticos y funcionales. La opacidad refiere a la capacidad de ocultación del sustrato, para este caso la inmersión realizada en la pintura final cubrió totalmente el sustrato ocultando y protegiéndolo. El color depende del pigmento que se agrega adicional a la formulación, hay diversos pigmentos y mezclas de estos que pueden llegar a ser mezclados con la pintura para obtener más opciones al consumidor, la evaluación de este se realizó en el color base, blanco, proveniente del dióxido de titanio.

El brillo es una impresión sensorial causada por la reflexión de la luz sobre una superficie; es una propiedad particularmente importante en pinturas de terminación

⁴⁷ CALVO, Carbonell. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. P 165.

para exteriores (generalmente se requieren películas brillantes para facilitar la limpieza e incrementar la intensidad de la luz reflejada) como también para interiores (usualmente se especifican productos de poco brillo o bien mates para evitar las molestias causadas por la reflexión de los rayos de luz concatenados en los ojos). El método más frecuente para comparar el brillo de superficies pintadas es el visual⁴⁸, para nuestra aplicación en madera se observó poco brillo, y la luz no se reflejaba, pero lejos de ser una pintura mate, nuestra apreciación de esta característica fue neutral.

3.3.1. Evaluación de propiedades físicas. Terminación: Cuando se habla de terminación se hace referencia al aspecto que tendrá la pintura una vez halla secado. Suave, rugoso, aterciopelado, piel de naranja, todas son posibles terminaciones de la pintura que dependen del tipo de material y forma de aplicación⁴⁹.

Al culminar con la aplicación de la pintura en una probeta de madera se realizaron algunas inspecciones sensoriales, para la pintura seca en la madera se percibió una superficie suave, en algunos casos sin notar las imperfecciones de la medra, sin piel de naranja, con un color opaco, constante y sin espacios o capas donde no haya llegado la pintura, sin fisuras. Al ser una pintura que tiene como resina un residuo de poliuretano se le hicieron algunos cortes y su adherencia era buena, en algunas probetas se levantaba todo un tramo con halar una vez, esto después de varios intentos de romper la película que protegía la medra y con dificultad levantar una tira. Adicional a esto se realizó una prueba con una pistola de pintura y no fue posible pintar ya que salía una especie de hilos de pintura que no permitían una correcta aplicación. Su olor era de solvente, un olor fuerte y pronunciado, ya que se utilizó un solvente aromático para su desarrollo.

⁴⁸ GIUDICE, Carlos. Control de calidad de películas de pinturas. Centro de investigación y desarrollo en tecnología de pinturas. La plata. P 8.

⁴⁹ PINTO MI CASA. Propiedades específicas de las pinturas [en línea]. <<https://www.pintomicasa.com/2013/03/propiedades-especificas-de-las-pinturas.html>> [citado el 13 de noviembre de 2018]

4. DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE PROCESO PARA UNA PLANTA PILOTO

Con el fin de implementar el proceso de fabricación de la pintura en la empresa RyL industrias, se procedió a determinar las especificaciones del proceso para una planta piloto, inicialmente se describe el proceso por el cual se debe fabricar la pintura, después se describen los equipos que se deben utilizar y finalmente se diseña el diagrama PFD.

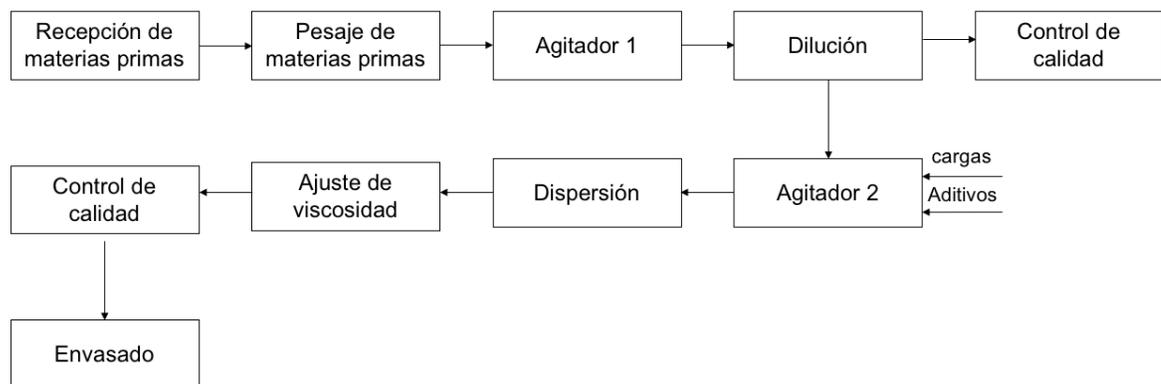
4.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE PINTURA

Para determinar las condiciones del proceso para una planta piloto, se realizó una prueba con 5 galones, equivalente a 18,93 galones. Se utilizó un agitador utilizado en la empresa de 1200 rpm, con capacidad máxima de 10 galones, se cronometró el tiempo para diluir el residuo de poliuretano, su tiempo aproximado fue de 8 horas para obtener una dilución completa, al hacer la pintura en un mismo agitador se identificó la necesidad de dividir el proceso en dos etapas, un proceso por lotes, batch. El tiempo estimado para completar la mezcla de las cargas y obtener una pintura homogénea y con la mínima cantidad de sólidos suspendidos evaluados visualmente fue de 4 horas. Estos datos obtenidos sirvieron como referencia para establecer tiempos y capacidades de los equipos a utilizar para la planta piloto.

Inicialmente se realiza una recepción de materias primas como: el residuo de poliuretano, el solvente RyL y las cargas. El residuo de poliuretano es almacenado en bolsas plásticas altamente resistentes, el solvente RyL en tambores de acero inoxidable de 200L y las cargas en bolsas de papel o bolsas plásticas dependiendo del proveedor. Antes de iniciar el proceso productivo se deben alistar las materias primas, pesando el residuo de poliuretano, el solvente RyL y las cargas en una báscula de plataforma digital. Al tener lista la alimentación se agrega el residuo del poliuretano y el solvente RyL al agitador número 1 (M-1) de forma manual. La cantidad de residuo y de solvente RyL dependen de la cantidad de pintura a fabricar, el agitador 1 (M-1) debe operar a 700 rpm, con un tiempo aproximado de 8 horas, este valor es aproximado, ya que su residencia en el tanque depende de la cantidad a producir. Luego de 8 horas el operario debe realizar una inspección visual y un control de calidad para determinar si ya se ha diluido completamente el poliuretano, para esto el operario debe extraer 350 mL de base de pintura para medir su viscosidad y evaluar si en la mezcla se encuentra la presencia de grumos, Así determinar si es necesario dejar más tiempo agitando el residuo junto con el solvente. Para evitar la presencia de una bomba, y aprovechando la altura de la planta, el agitador 1 (M-1) se encuentra encima del agitador 2 (M-2), al culminar el proceso de mezclado en el agitador 1 se hace la descarga del M-1 al M-2 mediante

una válvula de bola. Luego de llenar el agitador 2 (M-2), se agregan las cargas debidamente pesadas y se agregan individualmente con el requisito que la agregada anteriormente ya esté disuelta, el tiempo de residencia de cada carga varía según la cantidad y se verifica mediante una inspección visual del operario. Luego de mezclar todas las cargas, el operario realiza un segundo control de calidad, extrayendo del agitador 2, 350 mL de muestra para determinar su viscosidad y que la pintura no presente sólidos suspendidos, si la viscosidad está muy alta, se procede a agregar thinner hasta obtener la viscosidad deseada y si se evidencian la presencia de sólidos suspendidos, se deja agitando más tiempo hasta que la mezcla este homogénea. Se propone un tiempo aproximado de 4 horas para mezclar todas las cargas, se recomienda agregar las cargas en el siguiente orden: bióxido de titanio, caolín, carbonato de calcio y polifosfato de sodio. Al terminar de mezclar las cargas y su respectiva revisión se procede a descargar mediante una válvula de bola y se almacena la pintura, para posteriormente envasar en recipientes de diferentes tamaños. Representado en la Figura 52, como diagrama del proceso para producción de la pintura RyL.

Figura 52. Diagrama de proceso para producción piloto de pintura de poliuretano.



Fuente: elaboración propia

4.2 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN

Para determinar las variables que afectan las especificaciones de la planta piloto se determinó junto con la empresa RyL Industrias S.A.S. fijar un objetivo mensual de canecas para la comercialización de esta, el cual fue de 52 canecas de 5 gal. cada una de pintura, para obtener la cantidad de litros mensuales de pintura se calculó según la ecuación 20.

Ecuación 20. Volumen mensual de pintura

$$\text{Volumen mensual de pintura} = \text{número de canecas deseadas} * 5 \text{ gal} * \frac{3,785 \text{ litros}}{1 \text{ gal}}$$

$$\text{Volumen mensual de pintura} = 52 \text{ canecas} * 5 \frac{\text{gal}}{\text{caneca}} * \frac{3,785 \text{ litros}}{1 \text{ gal}} = 984,1 \text{ litros}$$

Con base en los resultados obtenidos en el capítulo 3 y el objetivo mensual expuesto anteriormente se establecieron los siguientes equipos y condiciones de operación para cada una de las variables estudiadas:

- Agitador 1

Para esta etapa inicial no es necesaria un agitador de alta velocidad, ya que el objetivo es impedir la formación de grumos y obtener una base de pintura homogénea, debe trabajar a 700 rpm con un disco de cowles y tener la opción de tapa móvil para la carga de materia prima y evitar que el solvente se evapore.

