

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ADITIVO ERR Y DEL pH EN LAS
MEMBRANAS LÍQUIDAS APLICADAS (LAM) DE SIKA COLOMBIA S.A.S Y SU
DESEMPEÑO A ESCALA LABORATORIO

DANIELA SUÁREZ CÁRDENAS

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

2019

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ADITIVO ERR Y DEL pH EN LAS
MEMBRANAS LÍQUIDAS APLICADAS (LAM) DE SIKA COLOMBIA S.A.S Y SU
DESEMPEÑO A ESCALA LABORATORIO

DANIELA SUÁREZ CÁRDENAS

Proyecto Integral de Grado para optar el título de:
INGENIERO QUÍMICO

Director:

JESSICA GARZON BARRERA

PhD. Ingeniería Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ, D.C

2019

Nota De Aceptación

Sandra Liliana Mesa Espitia

Elizabeth Torres Gamez

Danny José Cárdenas Romay

Bogotá, D.C. Febrero , 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

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

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por dejarme culminar mi sueño de Ingeniera Química

A mi madre Francly Cárdenas, que en todo momento de mi vida ha sido mi cómplice, mi confidente, mi guía y mi polo a tierra.

A mi padre Héctor Suarez, por ser parte fundamental de mi sueño y mi superhéroe valiente, que cada momento me impulso y sacrificio para ser lo que soy.

A mi hermano, Sebastián Suarez por su sensatez y acompañamiento.

A mi tío Eduardo Cárdenas, que en momentos difíciles estuvo y sé que estará para mí, un ser de infinito desinterés que admiro mucho.

A mi abuela que, aunque no me acompañe sé que me guía y me protege en cada decisión que tomo

A mis amigos más cercanos por sus palabras de aliento y su confianza en mí.

A todos ustedes solo me queda profundo e infinito agradecimiento por su apoyo incondicional y permanente sin ustedes no sería lo que soy

AGRADECIMIENTOS

A mi directora, la Ingeniera Jessica Paola Garzón Barrera por su orientación y apoyo para la elaboración de este proyecto. A mi codirectora, la Ingeniera Claudia Patricia Vargas Suarez por guiar cada decisión de este trabajo y su asesoría profesional dentro de él.

A Carmen Lucia Molano, por su confianza y apoyo, no hubiera sido posible ejecutar este proyecto.

A la empresa SIKA COLOMBIA S.A.S por su respaldo económico. A el grupo de I+D y calidad, por ayudarme en todo momento, especialmente a Jorge Fonseca, Giovanni Ramírez y Rodrigo Mora por su asesoría profesional y su amistad.

A la doctora Sandra Liliana Mesa por su orientación y correcto desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 20 |
| OBJETIVOS | 22 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 23 |
| 1.1 MEMBRANAS LÍQUIDAS EN BASE A POLIURETANO | 23 |
| 1.2 MEMBRANAS ACRÍLICAS | 26 |
| 1.3 MEMBRANAS LÍQUIDAS APLICADAS (LAM) | 27 |
| 1.3.1 Generalidades de las LAM | 27 |
| 1.3.2 Solventes | 28 |
| 1.3.3 Resinas | 29 |
| 1.3.3.1 Vinil Acrílica (VAM) | 29 |
| 1.3.3.2 Acrílica Estirenada (A/S) | 29 |
| 1.3.3.3 Acrílica Pura | 30 |
| 1.3.3.4 Acrílicas híbridas | 30 |
| 1.3.4 Cargas/ Fillers | 31 |
| 1.3.4.1 Pigmentos | 32 |
| 1.3.5 Aditivos | 32 |
| 1.3.5.1 Modificadores de pH | 32 |
| 1.3.5.2 Modificadores reológicos | 33 |
| 1.3.5.3 Biocidas | 33 |
| 1.3.5.4 Coalescentes | 33 |
| 1.4 APLICACIÓN DE LAS LAM | 33 |
| 2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ADITIVO ERR Y MODIFICADORES DE pH | 36 |
| 2.1 pH | 36 |
| 2.2. VISCOSIDAD | 37 |
| 2.2.1 Preparación y ejecución de la prueba | 37 |
| 2.3 PORCENTAJE DE SÓLIDOS | 39 |
| 2.4 DENSIDAD | 41 |
| 2.5 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO Y TERMOGRAVIMETRÍA (DSC Y TGA) | 41 |
| 2.5.1 Resultados obtenidos de Calorimetría diferencial de barrido | 43 |
| 2.5.2 Resultados obtenidos de Termogravimetría | 43 |
| 3. EVALUACIÓN DEL ADITIVO ERR Y LOS MODIFICADORES DE pH (MPA y MPH3) EN EL DESEMPEÑO DE LAS LAM | 47 |

| | |
|---|-----|
| 3.1 INCORPORACIÓN DEL ADITIVO ERR Y LOS MODIFICADORES DE pH EN LOS PRODUCTOS ACTUALES | 47 |
| 3.1.1. Descripción de los diseños experimentales | 47 |
| 3.1.2 Procedimiento de incorporación del aditivo ERR en los productos actuales P1, P2 Y P3 | 49 |
| 3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES CUALITATIVAS DE LOS EXPERIMENTOS | 50 |
| 3.2.1 Apariencia de los experimentos | 50 |
| 3.2.2 Prueba de ensuciamiento “Dirty pick up” | 51 |
| 3.2.3 Inmersión en agua | 52 |
| 3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MÉCANICAS | 53 |
| 3.3.1 Tiempo de secado por capa | 53 |
| 3.3.2 Adherencia | 55 |
| 3.3.3 Absorción de agua | 57 |
| 3.3.4 Permeabilidad al vapor de agua | |
| 3.3.5 Tensión y elongación | 59 |
| 3.3.6 Resistencia temprana a la lluvia | 61 |
| 3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LAS PRUEBAS EVALUADAS | 63 |
| 3.3.1 Resultados pruebas cualitativas | 63 |
| 3.3.1.1 Apariencia final de los experimentos realizados | 64 |
| 3.3.1.2 Resultados de prueba de ensuciamiento "Dirty pick up" | 64 |
| 3.3.1.3 Resultados de inmersión en agua | 67 |
| 3.3.2 Resultados de las pruebas físicas, químicas y mecánicas | 69 |
| 3.3.2.1 Resultados de LAM 1 | 70 |
| 3.3.2.2 Resultados de LAM 2 | 80 |
| 3.3.2.3 Resultados de LAM 3 | 88 |
| 3.3.2.8 Resultados de resistencia temprana a la lluvia | 95 |
| 3.3.3 Selección de los mejores experimentos de cada diseño experimental según su desempeño | 96 |
| 3.3.4 Resultados físicos, químicos y mecánicos de los productos de la competencia en mercado actual | 97 |
| 4.EVALUACIÓN DE COSTOS | 103 |
| 5.CONCLUSIONES | 106 |
| 6.RECOMENDACIONES | 107 |
| BIBLIOGRAFIA | 108 |
| ANEXOS | 117 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Clasificación de Sistemas impermeabilizantes | 24 |
| Figura 2. Caminos de reacción del grupo diisocianato | 25 |
| Figura 3. División tecnológica de las LAM según su reactividad | 28 |
| Figura 4. Estructura de la composición química de resinas acrílicas | 30 |
| Figura 5. Emulsión Poliuretano Acrilato sintetizada como un oligómero | 31 |
| Figura 6. Detallado de las superficies mediante-Brocha | 35 |
| Figura 7. Superficies de rango alto con rociador | 35 |
| Figura 8. Superficies de rango medio con rodillo | 35 |
| Figura 9. Dos componentes LAM usados en rociador en caliente | 35 |
| Figura 10. Recipientes cerámicos usados en la prueba. | 42 |
| Figura 11. Zonas de compuestos liberados luego del análisis TGA | 45 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|--|------|
| Imagen 1. a.) Recipiente de muestreo y b.) Equipo de análisis de humedad para el porcentaje de sólidos del aditivo ERR | 39 |
| Imagen 2. Resultado visual de prueba de sólidos al aditivo ERR | 40 |
| Imagen 3. Análisis de DSC y TGA del aditivo ERR | 45 |
| Imagen 4. Aplicación de la prueba de ensuciamiento con solución de óxido de hierro | 52 |
| Imagen 5. Prueba de inmersión de agua para los experimentos preparados | 53 |
| Imagen 6. a.) Aplicador de 8 lados metálico b.) Vidrio de aplicación de cada tratamiento realizado | 54 |
| Imagen 7. Montaje para la prueba "Pick up" | 54 |
| Imagen 8. Sustrato de adhesión utilizado en las probetas | 56 |
| Imagen 9. Montaje para la evaluación de la fuerza de desgarre | 57 |
| Imagen 10. Montaje de permeabilidad vapor de agua | 59 |
| Imagen 11. Segmento de evaluación de las probetas para pruebas mecánicas | 61 |
| Imagen 12. Equipo de resistencia temprana a la lluvia | 62 |
| Imagen 13. Resultados de apariencia de los tres diseños experimentales | 64 |
| Imagen 14. Comparación prueba de ensuciamiento de LAM 1 | 65 |
| Imagen 15. Comparación prueba de ensuciamiento de LAM 2 y LAM 3 | 66 |
| Imagen 16. Resultados prueba de ensuciamiento de productos de la competencia | 67 |
| Imagen 17. Burbujas formadas en LAM 1 | 68 |
| Imagen 18. Resultado inmersión de LAM 2 y LAM 3 | 68 |
| Imagen 19. Resultados de inmersión de agua de los productos de la competencia | 69 |
| Imagen 20. Resultados visuales luego de envejecimiento por Camara UV de dos experimentos de LAM 1. | 79 |
| Imagen 21. Comparacion de resultados visuales de permeabilidad de vapor de agua entre LAM 1,2 y 3 | 85 |
| Imagen 22. Resultados de LAM 2 y LAM 3 luego de envejecimiento en cámara UV | 87 |
| Imagen 23. Aplicacion de la prueba de resistencia temprana a la lluvia | 95 |