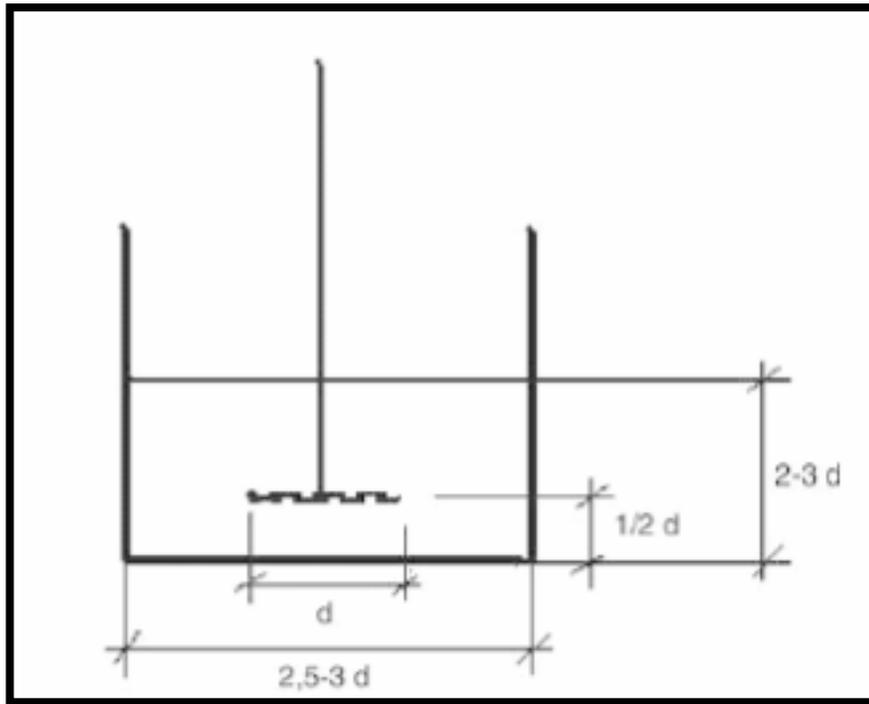
- Agitador 2

Se recomienda un dispersor de alta velocidad que opere a 1200 rpm, debe permitir la apertura de su tapa y debe ser un disco de cowles, así como en el agitador #1.

El diámetro del tanque debe ser de 2.5 a 3 veces superior al diámetro del disco como se muestra en la figura 53, la altura en reposo de la pasta pigmentaria 2 a 3 veces y la distancia del disco hasta el fondo aproximadamente la mitad de su diámetro.⁵⁰

⁵⁰ Calvo, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009.

Figura 53. Relaciones de tamaño de agitadores con respecto al disco de cowles.



FUENTE: CALVO, Carbonell, Jordi. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. p. 203. Consultado el 15 de noviembre del 2018.

Por lo que la teoría sugiere esta relación dependiente del diámetro del disco, esta relación se utiliza para la fabricación de pintura, para poder trabajar sobre estas relaciones se tomó en cuenta el diámetro del tanque piloto en la empresa, obteniendo 40mm para despejar el diámetro mínimo y máximo que puede tener el disco, su relación de altura con respecto al fondo y su altura de reposo, obteniendo rangos en los que puede oscilar.

$$\text{Diámetro mín. del disco} = \frac{40 \text{ mm}}{3} = 13,33 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro máx. del disco} = \frac{40 \text{ mm}}{2,5} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de reposo mín.} = 2 * 13,33 \text{ mm} = 26,66 \text{ mm}$$

$$\text{Altura de reposo máx.} = 3 * 16 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia del disco con respecto al fondo} = \frac{48 \text{ mm}}{2} = 24 \text{ mm}$$

Figura 54. Agitadores para planta piloto de 60L.



Fuente: SCHWARZER-RUEHRTECHNIK. Stainless steel tanks with or without agitator, custom made. En línea. <http://schwarzer-ruehrtechnik.de/steel-tanks/?lang=en>. Consultado el 15 de noviembre del 2018

En la figura 54, se observan el prototipo de tanques que se quieren instalar en la planta piloto, a diferencia que en la planta debe estar uno encima del otro.

A continuación, se realizó la tabla 32, en donde se encuentra los equipos que se van a utilizar en la planta piloto, definiendo su cantidad y sus respectivas características.

Tabla 32. Descripción de equipos y cantidades requeridas para montaje de una planta piloto.

Equipos	Cantidad	Características
Agitador 1	1	Capacidad nominal: 50 L Alto/diámetro/espesor: 60mm/40mm/3mm Material: Acero inoxidable Con tapa de apertura Disco de cowles Velocidad: 700 rpm
Válvula de bola	2	Diámetro: 2" Extremos roscados
Agitador 2	1	Capacidad nominal: 50 L Alto/diámetro/espesor: 60mm/40mm/3mm Material: Acero inoxidable Con tapa de apertura Disco de cowles Velocidad: 1200 rpm
Tanque para almacenar pintura	1	Capacidad nominal: 100 L Alto/diámetro/espesor: 65mm/50mm/3mm Material: Acero inoxidable Sellado
Bascula de plataforma digital	1	Capacidad máx.: 100Kg

Fuente: elaboración propia

4.3 DETERMINACIÓN DE BALANCE DE MATERIA GLOBAL

Para obtener la cantidad de materia prima mensual con la que se debe tener disponibilidad se realiza un balance de materia global, esto también permitirá una proyección para establecer el costo de materia prima mensual en la planta piloto, como se ha hablado anteriormente, el objetivo es producir 1000 Litros mensuales, el balance de materia global se presenta para cada proceso discontinuo. La planta cuenta con un horario diurno de trabajo de 8 horas, por tanto, es indispensable que los dos agitadores trabajen simultáneamente. Cada día el proceso se realiza solo una vez debido al tiempo estimado de producción que es de 8 horas para dilución y 4 horas para la mezcla, con el fin de trabajar un turno de 7am a 3pm diario se decide

que el primer día de operación solo se realice la base de pintura, debido a su duración de 8 horas, y al día siguiente se realice la pintura y se prepare más base de pintura para suplir el siguiente día.

El peso de la pintura diaria se calculó con la densidad de la misma.

$$\text{Peso de pintura} = 1,076 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} * 50 \text{ L} = 53,8 \text{ Kg}$$

La cantidad de materia prima diaria se calcula mediante la formulación definida en el capítulo 3.

Tabla 33. Cantidad de materia prima diaria requerida para planta piloto.

Compuesto	Porcentaje	Kilogramos
PU	13,32%	7,17
Solvente	65,00%	34,97
bióxido de titanio	10,30%	5,54
caolín calcinado	1,27%	0,68
carbonato de calcio	10,00%	5,38
polifosfato	0,11%	0,06
Total	100,00%	53,8

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se puede observar la fórmula para producir 50 L diarios, a continuación, se muestra en la figura 55 el balance de materia del proceso. Al ingresar al agitador 1 entran dos corrientes llamadas Solvente RyL y Residuo Krystalflex PE399, con pesos de 34,97 Kg y 7,17 Kg respectivamente, al terminar el proceso de dilución se obtiene la base pintura con un peso de 42,14 Kg en el agitador 2, se adicionan las cargas y al finalizar el proceso de mezcla se obtienen 53,8 Kg de pintura.

Adicionalmente para la fabricación de 53,8Kg de pintura se aproxima una acumulación de 2 Kg, los cuales se quedan en la tubería, control de calidad y los agitadores 1 y 2 por este motivo se aproxima una producción neta de 51,8Kg equivalentes a 48,14L.