LISTA DE DIAGRAMAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Diagrama 1. Proceso de medición de viscosidad | 38 |
| Diagrama 2. Procedimiento para porcentaje de sólidos | 40 |
| Diagrama 3. Procedimiento paso a paso de preparación de las formulaciones para cada experimento | 50 |
| Diagrama 4. Procedimiento de la prueba de ensuciamiento | 51 |
| Diagrama 5. Procedimiento de tiempo de secado por capa | 55 |
| Diagrama 6. Preparación de las probetas de la prueba de adherencia | 56 |
| Diagrama 7. Procedimiento para la ejecución de absorción de agua | 58 |
| Diagrama 8. Procedimiento de medición de tensión y elongación | 60 |
| Diagrama 9. Procedimiento aplicado en el equipo de resistencia temprana a la lluvia | 63 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|--|------|
| Gráfico 1. Resultados de los pH de los experimentos de LAM 1 | 71 |
| Gráfico 2. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 1 | 72 |
| Gráfico 3. Resultados tiempo de secado para los experimentos de LAM 1 | 74 |
| Gráfico 4. Resultados porcentajes de absorción de agua de la selección de los experimentos LAM 1 | 75 |
| Gráfico 5. Resultados permeabilidad de vapor de agua LAM 1 | 76 |
| Gráfico 6. Resultados de adherencia de los experimentos del diseño LAM 1 | 77 |
| Gráfico 7. Resultados de tensión de los experimentos de LAM 1 | 78 |
| Gráfico 8 . Resultados de porcentaje de elongación de los experimentos de LAM 1 | 80 |
| Gráfico 9. Resultados de pH de los experimentos del diseño LAM 2 | 81 |
| Gráfico 10. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 2 | 82 |
| Gráfico 11. Resultados de tiempo de secado de los experimentos de LAM 2 | 83 |
| Gráfico 12. Resultados de absorción de agua de los experimentos seleccionados de LAM 2 | 84 |
| Gráfico 13. Resultados de permeabilidad vapor de agua de LAM 2 | 85 |
| Gráfico 14. Resultados de adherencia del diseño LAM 2 | 86 |
| Gráfico 15. Resultados de tensión de los experimentos de LAM 2 | 86 |
| Gráfico 16. Resultados de porcentaje de elongación de los experimentos de LAM 2 | 88 |
| Gráfico 17. Resultados de pH en el diseño de LAM 3 | 89 |
| Gráfico 18. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 3 | 90 |
| Gráfico 19. Resultados tiempo de secado de los experimentos de LAM 3 | 90 |
| Gráfico 20. Resultados porcentajes de absorción de agua de los experimentos seleccionados de LAM 3 | 91 |
| Gráfico 21. Resultados permeabilidad vapor de agua LAM 3 | 92 |
| Gráfico 22. Resultados de adherencia del diseño LAM 3 | 93 |
| Gráfico 23. Resultados de tensión de los experimentos de LAM 3 | 94 |
| Gráfico 24. Resultados prueba de elongación de los experimentos de LAM 3 | 94 |
| Gráfico 25. Resultados de porcentajes de absorción en productos de la competencia | 101 |
| Gráfico 26. Resultados de permeabilidad vapor de agua de la competencia | 102 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|--|-------------|
| Cuadro 1.Limpieza para sustratos previo a la aplicación de las LAM | 34 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Resultados de pH promedio obtenidos del aditivo y modificadores de pH | 37 |
| Tabla 2. Resultados de viscosidad para los aditivos de los nuevos productos | 38 |
| Tabla 3. Resultados promedio de densidad del aditivo ERR y modificador de pH | 41 |
| Tabla 4. Niveles y factores utilizados para la fabricación de los tres nuevos productos | 48 |
| Tabla 5. Codificación de los diseños experimentales por cada producto actual | 48 |
| Tabla 6. Experimentos para cada LAM según el diseño experimental 3 ² para cada replica | 49 |
| Tabla 7. Leyenda de gráficos de resultados LAM 1 | 70 |
| Tabla 8. Leyenda de gráficos de resultados LAM 2 | 80 |
| Tabla 9. Leyenda de gráficos de resultados LAM 3 | 88 |
| Tabla 10. Resultados de tiempos en minutos frente a la resistencia temprana a la lluvia | 96 |
| Tabla 11. Tabla resumen de selección de experimentos | 97 |
| Tabla 12. Resultados obtenidos de pruebas fisicoquímicas de la competencia | 98 |
| Tabla 13. Resultados propiedades mecánicas de la competencia | 99 |
| Tabla 14. Resultados pruebas mecánicas con envejecimiento UV | 100 |
| Tabla 15. Costos unitarios para la producción de 1 kg de LAM | 103 |
| Tabla 16. Resultados de costos de la selección de los experimentos con mejor desempeño | 104 |
| Tabla 17. Comparación de costos entre la aplicación de los experimentos ERR y el daño de las LAM actuales | 105 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo A. Resultados de compatibilidad entre resinas, aditivo ERR y modificador de pH de las LAM 1, LAM 2 y LAM 3 | 118 |
| Anexo B. Análisis de varianza de los resultados promedio de pH | 119 |
| Anexo C. Análisis de varianza de los resultados promedio de viscosidad | 120 |
| Anexo D. Análisis de Varianza de los resultados promedio para tiempos de secado | 121 |
| Anexo E. Resultados promedio de análisis de varianza de absorción de agua | 122 |
| Anexo F. Gráficas porcentajes de absorción de agua | 123 |
| Anexo G. Resultados promedio del análisis de varianza de permeabilidad de vapor de agua | 124 |
| Anexo H. Gráficos de permeabilidad de vapor de agua | 125 |
| Anexo I. Resultados promedio de análisis de varianza prueba de adherencia | 126 |
| Anexo J. Resultados promedio análisis de varianza de tensión sin envejecimiento UV | 127 |
| Anexo K. Resultados promedio análisis de varianza de tensión con envejecimiento UV | 128 |
| Anexo L. Resultados análisis de varianza de porcentaje de elongación con envejecimiento acelerado | 129 |
| Anexo M. Resultados de promedios de 3 réplicas de las pruebas realizadas a LAM 1 | 130 |
| Anexo N. Resultados de promedios de 3 réplicas de las pruebas realizadas a LAM 2 | 131 |
| Anexo O. Resultados de promedios de 3 réplicas de las pruebas realizadas a LAM 3 | 132 |

ABREVIATURAS Y UNIDADES

°C: Grados centígrados
cPs: Centipoises
pH: Índice de acidez y basicidad
RPM: Revoluciones por minuto
g: Gramos
mL: Mililitros
W/g: Watts sobre gramos
mg: Miligramos
ERR: Early Rain Resistance
Mils: Espesor de pinturas para su aplicación
cm: Centímetros
L: Litros
Gal: Galones
kg: Kilogramos
mm/min: Milímetros por minuto
g/m²: Gramos por metro cuadrado
UV: Ultra Violeta
KU o KU: Unidades de Krebs
N/mm²: Newtons sobre milímetros
Gal/min: Galones por minuto
MPA: Modificador de pH 1
MPH3: Modificador de pH 2
LAM: Membranas líquidas aplicadas

GLOSARIO

ADHERENCIA: prueba que es evaluada para los recubrimientos y pinturas que evalúa la fuerza de enlace existente entre la película seca y el sustrato donde se encuentra aplicada.

CURADO: consiste en la aplicación de una película delgada que impermeabilice la superficie de una capa tratada con conglomerantes hidráulicos, con el objetivo de que conserven la humedad necesaria durante su fraguado y primer endurecimiento.

ELONGACIÓN: propiedad mecánica, característica de los polímeros, que evalúa la capacidad de estiramiento previo a la fractura del material cuando se ejerce una presión externa.

IMPERMEABILIZANTE: material que hace referencia a impermeable (impenetrable al agua). Son sustancias que detienen el agua, impidiendo su paso, y son muy utilizados en el revestimiento de piezas y objetos que deben ser mantenidos secos. También llamada hidrofugación.

MEMBRANAS LÍQUIDAS APLICADAS: material elástico de aplicación tipo pintura con capacidad impermeabilizante por su naturaleza polimérica. Es un tipo de cubierta usado en techos, silos, paredes o cualquier tipo de edificación que necesiten alta resistencia al desgaste y al agua.

PERMEABILIDAD: es la capacidad que posee un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, como el caso del agua. La medición se realiza si el flujo que atraviesa el material es apreciable en un tiempo dado.

RESISTENCIA TEMPRANA A LA LLUVIA: prueba que determina la resistencia de un recubrimiento frente al comienzo del fenómeno climático de lluvia con el fin de evaluar el tiempo de desprendimiento.

SINÉRESIS: separación de las fases que componen una suspensión o mezcla.

TENSIÓN: prueba mecánica en la cual se evalúa la fuerza sobre unidad de área entorno a un punto específico de un material como los polímeros. También es llamado como esfuerzo.

TIXOTROPÍA: es la propiedad de algunos fluidos no newtonianos y pseudoplásticos que muestran un cambio de viscosidad debido a la pérdida de resistencia, o disminuyen su viscosidad al someterlos a una tensión cortante (cizalla) conforme transcurre el tiempo.

RESUMEN

El problema que presenta las Membranas Líquidas Aplicadas actualmente, más conocidas en la industria como pinturas impermeabilizantes es el desprendimiento de la película por fenómenos no controlables como la lluvia. El propósito de este trabajo de grado fue la evaluación de la incorporación del aditivo ERR y su interacción con dos modificadores de pH (MPA y MPH3), en 3 productos actuales que se manejan en el portafolio de la empresa patrocinadora realizando un diseño experimental 3^2 en cada uno, para un total de 27 experimentos, con el fin de mejorar tiempos de secado y la evaluación a la resistencia temprana a la lluvia. Además, se tuvo en cuenta el desempeño en propiedades cualitativas, físicas, químicas y mecánicas usadas en la industria de pinturas impermeabilizantes actualmente. Inicialmente, se evaluaron las propiedades físicas y químicas, tanto del aditivo ERR y de ambos modificadores de pH, para predecir el comportamiento dentro de las LAM una vez incorporados en relación con las pruebas previamente evaluadas según los porcentajes del diseño experimental.

Los resultados obtenidos mostraron que no existe compatibilidad del aditivo ERR y el modificador de pH MPH3. En cuanto a la evaluación de los experimentos realizados con el modificador de pH MPA y el aditivo ERR, se seleccionó uno por cada producto actual de LAM de la empresa patrocinadora, teniendo en cuenta su desempeño. Los resultados obtenidos muestran distintos porcentajes tanto de modificador de pH como del aditivo de la siguiente forma (MPA, Aditivo ERR): Para el producto actual P1 se seleccionó el experimento 3 (4%,1%), para el P2 se seleccionó el experimento 7 (1%,2%), y para el P3 se seleccionó el experimento 2 (4%,1.5%). Respecto a la comparación con los productos del mercado (X1, X2 y X3) se encontró que los de la competencia tuvieron bajos valores de pruebas mecánicas luego de envejecimiento UV, alta absorción de agua y alta permeabilidad al vapor de agua disminuyendo su desempeño respecto a los experimentos seleccionados. En la prueba de resistencia temprana de lluvia y tiempo de secado respecto a los productos actuales, se redujo entre 15 a 30 minutos, favoreciendo su desempeño en comparación con los productos de la Competencia.

Finalmente se evaluaron los costos unitarios mediante la comparación entre los productos actuales de LAM donde se incrementó el precio debido al costo del aditivo. La ventaja para el consumidor en el uso del producto y comparando con el daño y deterioro por la intemperie y la lluvia, y teniendo en cuenta el tiempo de secado se puede llegar a ahorrar hasta un 75% en costos del producto y la mano de obra de la aplicación en la superficie.

Palabras clave: Membranas Líquidas Aplicadas, resistencia a la lluvia, pH, pintura impermeabilizante.

INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción se ha convertido en un factor determinante para la calidad de vida del ser humano. La demanda mundial de este, ha incrementado por el crecimiento poblacional, lo cual requiere que exista un mejoramiento continuo de los productos que se encuentran en el mercado, para que se cumpla con factores como la seguridad y la salud humana, manteniendo una reducción significativa en los costos de los mismos¹. La falla más común en este sector es la filtración de agua en techos, muros, cubiertas, fachadas, entre otras superficies². Esto, se produce en consecuencia de una afectación directa a la edificación, ya sea debido a un debilitamiento estructural por condensación, afectación de los yesos y/o eflorescencias en morteros³. Además, perjudica la salud humana por la formación de moho y hongos que afectan directamente al sistema respiratorio.

En Colombia, debido a su ubicación en el planeta, de clima tropical, cercana a la línea del Ecuador no presenta estaciones por lo cual tiene exclusivamente dos fenómenos climáticos: dos temporadas de verano o secas y dos temporadas de invierno o lluviosas. En el caso geográfico de Bogotá, solamente en el año 2018 las cifras presentaron un aumento 122 metros cúbicos por segundo⁴, lo que implica en las superficies exteriores como techos o terrazas, no solo resistan la cantidad de agua sino la composición de las aguas lluvias, como la lluvia ácida, generando un mercado por parte de los sistemas impermeabilizantes en el sector de vivienda.

Este mercado de impermeabilizantes en Colombia está cubierto por empresas como BASF, TOXEMENT, HENKEL, CORONA y SIKA COLOMBIA S.A que desde su llegada en la década de los 90 al país⁵, ha tratado de incorporar en su portafolio productos para disminuir la depreciación de edificaciones, una tecnología en específico denominada como membranas líquidas aplicadas (LAM), siendo pionera

¹ PIMENTEL MAMANI, Ángela del Carmen. Problemática en la etapa de acabados de edificios multifamiliares y recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación. Tesis para optar por el grado de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Pg-2

² GIRON RODRÍGUEZ, Andrés Felipe. Impermeabilización de superficies en la construcción de edificios. Tesis para optar por el grado de Ingeniería Civil. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016. Pg-13

³ U.S. Environmental Protection Agency .GUÍA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICACIONES. [En línea] 24 de Marzo de 2018 [Revisado 26 de Marzo de 2018]. Disponible en: https://espanol.epa.gov/sites/production-es/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf

⁴ FRANCO, Néstor. Caudal del Río Bogotá aumentó por fuertes lluvias. SOACHA ILUSTRADA. [En línea] 24 de Marzo de 2018 [Revisado 26 de Marzo de 2018]. Disponible en: <http://soachailustrada.com/2017/03/caudal-del-rio-bogota-aumento-por-fuertes-lluvias/>

⁵ SIKA COLOMBIA S.A.S. Historia de Sika. HITOS 1990-2010 [En línea] [Revisado 2 de Abril de 2018]. Disponible en: <https://col.sika.com/es/sika-colombia/Aboutus/History/Milestones4.html>

en este campo, las cuales previenen filtraciones y el paso de humedad. Estos productos se han convertido en una solución como impermeabilizante, fundamentalmente para superficies horizontales como terrazas y techos, de fácil aplicación. Por ejemplo, en contacto con concreto, yesos o carbonatos, debe además de presentar una buena adhesión para evitar cualquier tipo de filtración, resistir temperaturas atmosféricas, ambientes agresivos, y reflejar rayos UV para obtener productos que disminuyan el consumo energético por aire acondicionado o calefacción⁶.

Las propiedades físicas, mecánicas y químicas que son evaluadas en las LAM, varían en el mercado según su uso. Este proyecto evaluó tres de los productos de SIKA COLOMBIA S.A.S, con una nueva formulación realizada, incorporando el aditivo ERR ("*Early Rain Resistance*") que significa resistencia temprana a la lluvia y se realizó la respectiva comparación frente a otros productos del mercado de las LAM. Con base a lo anterior, se definió la metodología de pruebas específicas para medir la propiedad de resistencia a la lluvia y el grado de ensuciamiento. Principalmente, se enfocó en la cantidad de aditivo agregado y el modificador de pH en la formulación actual, para mejorar el desempeño de las LAM de SIKA COLOMBIA S.A, proporcionándole así al consumidor un valor agregado por la innovación y tecnología aplicada del producto. Esto, se puede considerar como una disminución de costos, tiempos de aplicación entre capas del producto, con respecto a otros productos comercializados en el país.