Ecuación 21. Peso neto de fabricación.

$$W_{\text{neto}} = W_{\text{ideal}} - W_{\text{acumulación}}$$

W neta: Peso estimado neto producido de la pintura

W ideal: Peso estimado sin desperdicios en la producción

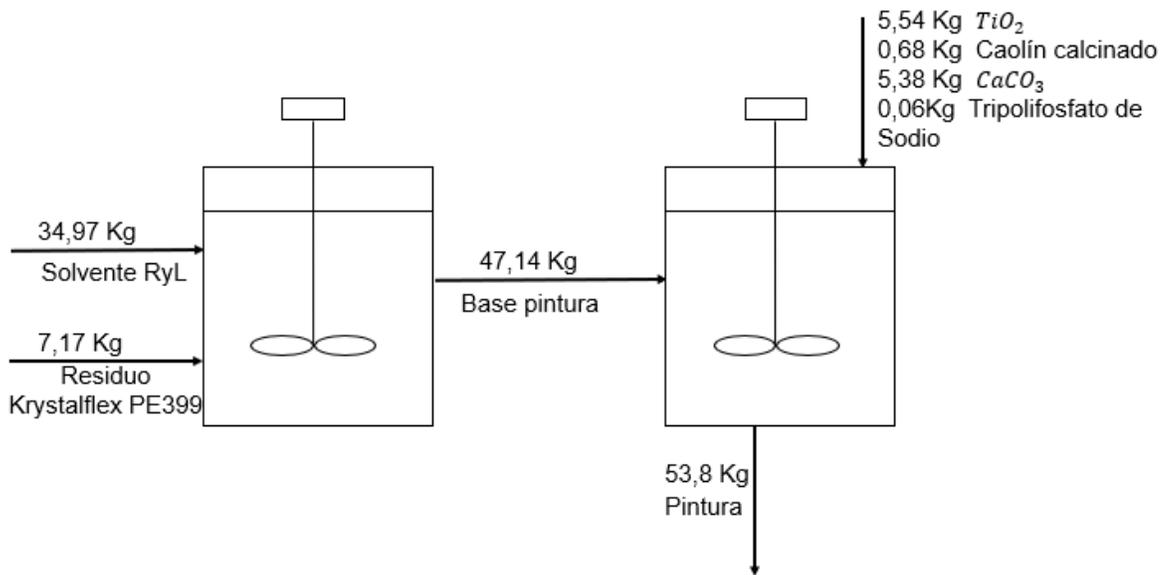
W acumulación: Peso estimado de desperdicios acumulados en tuberías y agitadores 1 y 2.

$$W_{\text{neto}} = 53,8 \text{ Kg} - 2 \text{ Kg} = 51,8 \text{ Kg}$$

La cantidad acumulada se estimó mediante las pérdidas obtenidas cuando se realizó la prueba piloto de 5 galones, además se restó la cantidad de materia prima extraída para los controles de calidad.

- Diagrama con el balance de materia

Figura 55. Diagrama de bloques con balance de materia para producción diaria de planta piloto.



Fuente: elaboración propia

Se necesitan 21 días de producción para para alcanzar el objetivo propuesto de 1000L, y adicional el día inicial para obtener la base de la pintura.

$$Producción\ diaria = \frac{51,8\ Kg/día}{1,076\ Kg/L} = 48,14\ L/día$$

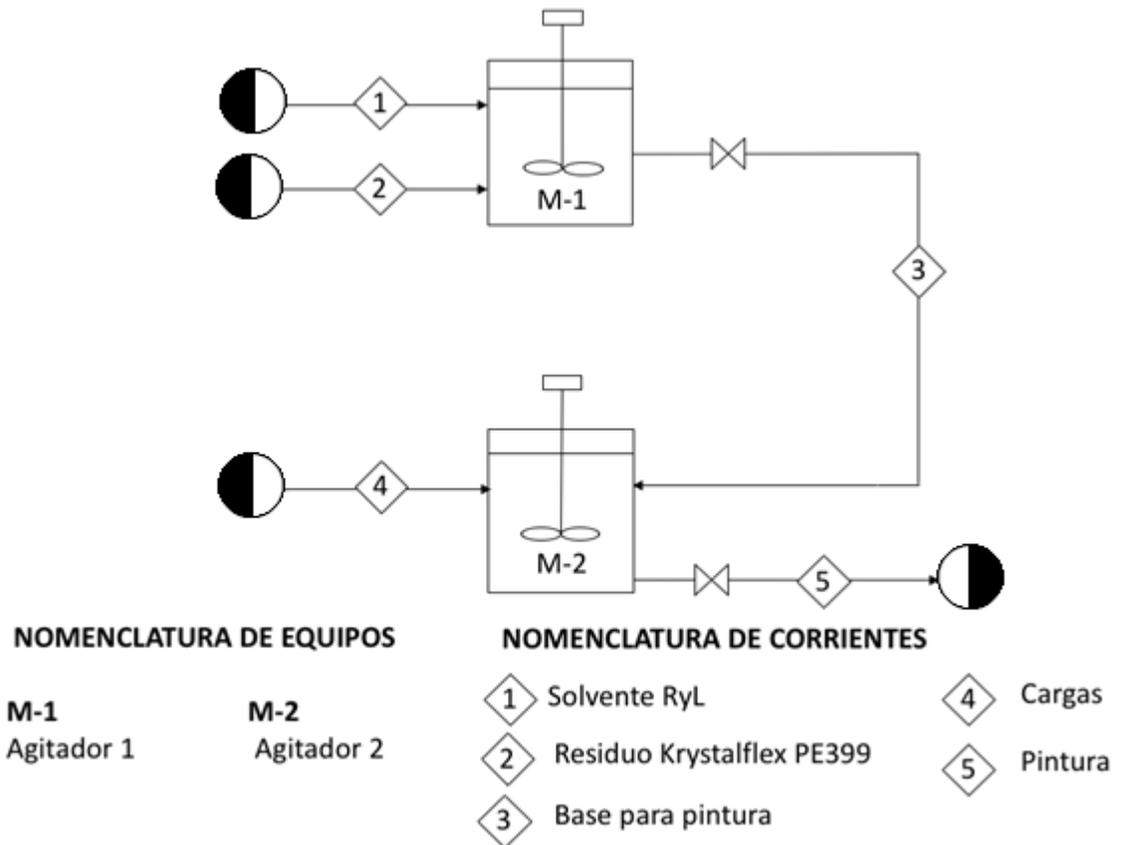
$$Días\ necesarios = \frac{1000\ L}{48,14\ L/día} = 20,773$$

Para un total de 22 días de producción para el primer mes y 21 días para los siguientes meses de 8h cada uno.

4.4 DIAGRAMA PFD

En la figura 56 mostrada a continuación se muestra el diagrama de flujo (PFD) que identifica los equipos y corrientes del proceso.

Figura 56. Diagrama PFD.



Fuente: elaboración propia

Para producir 48,14L de pintura diaria, se seleccionaron equipos de fácil y rápido montaje con el fin de reducir sus costos, esto para hacer posible el montaje de la misma y generar ganancias para la empresa.

5. DETERMINACION DE LA VIABILIDAD FINANCIERA DEL PROCESO A ESCALA PILOTO

En el siguiente capítulo se presenta una propuesta de costos del proceso a escala piloto en su completo desarrollo con respecto a costos de operación, costos de inversión incluidos los servicios como la mano de obra y contratación de personal capacitado, realizado en base al estudio técnico del proyecto, este proporcionó información básica para poder determinar los costos e inversión del proceso de fabricación de la pintura.

Para realizar los costos fijos y variables se tuvieron las siguientes premisas:

- 21 días de producción mensuales
- 8 horas diarias de producción

5.1 INVERSIONES

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto es necesario determinar la inversión inicial, esta se compone de activos fijos, activos diferidos y capital de trabajo.

5.1.1 Inversión de activos fijos. Los activos fijos necesarios en la inversión se explicaron según su funcionalidad en el anterior capítulo, para determinar el costo de la inversión se cotizaron los precios por unidad en pesos Colombianos y se multiplicaron por su cantidad para obtener el precio total por cada activo, adicional se calculó su precio en dólares americanos con la tasa de cambio del ocho de noviembre del 2018, al finalizar esto se sumaron sus precios totales por activo y se determinó el total de la inversión por activos fijos.

Tabla 34. Costos para montaje de la planta piloto.

Descripción	P/Unidad COP	Cantidad	P/total COP	P/total US
Agitador 1	\$ 4'000,000	1	\$ 4'000,000	\$ 1,273.36
Agitador 2	\$ 4'300,000	1	\$ 4'300,000	\$ 1,368.86
Válvula	\$ 200,000	2	\$ 400,000	\$ 127.34
Báscula de plataforma digital	\$ 200,000	1	\$ 200,000	\$ 63.67
Mano de obra	\$ 500,000	1	\$ 500,000	\$ 159.17
Total			\$ 9'400,000	\$ 2,992.39

* Cambio al 8 de noviembre de 2019: COP\$3.141,30/US\$1.00

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los datos de la tabla 34 se necesita invertir \$9'400,000 para el montaje de la planta piloto.

5.1.2 Inversión de activo diferido. Los gastos de adecuaciones de la empresa, la capacitación del operario y el estudio de ingeniería, estos gastos no son susceptibles a ser recuperados, se clasifican en los siguientes conceptos de la tabla 35.

Tabla 35. Gastos de adecuaciones, capacitación, materiales y accesorios de inversión de planta piloto.

Concepto	P/Unidad COP	Cantidad	P/total COP	P/total US
Sistema eléctrico	\$ 100,000	N/A	\$ 100,000	\$ 31.83
Materiales y accesorios	\$ 200,000	N/A	\$ 200,000	\$ 63.67
Capacitación	\$ 12,000/hora	6 h	\$ 72,000	\$ 22.92
	Total		\$ 372,000	\$ 118.42

* Cambio al 8 de noviembre de 2019: COP\$3.141,30/US\$1.00

Fuente: elaboración propia

Para poner en operación la planta piloto es necesario adecuar algunas locaciones del área productiva de la empresa, para lo cual se necesita cableado eléctrico, cajas eléctricas, cinta aislante, tubería de PVC y codos de PVC. El costo de los materiales y accesorios fue propuesto para cubrir la pintura de delimitación, cinta de enmascarar, tijeras y gastos de caja menor que puedan surgir durante la instalación.