⁶ DULEEKA K.P. Study on waterproofing methods of roof top slabs. Tesis de grado para optar por el título de ingeniería de diseño. University of Moratuwa.2016.Pág 3

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del aditivo ERR y del pH en el desempeño de las membranas líquidas aplicadas (LAM) de SIKA COLOMBIA S.A.S, a escala laboratorio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.Determinar las propiedades físico-químicas de las materias primas que se emplearán como aditivos en las formulaciones de las LAM.
- 2.Realizar las diferentes formulaciones de LAM dentro del diseño experimental 3^2 modificando la cantidad aditivo ERR y el modificador de pH observando su compatibilidad.
- 3.Comparar propiedades físico-químicas y mecánicas de las LAM producidas por SIKA COLOMBIA S.A.S con sus respectivas modificaciones y otros impermeabilizantes existentes en el mercado de acuerdo a su desempeño.4.
- 4.Analizar los costos asociados con el uso del aditivo ERR y modificador de pH en la composición de LAM frente a las fabricadas actualmente por SIKA COLOMBIA S.A.S

1. MARCO TEÓRICO

Un sistema impermeabilizante se define como la formación interna y externa de membranas o capas que tienen como función la prevención de entradas o escapes de agua formando permeabilidad, normalmente sobre concreto u otras superficies⁷.

Según la literatura, estos sistemas se consideran como un seguro de vida de las construcciones, ya sea por un posible deterioro estructural y antiestético del espacio, como la formación de manchas de humedad llegando generar riesgos de salud como enfermedades respiratorias⁸.

Las membranas se comenzaron a utilizar en Estados Unidos a partir de los años sesenta como una posible solución a la extensa corrosión del acero que se observó en el sector de construcción. Los sistemas de membranas están conformados principalmente por una barrera hidrofóbica y, sobre ella, otra capa que sirve como superficie de desgaste, generalmente está compuesta por asfalto u otros componentes. Esta clase de sistemas se basa fundamentalmente en la compatibilidad entre los componentes⁹. Los sistemas impermeabilizantes se clasifican en dos grandes grupos mostrados en la Figura 1. A continuación, se explicará cada subdivisión correspondiente de los sistemas impermeabilizantes líquidos:

1.1 MEMBRANAS LÍQUIDAS EN BASE A POLIURETANO

Este tipo de membranas se usa “Pintando” la superficie formando una capa impermeabilizante sobre la superficie aplicada. Esto, no tiene efectos posteriores de ácidos o álcalis suaves en la superficie. Estas membranas adquieren un mayor espesor y elasticidad de funcionamiento, además de ser resistentes a rayos UV¹⁰.

Existen distintos tipos de poliuretanos: Los más usados son TDI (Diisocianato de Tolueno) o MDI (Metil Difenil Diisocianato). En la Figura 2, se observa las distintas reacciones del grupo isocianato hasta formar el poliuretano.

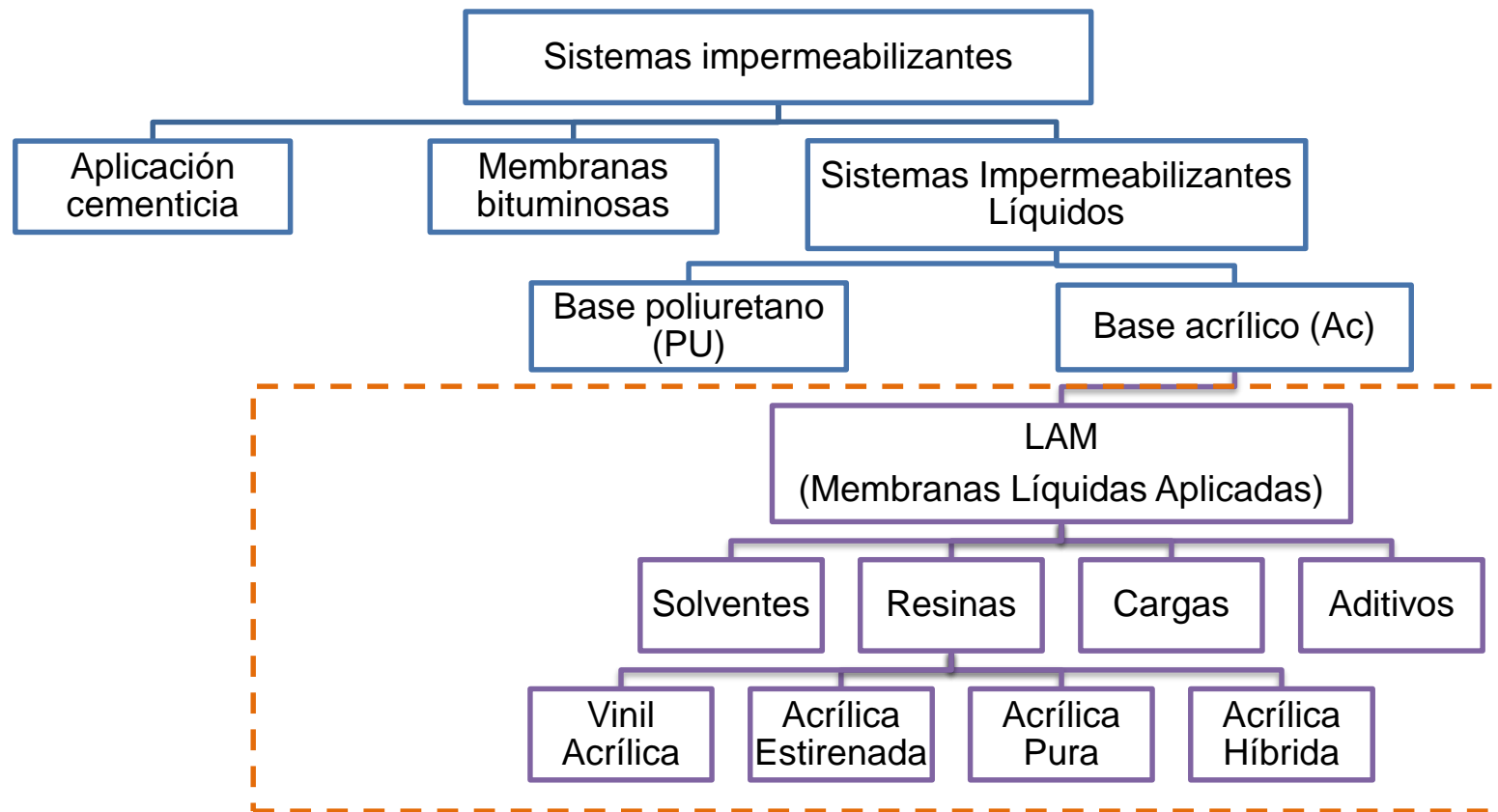
⁷ DULEEKA .Op.cit,p.17

⁸ RODRIGUEZ, Carlos. Eficiencia de aditivos impermeabilizantes por cristalización para el hormigón en Guayaquil. FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL. Tesis de grado para optar por el título de ingeniería Civil. Universidad Espíritu Santo.2015.Pg 10.

⁹ VIGNOLI VARGAS, Sofía. *et.al* Membranas para la impermeabilización de losas de concreto de puentes.. Universidad de Costa Rica. Programa de Ingeniería Estructural, N° 1, Volumen 3, Año 2018 . ISSN: 2215-4566

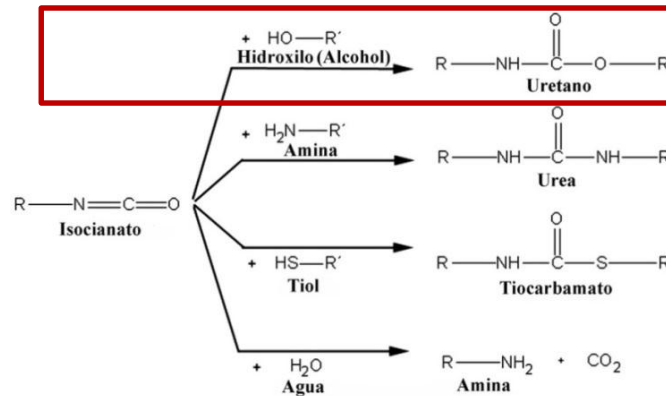
¹⁰ GIRON .Op.cit,p.16.

Figura 1. Clasificación de Sistemas impermeabilizantes



Fuente: Elaboración propia. Basado en: Impermeabilización de superficies en la construcción de edificios. Girón, Andrés. *et.al*, 2016

Figura 2. Caminos de reacción del grupo diisocianato



Fuente: PAREDES, Sergio. Síntesis de Poliuretano. [En línea]. Publicado: 10 de noviembre de 2013 [Consultado el 27 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2Cfze3b>

Los compuestos de poliuretano son buenos para superficies internas, tanques de agua, sótanos, plantas de tratamiento de efluentes, estructuras de retención de agua, entre otros¹¹.

Este material se aplica sobre la superficie existente en la terraza con un tratamiento previo de la superficie y limpiado correspondiente, se aplica utilizando rodillos, aplicado con espátula para dar mayor espesor o también aplicado con pistola. A continuación, se muestra otras ventajas de estos productos:

- Resistencia a rayos UV y al tiempo.
- Elasticidad elevada.
- Continuidad de la superficie. No juntas.
- Fácil de aplicar.

Desventajas:

- Garantizar espesor mínimo de la membrana.
- Solución puntos singulares.
- Fácil de aplicar (El cliente no da importancia a su aplicación y pretratamiento, provocando mal uso)

¹¹ DULEEKA.Op.,cit ,p. 11

1.2 MEMBRANAS ACRÍLICAS

Como su nombre lo indica están hechos de polímeros acrílicos como Polimetilmetacrilato (PMMA), el estireno acrílico y fibras de los mismos. Al ser polímeros sintéticos poseen cualidades de elasticidad, plasticidad y adherencia a la superficie. Son de fácil aplicación. Estos recubrimientos reflejan más del 90% de la radiación solar por lo que presenta un ahorro energético del mismo¹².

Existen distintas maneras de aplicación ya sea pulverizado, con brocha o cepillo. Esto permite que se ajusten a las irregularidades de por ejemplo el concreto o morteros. Las membranas deben tener una terminación correcta, y en bordes requiere refuerzos. Para este tipo de productos se propone el uso de dos capas para proporcionar un grosor uniforme y correcto funcionamiento de la misma. Si hay mayor cantidad de capas puede generar grietas por lo que es imprescindible el manejo de grosor de estas membranas.

Para extender su vida útil normalmente se debe aplicar un aditivo para el proceso de curado¹³.

Se ha llegado a diferenciar tres tipos de polímeros para esta aplicación¹⁴:

- Acrílico estirenado: Se utilizan plastificantes pesados de poca tendencia a la migración, generando muy buenos resultados como impermeabilizante pero superados por los que se mencionarán a continuación.
- Acrílicos blandos: son películas poliméricas con una temperatura de transición vítrea (T_G) entre -5 a -10 °C, clasificado como flexible, y baja cohesión de alargamiento de rotura de 1000 a 2000%
- Acrílicos elásticos: denominado como una película elastómerica con una temperatura de transición vítrea (T_G) entre -20 a -30°C, con un alto valor de incorporación de polímeros alrededor del 20% de Acrilonitrilo (AN) como polímero elastómero o la incorporación de un sistema reticular químico que tiene la misma propiedad elastómerica. La elongación de rotura será de 800% a 25°C y a -10 °C de 500%, suficiente para membranas líquidas impermeabilizantes.

Normalmente se adicionan curadores de UV para proteger de rayos solares y reducir la tactosidad de la superficie. Para mejorar las propiedades de resistencia

¹²IMPERMEABILIZANTES SIGMA. MPERMEABILIZACIÓN DE CASA CON IMPERMEABILIZANTE ACRÍLICO. [Sitio Web] [Revisado 29 de Marzo de 2018] México. Disponible en: <http://impermeabilizantes-mexico.com/acrilico-casa.html>

¹³ DULEEKA .Op. .,p .13

¹⁴ SCHWEIGGER, E. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Editoriales Díaz de Santos, 2005.Pg 20.

mecánica se adiciona un manto de fibras, como una malla sintética o de fibra de vidrio. Esto garantiza que sea un método duradero de impermeabilizante. Sus propiedades elásticas son definidas por la norma EN ISO 7783 parte 3.

Generalmente, presentan una barrera a la carbonatación implícita en materiales como carbonatos que se encuentra en distintos materiales de construcción. Una desventaja es su baja permeabilidad al vapor.

1.3 MEMBRANAS LÍQUIDAS APLICADAS (LAM)

Este tipo de impermeabilización consiste en productos como pintura que se aplican a cualquier superficie conocidas también como la subdivisión de las membranas acrílicas mencionadas en la Figura 1. Su aplicación puede ser con rodillo o spray, ya sea en caliente o en frío. Esto, para formar un impermeabilizante sin defectos y de alta duración. Para SIKA COLOMBIA S.A.S se muestra en la Figura 3 la clasificación de esta tecnología de impermeabilizantes según el uso de resinas, reactividad y la presencia de dos o más matrices poliméricas.