El costo del estudio de ingeniería es un valor de \$12'740,000 que ya ha sido pagado anticipadamente para la elaboración del presente trabajo de grado. (Anexo D)

Con el costo de activos diferidos iguales a \$13'112,000.

5.1.3 Capital de trabajo. Los gastos del capital de trabajo son necesarios para poner en marcha el primer mes de producción, estos son compuestos por materias primas, costos de energía eléctrica y mano de obra.

- Costos de materia prima

Para obtener el pronóstico de cada materia prima necesario por mes de producción fue necesario obtener los costos promedios en el mercado local, cantidad de materia prima por kilogramo de pintura, su precio por kilogramo y el precio total para producir 1076 Kg de pintura mensual, los cuales se observan en la tabla 36.

Tabla 36. Costos de materia prima.

Descripción	Precio por Kg COP		Precio por Kg US	
Residuo Krystalflex PE399	\$	2,000	\$	0,64
Solvente RyL	\$	3,725	\$	1.19
Dióxido de titanio	\$	14,000	\$	4.46
Caolín	\$	400	\$	0.13
Carbonato de calcio	\$	260	\$	0.08
Tripolifosfato de sodio	\$	4,400	\$	1.40
Total	\$	24,785	\$	7.89

* Cambio al 8 de noviembre de 2019: COP\$3.141,30/US\$1.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Costo de materia prima para un galón de pintura.

Descripción	Porcentaje	Cantidad (Kg)	P/total COP	P/total US
Residuo Krystalflex PE399	13.32%	0.1332	\$ 266.40	\$ 0.08
Solvente RyL	65.00%	0.65	\$ 2,421.25	\$ 0.77
Dióxido de titanio	10.30%	0.103	\$ 1,442.00	\$ 0.46
Caolín calcinado	1.27%	0.0127	\$ 5.08	\$ 0.002
Carbonato de calcio	10.00%	0.1	\$ 26.00	\$ 0.01
Tripolifosfato de sodio	0.11%	0.001	\$ 4.40	\$ 0.001
Total	100%	1	\$ 4,165.13	\$ 1.33

* Cambio al 8 de noviembre de 2019: COP\$3.141,30/US\$1.00

Fuente: elaboración propia

El peso por galón es de 4.073 Kg

$$\text{Peso por galón} = 1.076 \frac{\text{Kg}}{\text{L}} * 3.785 \frac{\text{L}}{\text{gal}} = 4.073 \frac{\text{Kg}}{\text{gal}}$$

Considerando los datos obtenidos el costo de la materia prima en el mercado local, con la tabla 37, se calculó el costo total de \$4,165.13 para producir 1 kilogramo de pintura y \$16,964.57 para producir un galón de pintura.

Para operar la planta 21 días y producir 1076 Kg de pintura se necesita \$4'481,540.

- Costos de energía eléctrica

Debido al uso de equipos eléctricos se debe hacer un estimativo para el consumo de energía eléctrica de la planta piloto, con el fin de generar un costo variable según la producción aproximada.

1. El agitador 1 mantiene su agitación durante la primera parte del proceso y este necesita 1.1 kW. Por lo tanto, para ocho horas de producción su consumo es de 8.8 kWh.

Tabla 38. Consumo energético del Agitador 1.

Consumo energético	Costo COP	Costo en horas por día COP	Costo por 21 días COP
8.8 kWh	\$ 503.33 kWh	\$ 4429.304	\$ 93,015.384

Fuente: elaboración propia

2. El agitador 2 inicia su agitación durante la segunda parte del proceso y necesita 2 kW. Por lo tanto, para cuatro horas de producción su consumo es de 8 kWh.

Tabla 39. Consumo energético del Agitador 2.

Consumo energético	Costo COP	Costo en horas por día COP	Costo por 21 días COP
8 kWh	\$ 503.33 kWh	\$ 4,026.64	\$ 84,559.44

Fuente: elaboración propia

En la tabla 40, se observa un resumen del costo de 21 días de los agitadores.

Tabla 40. Costos energéticos de producción mensual.

Equipo	Costo mensual por 21 días COP
Agitador 1	\$ 93,015.384
Agitador 2	\$ 84,559.44
Total	\$ 101,471.33

Fuente: elaboración propia

Se determinó que para poner en marcha la producción de la planta piloto era necesario contratar un operario para ejecutar las labores de carga, accionamiento,

control y diversas funciones que se necesitan en el proceso, para esto en la tabla 41, se calcula el costo fijo mensual de un operario según el salario mínimo mensual legal vigente, con un nivel de riesgo 4 debido a un proceso industrial con reactivos químicos, para la empresa se genera un total a pagar de \$ 1'366,870.

Tabla 41. Pagos a cargo del empleador mensual.

	Salario Básico	\$	781,242
	Auxilio de transporte	\$	88,211
	Clase de Riesgo ARL		4
	SALUD (8,5%)	\$	66,406
	PENSION (12%)	\$	93,749
PAGOS AL ESTADO	SENA	\$	15,625
	ICBF	\$	23,437
	CCF	\$	31,250
	ARL	\$	33,984
PAGOS A CARGO DEL TRABAJADOR	Salud (4%)	\$	31,250
	Pensión (4%)	\$	31,250
PAGOS A CARGO DEL EMPLEADOR	FSP	\$	-
	CESANTÍAS (8,33%)	\$	65,077
	INTERES DE CESANTÍAS (1%)	\$	7,812
	PRIMA DE SERVICIOS (8,33%)	\$	65,077
	VACACIONES (4,16%)	\$	32,500
	TOTAL A PAGAR	\$	1'366,870 COP

Fuente: elaboración propia

Adicional se realiza un presupuesto de \$ 405,600 para los insumos, ya que cada etiqueta adhesiva tiene el valor de \$800 y cada caneca de 5 galones \$7,000.

Tabla 42. Costos mensuales de producción.

Actividad	Costo mensual (21 días) (COP)	
Mano de obra	\$	1'366,870
Compra de materia prima	\$	4'482,528.4
Consumo de energía eléctrica	\$	101,471.33
Insumos	\$	405,600
Total	\$	6'356,470

Fuente: elaboración propia

Gracias a estos cálculos, en la tabla 42 se pudo determinar el costo para operar la planta piloto, de \$6'356,470 para la fabricación de la pintura mensual.

Para concluir la inversión total se suman los anteriores conceptos dando como resultado \$28'868,470.

$$\text{Inversión: } \$9'400,000 + \$13'112,000 + \$6'356,470 = \$28'868,470 \text{ COP}$$

5.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los gastos necesarios para mantener en funcionamiento el proceso de producción de la pintura se derivan de la materia prima, consumo energético, insumos y mano de obra. Estos aspectos se evaluaron anteriormente con el fin de determinar el capital de trabajo para cubrir el primer mes de producción. Necesitando \$6'356,470 para la fabricación de la pintura mensual, base de cálculo para los egresos mensuales de la empresa. Referentes a la tabla 42.

5.3 INGRESOS

Los ingresos suponen las ventas realizadas por la empresa por medio de la comercialización de la pintura, proponiendo un 30% de utilidad sobre el costo de producción, para este caso se ha fijado vender mensualmente 52 canecas de pintura, con base a los costos de producción mencionados se presume el 30% como ingreso por ventas. Adicionalmente se aclara para fines prácticos que los precios del producto van a ser constantes a lo largo del tiempo.

$$\begin{aligned} \text{Ingresos mensuales por ventas} &= \$6'356,470 * 30\% + \$6'356,470 \\ &= \$8'263,411 \text{ COP} \end{aligned}$$

Obtenido un valor de \$8'263,411 COP como ingresos mensuales.

5.4 FINANCIACIÓN

Con el fin de proponer el proyecto de una forma económicamente viable para la empresa se toma en cuenta el valor de la inversión obtenido \$28'868,470 y se descuenta \$12'740,000 de gastos por el estudio de ingeniería y desarrollo experimental del proyecto, para un total de \$16'128,470, de este monto la empresa asume \$128,470 y el valor restante se obtiene mediante un préstamo bancario.

Monto del préstamo: \$16'000,000 COP

Plazo: 1 año

Interés efectivo anual: 10%

Interés efectivo mensual: 0.797%

Cuota fija: \$ 1'403,411.79 COP

Ecuación 22. Ecuación para calcular cuotas fijas

$$C = \frac{P(1 + I)^n * I}{(1 + I)^n - 1}$$

$$C = \frac{\$ 16'000,000 * (1 + 0.797\%)^{12} * 0.797\%}{(1 + 0.797\%)^{12} - 1} = \$ 1'403,411.79$$

Tabla 43. Tabla de amortización del préstamo.