1.3.1 Generalidades de las LAM. La gran ventaja de las LAM es su versatilidad. Puede usarse en una amplia gama de sustratos, desde el reformado de una construcción e inclusive en techos.

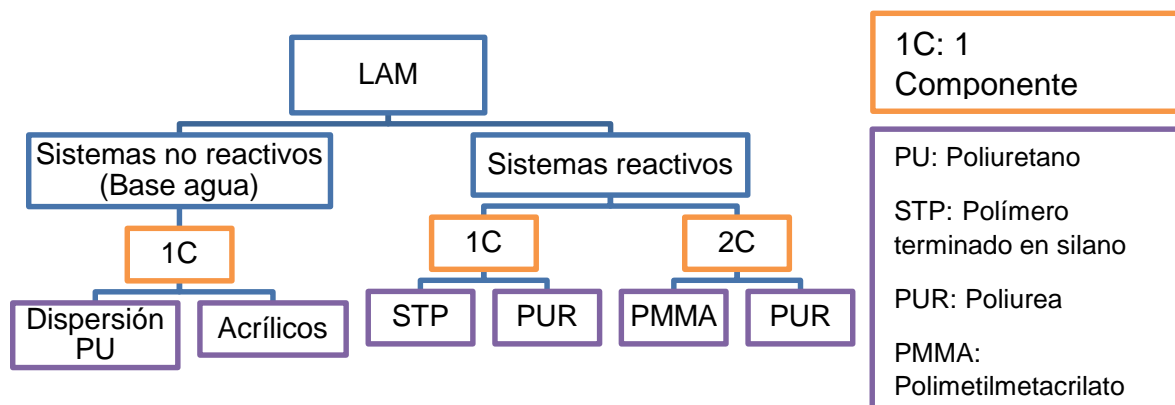
Esta membrana otorga suavidad, uniformidad y variedad de color. No requiere la aplicación de llama, su aplicación es rápida y sencilla para proyectos donde la superficie presenta alta complejidad.

Estos productos presentan fácil adherencia al sustrato, previniendo el paso de agua debajo de la membrana. Algunas de las ventajas son:

- Fluidez
- No genera llama
- Techos complejos
- Rapidez de aplicación
- Perfecto para el detallado de superficies
- Gama de colores
- No existe migración de agua
- Perfecto para reacondicionamiento de superficies

El mercado de esta clase de productos es usado en estructuras con superficie complejas como domos, superficies curvas y trabajos con altos detalles en construcción.

Figura 3. División tecnológica de las LAM según su reactividad



Fuente: Elaboración propia. Basado en: SIKA AG. Introducción a los sistemas impermeabilizantes. [Sitio Web] [Revisado 29 de Marzo de 2018]. Disponible en: <https://col.sika.com/content/colombia/main/es/roofing-redirect/sika-roofing-solutions/sistemas-de-impermeabilizacion/introduccion-sistemas.html>

Los sistemas de poliuretanos y acrílicos no reactivos se especificaron en el literal 1.1 y 1.2

La composición química básica como se mostró en la Figura 1 punteada que se divide en 4 grandes grupos: Solventes, resinas, cargas y aditivos que tienen ciertas características que serán presentadas a continuación:

1.3.2 Solventes. Un solvente es cualquier material, en general líquido, que tiene la capacidad de disolver otro material y formar una mezcla homogénea, llamada solución.

El solvente más común en la vida diaria es el agua, usado comúnmente en pinturas hidrófugas. Muchos otros solventes son compuestos orgánicos, es decir que tienen enlaces de carbono-hidrógeno en su estructura (alcoholes, cetonas, hidrocarburos, entre otros). La disolución de un sólido (sólido) implica, por definición, la mezcla homogénea de éste en el solvente o disolvente. Dicho de otra forma, las moléculas del solvente se introducen entre medio de las moléculas del sólido para separarlas¹⁵.

Según lo menciona Phenix para pinturas aplicables “Los solventes no son muy específicos en su acción, pudiendo tener mayor o menor efecto sobre todos los materiales orgánicos con los cuales entran en contacto”¹⁶. Es decir, de acuerdo a las otras sustancias adicionadas en la mezcla el comportamiento del solvente se verá afectado.

¹⁵ MASSCHELEIN KLEINER, Liliane. LOS SOLVENTES. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Chile. 2004. Pg 142. .ISSN : 956-244-166-0

¹⁶ PHENIX, A. Solubility parameters and the cleaning of paintings: an update and review. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, v.12, no. 2 (1998), pp. 387-408

1.3.3 Resinas. En SIKA COLOMBIA S.A.S se manejan sistemas poliméricos altamente elásticos y flexibles, fabricados a base de resinas acrílicas, de poliuretano o resinas de poliurea, otorgando excelentes propiedades técnicas para aplicaciones de alto desempeño. El porcentaje de este dentro de la formulación se encuentra entre el 40 y 50% respecto a esta sección. Actualmente se trabajan dentro de varias formulaciones cuatro tipos de resinas, los cuales se dividen en:

1.3.3.1 Vinil Acrílica (VAM). Este tipo de resinas combina las propiedades de la resina vinílica y la resina acrílica. Se utiliza para formulación de pinturas tipo látex, para mampostería y construcción liviana, esto permite que se formulen pinturas de buen desempeño y de alta relación costo/beneficio¹⁷. Su aplicación más común se da en la formulación de pinturas para interiores y exteriores, tales como los mates, semimates y semibrillantes con amplio desempeño en lavabilidad y condiciones ambientales de tipo alcalino.

1.3.3.2 Acrílica Estirenada (A/S). Es una resina de clase acrílica que contiene 50% de sólidos y es usada para mejorar la adherencia y resistencia a la humedad en morteros, estucos, pinturas y por tanto a las LAM. Sus características principales son¹⁸:

Puede ser usado en ambientes exteriores o interiores.

- Alta concentración de sólidos (50%) que permite mejor desempeño del producto
- Aumenta la adherencia, flexibilidad y resistencia al desgaste.
- Aumenta la resistencia a la humedad y permeabilidad.
- Se puede aplicar como puente de adherencia sobre diferentes tipos de superficies.
- Cuando se usa como imprimante o sellador de poros (puro o diluido) reduce el consumo de pinturas.
- Aumenta la resistencia a la abrasión en pinturas base agua

Esta resina presenta una gran variedad de aplicaciones. Es recomendada para barnices con aplicaciones arquitectónicas, también se puede utilizar para formular tintas para demarcación de pavimento, tintas industriales, barnices impermeabilizantes y también como primer o sellador¹⁹.