Periodos	Saldo inicial	Interés	Cuota fija	Abono a capital	Saldo Final
0					\$16,000,000.00
1	\$16,000,000.00	\$127,520.00	\$1,403,411.79	\$1,275,891.79	\$14,724,108.21
2	\$14,724,108.21	\$117,351.14	\$1,403,411.79	\$1,286,060.65	\$13,438,047.56
3	\$13,438,047.56	\$107,101.24	\$1,403,411.79	\$1,296,310.55	\$12,141,737.01
4	\$12,141,737.01	\$96,769.64	\$1,403,411.79	\$1,306,642.15	\$10,835,094.87
5	\$10,835,094.87	\$86,355.71	\$1,403,411.79	\$1,317,056.08	\$9,518,038.78
6	\$9,518,038.78	\$75,858.77	\$1,403,411.79	\$1,327,553.02	\$8,190,485.76
7	\$8,190,485.76	\$65,278.17	\$1,403,411.79	\$1,338,133.62	\$6,852,352.15
8	\$6,852,352.15	\$54,613.25	\$1,403,411.79	\$1,348,798.54	\$5,503,553.60
9	\$5,503,553.60	\$43,863.32	\$1,403,411.79	\$1,359,548.47	\$4,144,005.14
10	\$4,144,005.14	\$33,027.72	\$1,403,411.79	\$1,370,384.07	\$2,773,621.07
11	\$2,773,621.07	\$22,105.76	\$1,403,411.79	\$1,381,306.03	\$1,392,315.04
12	\$1,392,315.04	\$11,096.75	\$1,403,411.79	\$1,392,315.04	\$0.00

Elaboración: fuente propia

Pagando un valor total de \$16,840,941.47 COP y un total de \$840,941.47 COP de intereses.

5.5 FLUJO DE EFECTIVO

Para determinar el flujo de efectivo se tuvieron en cuenta 5 años de operación y proyectar los ingresos y egresos a valores anuales.

$$\text{Costos anuales de producción} = \frac{\$6'356,470}{\text{mes}} * 12 \text{ meses} = \$ 76'277,640$$

$$\text{Ingresos anuales} = \frac{\$8'263,411}{\text{mes}} * 12 \text{ meses} = \$ 99'160,932$$

Depreciación lineal de 10 de años de vida útil

$$\text{Depreciación} = \frac{\$ 8'900,000}{10 \text{ años}} = \$890,000 \text{ por año}$$

Figura 57. Flujo de caja del proyecto.

Flujo de caja proyecto

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	\$ -	\$ 99,160,932	\$ 99,160,932	\$ 99,160,932	\$ 99,160,932	\$ 99,160,932
Egresos	\$ -	\$ 76,277,640	\$ 76,277,640	\$ 76,277,640	\$ 76,277,640	\$ 76,277,640
Depreciación	\$ -	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000
UTILIDAD BRUTA	\$ -	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292
Intereses	\$ -	\$ 840,941				
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ -	\$ 21,152,351	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292	\$ 21,993,292
Impuestos (I.V.A.)	\$ -	\$ 4,018,946.60	\$ 4,178,725.48	\$ 4,178,725.48	\$ 4,178,725.48	\$ 4,178,725.48
UTILIDAD DESPUÉS DE IMPUESTOS	\$ -	\$ 17,133,404	\$ 17,814,567	\$ 17,814,567	\$ 17,814,567	\$ 17,814,567
Inversión	\$ 16,128,470	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización	\$ -	\$ 16,840,941	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación	\$ -	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000	\$ 890,000
FLUJO DE CAJA	-\$ 16,128,470	\$ 1,182,462	\$ 18,704,567	\$ 18,704,567	\$ 18,704,567	\$ 18,704,567

Fuente: elaboración propia.

5.6 EVALUACIÓN DE INDICADORES ECONÓMICOS

Para realizar un proyecto y evaluar si es factible su inversión es necesario conocer algunos indicadores económicos que son de suma importancia para el momento de tomar decisiones empresariales como es en este caso, la empresa RyL Industrias S.A.S. está interesada en conocer las relaciones económicas del proyecto que son necesarias para que se apruebe o cancele el proyecto de inversión. Por tal motivo se calculan los indicadores económicos como valor presente neto, tasa interna de retorno y relación beneficio/costo.

5.6.1 Determinación de la Tasa Interna de Oportunidad. La TIO se utiliza para descontar los flujos de caja futuros al momento de valorar un proyecto de inversión, esta tasa se obtiene de forma anual en un porcentaje que involucra los conceptos de DTF, inflación y la tasa exigida por el inversionista.

Según el banco de la república para el día 21/11/18 la tasa de interés de los certificados de depósito a término 90 días (DTF) se encuentra a 4.47% efectivo anual. ANEXO E.

El índice de precios del consumidor o mencionado anteriormente como inflación se hace mensualmente en el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y este genera tanto un reporte mensual y anual, en lo corrido del año 2017 la inflación fue del 4.09%, tasa anual.

La tasa exigida por el inversionista es del 30%

Ecuación 23. Ecuación de la TIO.

$$TIO = (((1 + DTF) * (1 + IPC) * (1 + Tasa exigida por el inversionista)) - 1)$$

$$TIO = (((1 + 0.0447) * (1 + 0.0409) * (1 + 0.3)) - 1) * 100\% = 12\%$$

5.6.2 Determinación del valor presente neto. El valor presente neto de un proyecto es el valor presente de los ingresos actuales y futuros menos el valor presente de los costes actuales y futuros⁵¹. Para calcularlo utilizamos la TIO para valorar el proyecto de inversión mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 24. Ecuación para calcular valor presente neto.

$$VPN = -F_o + \frac{FC_1}{(1 + TIO)^1} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TIO)^n}$$

- Valor presente neto del proyecto

$$VPN = -\$ 16'128,470 + \frac{\$ 1'182,462}{(1 + 0.12)^1} + \frac{\$ 18'704,567}{(1 + 0.12)^2} + \frac{\$ 18'704,567}{(1 + 0.12)^3} + \frac{\$ 18'704,567}{(1 + 0.12)^4} + \frac{\$ 18'704,567}{(1 + 0.12)^5}$$

$$VPN = \$ 35'652,570.5$$

Debido a que el Valor presente neto es positivo para los 5 años de operación del proyecto se tiene una buena apreciación para su realización, cumpliendo con el objetivo financiero maximizando la inversión.

5.6.3 Determinación tasa interna de retorno. Este criterio, también toma en consideración el valor del dinero a través del tiempo, por lo que se basa en la utilización de flujos de efectivo descontados.

Definición de la TIR o Tasa Interna de Retorno:

1. Según Brealey & Myers, la TIR, es el tipo de descuento al cual el VAN de un proyecto, sería igual a 0⁵².

⁵¹ KRUGMAN, Paul; WELLS, Robin. Introducción a la economía: microeconomía. Editorial Reverté. 2006, Barcelona.

⁵² Principios de Finanzas Corporativas. Richard Brealey & Stewart Myers. McGraw Hill. 2ª Ed. España, 1990.

2. Según el Lic. Guillermo Hernández Chárraga, la TIR, es la máxima tasa de interés que puede pagarse a que gana el capital no amortizado en un período de tiempo y que conlleva a la recuperación o consumo del capital⁵³.

El criterio TIR, refleja el rendimiento de los fondos invertidos y supone, que su cálculo va al encuentro de una tasa de interés mediante tanteos o aproximaciones⁵⁴.

Ecuación 25. Ecuación para la TIR.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0$$

TIR = 64%

Obtenemos una tasa interna de retorno alta para el inversionista, útil como criterio para tomar una decisión de inversión, teniendo una rentabilidad mayor que sin proyecto.

5.6.4 Determinación de relación beneficio/costo. Este índice se expresa como el Valor Actual de las entradas de caja previstas en el futuro, dividido entre la inversión inicial.

La fórmula sería la siguiente:

Ecuación 26. Ecuación para relación beneficio/costo.

$$\text{Relación B/C} = \frac{VPI}{VPC}$$

Donde:

Relación B/C: Relación Beneficio / Costo.

VPI: Valor presente de los ingresos.

VPC: Valor presente de los costos.

En el cálculo de este indicador hay que tener en cuenta los diferentes resultados como:

B/C >1 = VAN positivo, por tanto, se puede invertir.

⁵³ Evaluación de Proyectos de Inversión. Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión. Nafin-OEA. Ed. Nafin, México, 1996.

⁵⁴ UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. Evaluación financiera. [en línea] <<http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/jbm/5.pdf>> [citado el 13 de noviembre del 2018]

B/C = 1 = VAN igual a cero (0), por tanto, los Costos = Beneficios.
 B/C < 1 = VAN negativo, por lo que se rechaza el proyecto⁵⁵.

Tabla 44. Datos financieros para cálculo de relación beneficio/costo.

Suma de ingresos presentes netos		Suma de costos presentes r	
\$	51'781,040.5	\$	16'128,470

Fuente: elaboración propia

$$IR = \frac{\$ 51'781,040.5}{\$ 16'128,470} = 3.21$$

Al obtener una relación beneficio/costo mayor a uno da lugar a un criterio positivo a tener en cuenta al momento de optar por invertir en el proyecto.

5.6.5 Análisis de la viabilidad financiera del proyecto para la empresa. Al obtener los resultados de los indicadores económicos en los anteriores numerales se puede tener un criterio sólido al momento de tomar una decisión empresarial, estos datos fueron calculados con ventas a precios constantes e iguales durante los 5 años previstos en los flujos de caja del proyecto, para cada uno de los indicadores obtenemos un resultado positivo, tanto un valor presente neto, tasa interna de retorno y relación beneficio/costo. Por lo que nos permite ver que el proyecto es viable económicamente teniendo un crecimiento la utilidad para la empresa, favorable para su patrimonio, los indicadores evaluados permiten a demás evaluar objetivamente el proyecto y permitir una adecuada toma de decisiones. En la determinación de viabilidad financiera se encontró que si existe suficiente dinero para financiar los gastos e inversiones, que implica la puesta en marcha y operación del proyecto. También se determinó que este proyecto dará rentabilidad alta además tendrá un riesgo razonable Se analizo con financiamiento, ya que en la realidad no es fácil conseguir los recursos financieros para empezar en proyecto sino se cuenta con garantías como prendas sobre vehículos, hipotecas entre otros. En este capítulo se determinó que la empresa puede acceder al proyecto y así mismo financiera todas las etapas de este.

⁵⁵ Sosa, Flores, Miguel (ed), et al. Fundamentos teórico-metodológicos para la evaluación económico-financiera de proyectos de inversión, El Cid Editor, 2007.

6. CONCLUSIONES

- Los resultados sugieren que el tipo de residuo utilizado para la elaboración de la pintura, determinaran en mucho las características finales de esta. Según los datos de la técnica de caracterización FTIR se obtuvo una similitud del 73% con respecto a un poliuretano puro. Con la caracterización se lograron obtener resultados cualitativos, de los cuales se compararon sus picos más representativos con otros espectros, reafirmando que el componente principal en la muestra es el poliuretano y podría llegar a tener una terminación epóxica. La ventaja de tener este residuo con dicha composición para la fabricación de la pintura, reside en su capacidad para proteger la superficie sobre la cual es aplicada de ataques corrosivos, mejor adherencia, alta dureza y resistencia a la humedad con alta durabilidad. Por otro lado, la reincorporación del residuo ayuda al medio ambiente, ya que disminuye la contaminación generada por este polímero.
- Durante la elección del solvente, solo 3 de los 8 que fueron utilizados diluyeron el residuo, debido a que este no es poliuretano puro, sino que contiene otros compuestos los cuales variarían la solubilidad del residuo. Luego de esto se determinó que es necesario agitar el solvente con el residuo para lograr una mezcla homogénea, de igual forma se determinó el tiempo de dilución del agitador 1, mediante una prueba piloto de 5 galones, la cual se realizó en las instalaciones de la empresa RyL Industrias S.A.S., determinando un tiempo aproximado de 8 horas; y para el agitador 2 la velocidad de agitación se determinó teóricamente. Posteriormente se determinó la fórmula final de la pintura mediante un diseño de experimentos evaluando la presencia de cargas y pigmentos, además variando las cantidades de cada una, logrando una viscosidad mayor, por esta razón se disminuyó el porcentaje de carbonato de calcio, ajustando la fórmula siempre con respecto a la viscosidad; por otro lado, se omitieron compuestos ya que el residuo en su composición los aportaba, y no eran fundamentales para la producción de la pintura.
- Se desarrolló y se presentó el diagrama PFD junto con las especificaciones de cada equipo, para el diseño de una planta piloto de pintura la cual producirá 1076 Kg durante 21 días. El diseño abarca agitadores y válvulas para realizar todo el proceso de dilución y dispersión de cargas, se realizaron los cálculos necesarios para determinar el balance de materia en la planta piloto cuando está en funcionamiento, teniendo en cuenta pérdidas y acumulaciones. Adicional en el diseño de la planta piloto se realizó un estimado de costos operativos, los cuales representan la viabilidad del proyecto, y se da una recomendación para las especificaciones de los equipos que se deben utilizar para la ejecución de éste de acuerdo a los criterios de la investigación. Estos equipos son de fácil construcción y con el fin de minimizar los costos se

buscaron los equipos necesarios para hacer posible el montaje en la empresa RyL de una planta piloto para productor pintura.

- La evaluación financiera del proyecto, ofrece indicadores financieros de fácil interpretación, como el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo, estos indicadores ayudaron a tomar decisiones sobre si el proyecto era viable o no para la empresa. Como se observó en el capítulo 5, el proyecto obtuvo un VPN positivo, de \$ 35'652,570 pesos colombianos, con lo cual la empresa tendrá un incremento de flujo de caja, se evaluó la TIR obteniendo un 64%, esta tasa interna de retorno refleja un proyecto altamente viable para el inversionista. Cabe mencionar que esta tasa se mantenía si se cumplen las condiciones planteadas en el flujo de caja propuesto. Con respecto a la relación beneficio costo se observa un valor positivo, el cual indica que al fabricar y comercializar la pintura industrias RyL, esta tendrá mayores ganancias con respecto a los costos y de esta manera se podrá recuperar el capital invertido en infraestructura y materias primas.

7. RECOMENDACIONES

- Se realizó la caracterización mediante FTIR en la cual se obtuvo un resultado cualitativo, se recomienda realizar una caracterización más a fondo para obtener resultados cuantitativos y de esta manera tener con más precisión los elementos que componen el residuo.
- Realizar más pruebas experimentales para determinar que otros solventes pueden diluir la muestra para reducir el costo de la pintura, teniendo en cuenta que los tiempos de dilución sean iguales o inferiores a los hallados, y que tengan una menor evaporación.
- Realizar pruebas con aditivos para permitir el mejoramiento de la calidad del producto como durabilidad y detalles al momento de su aplicación.
- Desarrollar la propuesta a nivel piloto para evaluar su rendimiento y comparación con los mismos.
- Generar los valores para cada una de las pruebas de calidad realizadas a la pintura, para desarrollar un proceso más estandarizado y obtener una pintura de mejor calidad.
- Estudiar más aplicaciones tanto para la base de la pintura como para la pintura.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS, standard test method for volatile content of coating. Estados Unidos: ASTM International: 2015. 5h. II. (ASTM D2369-10). Consultado el 12 de noviembre del 2018.

_____, standard test method for drying, curing, or film formation of organic coatings at room temperature. Estados Unidos: ASTM International: 2003. 3h. II. (ASTM D1640-03). Consultado el 12 de noviembre del 2018.

_____, standard test method for practical washability of organic coatings. Estados Unidos: ASTM International: 1994. 4h. II. (ASTM D4828-94). Consultado el 12 de noviembre del 2018.

_____, standard test method for testing water resistance of coatings using water immersion. Estados Unidos: ASTM International: 2015. 3h. II. (ASTM D870-15). Consultado el 12 de noviembre del 2018.

_____, standard test method for measuring adhesion by tape test. Estados Unidos: ASTM International: 2009. 8h. II. (ASTM D3359-09). Consultado el 12 de noviembre del 2018.

BBC MUNDO. Cinco gráficos para entender que el plástico es una amenaza para nuestro planeta [en línea]. <http://www.bbc.com/mundo/noticias42304901>>. citado el 7 de septiembre del 2018

BREALEY, Richard. Principios de Finanzas Corporativas. 2ª Ed. España: Mac Graw Hill ,1990. ISBN 978-970-10-7283-7. pág. 116. Citado el 23 de noviembre del 2018.

BRETON, Angela. Secuenciación de proteínas por espectrometría de masas. Instituto de Biotecnología, UNAM. México. 2004. pág. 56. Citado el 26 de septiembre del 2018.

CALVO, Carbonell. Pinturas y recubrimientos: introducción a su tecnología, Ediciones Díaz de Santos, 2009. ISBN 9788479788834. Citado el 1 de noviembre del 2018.

CAMPOS, Irene. Saneamiento ambiental, Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica: 2003. ISBN 9968-31-069-7. Citado el 20 de noviembre del 2018.

CORNISH, María Lucia. El ABC de los plásticos. México: Universidad Ibero Americana . Mexico: 1997. ISBN 9688592838. Citado el 4 de noviembre del 2018.

Evaluación de Proyectos de Inversión. Diplomado en el Ciclo de Vida de los Proyectos de Inversión. Nafin-OEA. Ed. Nafin, México, 1996. Citado el 28 de noviembre del 2018.

FIGUERAS, Eva. Manipulación segura de productos químicos en grabado. Barcelona.Universidad de Barcelona, 2008. ISBN 978-84-475-3305-3. Citado el 14 de noviembre del 2018.

GIUDICE, Carlos. Control de calidad de películas de pinturas En línea. <https://www.researchgate.net/publication/266369454>. Citado el 5 de noviembre del 2018.

GUTIERREZ, Bouzan. La cromatografía de exclusión: análisis de la distribución de pesos moleculares en siliconas por GPC. En línea. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/13132/LA%20CROMATOGRFIA%20DE%20EXCLUSI%20N,%20AN%20LISIS%20DE%20LA%20DISTRIBUCI%20N%20DE%20PESOS.pdf>. Citado el 07 de diciembre de 2018.

HUNTSMAN INTERNATIONAL. Ficha técnica krystalflex pe399.En línea. <https://goo.gl/xixrAB>. Citado el 20 de octubre de 2018.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

_____. Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano: Criterios ambientales para pinturas y materiales de recubrimiento. Bogotá: ICONTEC, 2013. 24p: il. (NTC 6018).

_____. Pinturas al agua tipo emulsión. Bogotá: ICONTEC, 2015. 15p: il. (NTC 1335).

MARTINEZ, Ciro. Control de calidad en la industria del caucho. En línea. <https://docplayer.es/93371028-Sumario-control-de-calidad-en-la-industria-del-caucho-ciro-martinez-desarrollo-tecnologico-25.html>. Citado el 8 de octubre de 2018

PINTO MI CASA. Propiedades específicas de las pinturas. En línea. <https://www.pintomicasa.com/2013/03/propiedades-especificas-de-las-pinturas.html>. Citado en 07 de noviembre de 2017

POLYMER SCIENCE LANGUAGE CENTER. Mechanical properties of polymers. En línea. <http://www.pslc.ws/spanish/mech.htm>. Citado el 07 de diciembre de 2017

REGHUNADHAN, Arunima. Polyurethanes: Structure, Properties, Synthesis, Characterization and applications. En: Polyurethane Polymers Blends and Interpenetrating Polymer Networks. Vol 1. Ch 1. Citado el 01 de septiembre del 2017

ROMERO, Roberto. Empleo de la espectrometría de masas como herramienta para la determinación de tóxicos en alimentos: hacia la seguridad alimentaria. Revista Español de salud pública. España. 2007. Citado el 14 de noviembre del 2018

RODRIGUEZ, Ferdinand. Plastic, Chemical compound. En línea. <https://www.britannica.com/science/plastic>. Citado el 07 de diciembre del 2018

SCHWEIGGER, Enrique. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Ediciones Diaz de santos. España: 2005. ISBN 84-7978-707-4. Citado el 4 de septiembre del 2018

SHEN, Yiding. Polymer-plastics technology and engineering. China.

SERRETA, P. Soportes Celulósicos. En: Universidad Nacional de Litoral. N° 1. (2009). 106 p. Citado el 23 de noviembre del 2018

SOSA, Miguel. Fundamentos teórico-metodológicos para la evaluación económico-financiera de proyectos de inversión. España: El Cid Editor, 2007.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. Evaluación financiera. En línea. <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/jbm/5.pdf>. Citado el 3 de agosto de 2018

WEININGER, Stephen. Química Orgánica. Barcelona: Editorial Reverté S.A., 1988. ISBN 84-291-7527-X. Citado el 3 de septiembre del 2018

YSACURA, Marlenys. Polímeros y biomoléculas. Cordoba. 2009. 98 p. Citado el 3 de octubre del 2018.

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TÉCNICA DEL KRYSTALFLEX



PRODUCT DATA

KRYSTALFLEX® PE399
Thermoplastic Polyurethane Film

INTRODUCTION

KRYSTALFLEX® PE399 is a high performance aliphatic polyether film intended for processing by lamination with a range of glass and plastic components.

KRYSTALFLEX® PE399 is part of the HUNTSMAN film and sheet product range for glass, polycarbonate, acrylic, CAB lamination applications. It is used in aerospace, transportation, security, and architectural markets.

PERFORMANCE FEATURES

- Excellent laminated transparency
- Excellent hydrolysis & microbial resistance
- Good low temperature flexibility
- Enhanced UV stability
- Medium durometer
- Contains adhesion promoter
- Medium modulus
- Excellent cold impact

APPLICATIONS

- Prison containment glazing
- Ballistic / Blast / Intrusion
- Vehicle armoring
- Retail kiosks
- Hurricane / Vandal glazing
- Zoos
- Liquid crystal laminates
- Computer screens

Table 1: Typical Physical Properties

Property	Key	DIN	Unit	Value	ASTM	Unit	Value
Hardness	M	53505	Shore A	80	D-2240	Shore A	80
Tensile Strength	E	53504	MPa	45	D-412	psi	6500
Elongation @ break	E	53504	%	500	D-412	%	500
100% Modulus	E	53504	MPa	2	D-412	psi	300
300% Modulus	E	53504	MPa	7	D-412	psi	1000
Tear Resistance	E	53515	N/mm	37	D-624	pli	210
Specific Gravity	E	53478		1.07	D-792		1.07
Softening Range Low	E	Huntsman TMA	°C	80	Huntsman TMA	°F	175
Softening Range High	E	Huntsman TMA	°C	140	Huntsman TMA	°F	285
Midpoint Tg by DSC	E	Huntsman DSC	°C	-36	D-3418	°F	-33

E = 0.050" extruded film cut to ASTM requirements

M = Injection moulded parts to meet DIN & ASTM requirements

ASTM measurements were tested at 20 in/min.

DIN measurements were tested at 500 mm/min.

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation



PRODUCT DATA

**KRYSTALFLEX® PE399
Thermoplastic Polyurethane Film**

POLYMER SELECTION

Before selecting this product it is necessary that the user ensures the product performance will meet all operational and end use requirements. Having satisfied these requirements, should changes be contemplated in method of application, materials, service conditions or any other change that could affect the ultimate performance of the end product, then further tests and trials should be carried out. For assistance with particular problems and applications, please contact the HUNTSMAN TPU Technical Service Department listed below.

HEALTH & SAFETY ADVICE

Before undertaking any trials with this product it is essential that all personnel are aware of the necessary precautions that must be taken. These are detailed in the relevant Material Safety Data Sheet, which will be provided by HUNTSMAN.

SUPPLY & STORAGE

KRYSTALFLEX® PE399 is supplied in the form of film with interlayer in cardboard boxes. Rolls on pallets must be stacked and aligned properly so the rolls remain suspended in the box.

KRYSTALFLEX® PE399 has a minimum expected shelf life of 12 months from the date of shipment when stored in a cool and dry place in the manufacturer's original packaging.

PHYSICAL FORM

Type: Film

The address of your nearest technical centre is:

USA
Huntsman
52 Kendall Pond Road
Derry, NH 03038 USA
Tel: +1 603 421 3500
Fax: +1 603 421 3510

EUROPE
Huntsman
Hafenringstrasse 1
49090 Osnabrück Germany
Tel: +49 541 9141 360
Fax: +49 541 9141 395

ASIA
Huntsman
Room 1708-9, Olympia Plaza
243-255 King's Road, North Point, Hong Kong
Tel: +852 2722 1111
Fax: +852 2366 0388

Web: www.huntsman.com

While the information and recommendations in this publication are, to the best of our knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, NOTHING HEREIN IS TO BE CONSTRUED AS A WARRANTY, EXPRESS OR OTHERWISE. IN ALL CASES, IT IS THE RESPONSIBILITY OF THE USER TO DETERMINE THE APPLICABILITY OF SUCH INFORMATION AND RECOMMENDATIONS AND THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS OWN PARTICULAR PURPOSE. NOTHING IN THIS PUBLICATION IS TO BE CONSTRUED AS RECOMMENDING THE INFINGEMENT OF ANY PATENT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT, AND NO LIABILITY ARISING FROM ANY SUCH INFINGEMENT IS ASSUMED. NOTHING IN THIS PUBLICATION IS TO BE VIEWED AS A LICENSE UNDER ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT. Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of Huntsman International LLC or of its affiliated companies. Huntsman Polyurethanes is an international business unit of Huntsman International LLC. Huntsman Polyurethanes trades through Huntsman affiliated companies in different countries such as Huntsman International LLC in the USA and Huntsman Holland BV in Western Europe.

KRYSTALFLEX® is a registered trademark of Huntsman International LLC in one or more countries, but not all countries.
Copyright © Huntsman International LLC 2003. All rights reserved.



Enriching lives through innovation

ANEXO B.
CONVERSIÓN VISCOSÍMETRO BROOKFIELD.

Serie RV													
1		2		3		4		5		6		7	
0.5	200	0.5	800	0.5	2000	0.5	4000	0.5	8000	0.5	20000	0.5	80000
1	100	1	400	1	1000	1	2000	1	4000	1	10000	1	40000
2	50	2	200	2	500	2	1000	2	2000	2	5000	2	20000
2.5	40	2.5	160	2.5	400	2.5	800	2.5	1600	2.5	4000	2.5	16000
4	25	4	100	4	250	4	500	4	1000	4	2500	4	10000
5	20	5	80	5	200	5	400	5	800	5	2000	5	8000
10	10	10	40	10	100	10	200	10	400	10	1000	10	4000
20	5	20	20	20	50	20	100	20	200	20	500	20	2000
50	2	50	8	50	20	50	40	50	80	50	200	50	800
100	1	100	4	100	10	100	20	100	40	100	100	100	400

	Factor de conversión
	Velocidad
	Número de aguja

**ANEXO D.
GASTOS ESTUDIO DE INGENIERÍA.**

OBJETIVO	ACTIVIDADES	DESCRIPCION	UNIDADES DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (COP)	valor total (COP)	TOTAL RECURSOS
1. Caracterizar los componentes de residuo KRYSTALFLEX PE399	1.1. Realizar ensayo de composición química por medio de la técnica FTIR	Estudiantes	Horas de trabajo	10	\$ 12,000	\$ 120,000	\$ 575,000
		Análisis de laboratorio	Unitario	1	\$ 240,000	\$ 240,000	
		Equipos	Horas de uso	50	\$ 3,000	\$ 150,000	
		Viáticos	Transportes	10	\$ 5,000	\$ 50,000	
		Materia Prima	Gramos	50	\$ 300	\$ 15,000	
		TOTAL					
2. Obtener el recubrimiento de acuerdo a un desarrollo experimental	2.1. Realizar el diseño de experimentos factorial modificando condiciones de dilución 2.2. Determinar la formulación del recubrimiento	Estudiantes	Horas	500	\$ 12,000	\$ 6,000,000	\$ 10,850,000
		viáticos	transportes	140	\$ 5,000	\$ 700,000	
		Laboratorio y equipos	Horas de uso	400	\$ 10,000	\$ 4,000,000	
		Materias primas	Global	1	\$ 150,000	\$ 150,000	
		TOTAL					
3. Determinar las especificaciones de proceso para una planta piloto.	3.1. Seleccionar los equipos 3.2. Realizar balance de materia global. 3.3. Diseñar diagrama PFD	Estudiantes	Horas	50	\$ 12,000	\$ 600,000	\$ 815,000
		viáticos	transportes	15	\$ 5,000	\$ 75,000	
		Equipos (computador)	Horas de uso	45	\$ 3,000	\$ 135,000	
		Papelaría	Global	1	\$ 5,000	\$ 5,000	
		TOTAL					
4. Determinar la viabilidad financiera del proceso	4.1 realizar un flujo de caja libre para la empresa R&L con proyecto y sin proyecto 4.2. evaluar los indicadores económicos con proyecto y sin proyecto 4.3. Analizar viabilidad financiera del proyecto para la empresa.	Estudiantes	Horas	30	\$ 12,000	\$ 360,000	\$ 500,000
		viáticos	transportes	10	\$ 5,000	\$ 50,000	
		Papelaría	global	1	\$ 15,000	\$ 15,000	
		Equipos (computador)	Horas de uso	25	\$ 3,000	\$ 75,000	
		TOTAL					
Total \$COP							\$ 12,740,000

ANEXO E. TASA DTF AL DÍA 21 DE NOVIEMBRE DEL 2018.

Tasas de captación semanales: DTF, CDT 180 días, CDT 360 días y TCC

1.1.2.1.2. Últimos datos cargados al sistema periodicidad semanal



Información disponible en este reporte para la última semana cargada al sistema.

Tanto las columnas como las filas de la(s) tabla(s) de datos de los reportes pueden ser ordenadas haciendo "click" sobre los iconos ◀▶▲▼ en el encabezado de las mismas.

Semana del (dd/mm/aaaa) 19/11/2018 al (dd/mm/aaaa) 25/11/2018

Descripción tasa de interés	Tasa de interés - efectiva anual
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 90 días (DTF)	4,47%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 180 días (CDT180)	4,69%
Tasa de interés de los certificados de depósito a término 360 días (CDT360)	5,12%
Tasa de interés de las corporaciones financieras (TCC)	4,00%

Fuente: cálculos Banco de la República con información proveniente de la Superintendencia Financiera (<http://www.superfinanciera.gov.co/>).

Banco de la República - Gerencia Técnica - información extraída de la bodega de datos -Serankua- el 21/11/2018 10:52:43

ANEXO F.
INFORME DE ENSAYO UNIVERSIDAD NACIONAL, PRUEBAS DE CALIDAD.

Laboratorio de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Sede Bogotá



INFORME DE ENSAYO
Código: FA008001 Versión: 01
Vigencia: 18/07/2012 Página 1 de 3

Consecutivo No. 062 – 2018
Fecha 2018-12-10

Empresa	R&L Industrias S.A.S		
Nombre	Ing. Carolina Rodríguez Pabón		
Dirección	Carrera 21 # 42 – 55 Sur	Teléfono	7605109
Correo electrónico	Carolina.rodriguez3@estudiantes.uamerica.edu.co		

Ensayos	Sólidos totales Resistencia al agua Resistencia al alcalí Lavabilidad
Orden de trabajo	LQUI-062-2018

Muestra	
Consecutivo	LQUI-062-2018
Fecha de recepción	26-11-2018
Cantidad	1 muestra

Ejecución del ensayo	
Fecha inicio	26-11-2018
Fecha fin	07-12-2018

1. MÉTODO DE ENSAYO

Preparación de las muestras	Ninguna
Normas o especificación aplicable	Las que se consignan en las tablas de resultados de la sección 4.1
Desviación adiciones o exclusiones de la norma o especificación	Ninguna

2. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Muestra No.	Descripción	Observaciones iniciales
062A	R&L PL9565	En los ensayos que requirieron aplicación de película sobre un sustrato, se observaron puntos o gránulos, aparentemente por falta de molienda del pigmento o de la carga usados en la formulación.

NOTA: Los resultados presentados a continuación corresponden a las muestras entregadas al laboratorio por el cliente.

Carrera 30 No. 45-03, LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA,
Edificio 412, Oficina 212
Teléfono: (57-1) 316 5672 Fax: 316 5617 Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 14301 Fax: 14302
Bogotá, Colombia, Sur América
Correo electrónico: labiq_fiqbog@unal.edu.co



INFORME DE ENSAYO

Código: FA008001 Versión: 01
Vigencia: 16/07/2012 Página 2 de 3

Consecutivo No. 062 – 2018
Fecha 2018-12-10

3. DATOS DEL ENSAYO

La determinación de los sólidos totales se hizo utilizando un horno marca Thelco, equipado con controlador de temperatura marca Shimaden, con certificado de calibración No. 5088, precisión de 1°C. También se utilizó una balanza analítica Sartorius (Bohemia, NY, USA) modelo CP225, número de serie 27250026, certificado de calibración No. 15220 de 20 de enero de 2012.

La determinación de la resistencia a la humedad se hizo utilizando un baño termostataado JULABO (Seelbach, Germany), rango de -30 a 150 °C, modelo HD-F34, serie 10028335.

La determinación de la resistencia al álcali se hizo utilizando un baño termostataado JULABO (Seelbach, Germany), rango de -30 a 150 °C, modelo HD-F34, serie 10028335.

Para el ensayo de lavabilidad se utilizó una esponja Bon Bril, espuma de poliuretano 64% y un paño abrasivo 36%.

4. RESULTADOS

PRUEBA	NORMA
Sólidos totales	ASTM D 2369
Resistencia al agua	ASTM D 870
Resistencia al álcali	ASTM D 714
Lavabilidad	ASTM D 4828

4.1 Muestra 062A

Sólidos totales (% p/p)	35,9
Resistencia al agua: Tiempo de la prueba 24 horas. Sustrato de las muestras vidrio plano transparente. Se usó agua destilada con conductividad 3,5 µS. La prueba se realizó con recirculación de agua a 38 C.	No se observan ampollas durante la prueba, ni desprendimiento de la película. Después del tiempo de recuperación: • No presenta desprendimiento, ampollas ni arrugas. • No se observó cambio en el tono del color.
Resistencia al álcali: Tiempo de la prueba 18 horas. Sustrato de las muestras vidrio plano transparente. Se usó hidróxido de calcio para preparar una solución de PH básico. La prueba se realizó con recirculación a 20 C.	No se observan ampollas durante la prueba, ni desprendimiento de la película. Después del tiempo de recuperación: • No presenta desprendimiento, ampollas ni arrugas. • No se observó cambio en el tono del color.

Carrera 30 No. 45-03, LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA,

Edificio 412, Oficina 212

Teléfono: (57-1) 316 5672 Fax: 316 5617 Conmutador: (57-1) 316 5000 Ext. 14301 Fax: 14302

Bogotá, Colombia, Sur América

Correo electrónico: labiq_fiqbog@unal.edu.co

INFORME DE ENSAYO

Código: FA006001 Versión: 01

Vigencia: 16/07/2012 Página 3 de 3

Consecutivo No. 062 – 2018

Fecha 2018-12-10

Lavabilidad con limpiador sólido, detergente libre de cloro	Esfero rojo	Calificación 3, cambio ligero con respecto al original, número de ciclos 100
	Lápiz mirado #2	Calificación 7, cambio apreciable con respecto al original, número de ciclos 100
	Delineador de ojos	Calificación 10, se remueve totalmente, número de ciclos 50
	Solución de yodo	Calificación 7, cambio apreciable con respecto al original, número de ciclos 100
	Marcador permanente	Calificación 3, cambio ligero con respecto al original, número de ciclos 100
	Cambio en brillo	N (ninguno)
	Cambio en color	N (ninguno)
Lavabilidad con limpiador líquido	Esfero rojo	Calificación 3, cambio ligero con respecto al original, número de ciclos 100
	Lápiz mirado #2	Calificación 7, cambio apreciable con respecto al original, número de ciclos 100
	Delineador de ojos	Calificación 7, cambio apreciable con respecto al original, número de ciclos 100
	Solución de yodo	Calificación 7, cambio apreciable con respecto al original, número de ciclos 100
	Marcador permanente	Calificación 3, cambio ligero con respecto al original, número de ciclos 100
	Cambio en brillo	N (ninguno)
	Cambio en color	N (ninguno)
Erosión	N (ninguno)	

ORIGINAL FIRMADO

ING. JORGE ORLANDO MANRIQUE PERDOMO

Coordinador