¹⁷ POCHTEC A S.A.B. PINTURAS BASE AGUA: VINILICAS, ACRILICAS Y VINIL ACRILICAS. [En línea] [Revisado 9 de Junio de 2018] .Disponible en:<https://www.pochteca.com.mx/pinturas-base-agua-vinilicas-acrilicas-y-vinil-acrilicas/>

¹⁸ SIKA COLOMBIA S.A.S .HOJA TECNICA ACRIL ESTIRENO. [En línea] [Revisado 9 de Junio de 2018].Disponible en: https://col.sika.com/dms/getdocument.get/c1c7578d.../co-hs_SikaAcrilEstireno.pdf

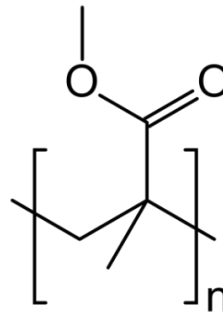
¹⁹ INPRA LATINA.RESINAS ACRILICAS. [En línea] 6 de Noviembre del 2014 [Revisado 9 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201411061108/productos/pinturas-y-recubrimientos/resinas-acrilicas.html>

1.3.3.3 Acrílica Pura. Las resinas acrílicas difieren de los otros tipos de resinas por su apariencia cristalina, además de poseen características como²⁰:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la exposición ultravioleta
- Excelentes propiedades de adhesión
- Resistencia química
- Resistencia al calor
- Propiedades térmicas satisfactorias (ni contracción ni expansión muy altas).

La química de estas resinas se basa fundamentalmente en PMMA de sodio.

Figura 4. Estructura de la composición química de resinas acrílicas



Fuente: CASAS, Diego. Polimetilmetracrilato (PMMA). [En línea] 4 de Junio de 2017 [Revisado 9 de Junio de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2Q3yPDJ>

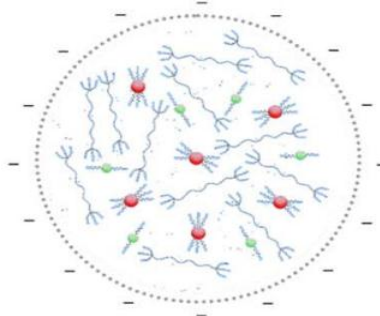
1.3.3.4 Acrílicas Híbridas. Este tipo de resinas se basa en la unión de una resina acrílica con otra resina. Actualmente las distintas empresas en el área de impermeabilización manejan tres componentes para formar la resina compuesta estos son Epoxi, Uretano y Siloxano.

La más usada para la fabricación de las LAM en SIKA COLOMBIA S.A.S es la resina híbrida Uretano-Acrilato. Este tipo de resinas hace que las LAM sea un material

²⁰ QUIMINET. Las múltiples características de una resina acrílica [Sitio Web] 31 de Agosto de 2012 [Revisado 9 de Junio de 2018]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/las-multiples-caracteristicas-de-una-resina-acrilica-2840008.htm>

altamente impermeabilizante y resistente a condiciones meteorológicas adversas como el frío y el calor extremo, además de soportar el estancamiento del agua sin perder ninguna de sus propiedades²¹. Estos sistemas híbridos deben producir ligantes, con mejores propiedades tecnológicas, que las mezclas físicas de los dos polímeros o “composites”. Se ha informado también que poseen mejor resistencia al agua ya que no se requiere o se usa muy poca cantidad de emulsificantes como la mostrada en la Figura 5²².

Figura 5. Emulsión Poliuretano Acrilato sintetizada como un oligómero



Fuente: YUAN, Caideng. Preparation and properties of UV-curable waterborne polyurethane–acrylate emulsion. Journal of applied polymer science. 2017. DOI: 10.1002/app.45208 School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, China.

1.3.4 Cargas/Fillers. Para las cargas se tiene básicamente dos tipos para las membranas líquidas las cuales corresponden a “Fillers” o Rellenos minerales y los pigmentos de acuerdo a los requerimientos del producto a continuación se explicarán en detalle cada uno de ellos:

Existen distintos tipos de cargas minerales, la cual corresponde entre el 30 al 35% de la formulación total de las LAM. En la industria de pinturas se manejan distintos tipos de cargas como es el caso de los siguientes:

²¹ ANTIHUMEDADES. Membrana Híbrida Acrilica +Poliuretano. [En línea] [Revisado 10 de Junio de 2018]. Disponible en: <https://antihumedades.es/humedades-en-terrazas-cubiertas-planas-y-suelos/275-1069-membrana-hibrida.html>

²² GUZMAN, G.A.et.al. “DISPERSIONES ACUOSAS POLIURETÁNICAS E HÍBRIDOS ACRÍLICO-POLIURETÁNICAS PARA LA TERMINACIÓN DE PRODUCTOS DEL CUERO”. CIDEPINT. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas. Argentina.

Barita o el Sulfato de Bario, que es utilizado en la elaboración de pinturas de alta resistencia y pinturas especiales de alta calidad.

Otro mineral como la Bentonita o también denominada “Arcilla Plástica”. Su química mineral no es muy clara, pero se han encontrado grupos hidroxisilicato de magnesio y aluminio, con otros posibles elementos. Esta química otorga propiedades reológicas y Tixotrópicas, utilizada en la elaboración de pinturas (forma gel) y con mezcla con resinas²³.

La Caolinita o Arcilla Blanca, la cual su composición química corresponde a silicato de aluminio otorgando alta plasticidad y poder cubriente, la cual es base de la mayoría de las pinturas vinílicas²⁴.

Finalmente, se encuentra el carbonato de calcio, el de mayor uso en la industria de pinturas y en las LAM otorgando propiedades de calidad como tiempo de secado y organolépticas que puede otorgar en el producto final como el color.

1.3.4.1 Pigmentos. La industria de pinturas maneja esta clase de compuestos de carácter orgánico e inorgánico, con el fin de otorgarle un color a su apariencia debido a la absorción de ciertas longitudes de onda. Los pigmentos, generalmente son insolubles, que pueden ser extendidas como capas superficiales o mezcladas con la masa de algún material como las pinturas²⁵.

En el caso de las membranas líquidas aplicadas, uno de los más usados es el Dióxido de Titanio se otorga para el color blanco, el óxido de hierro para el color rojo, el óxido de titanio y el negro humo para dar la tonalidad gris y el verde a partir de la clorofila, de origen natural son los 4 colores manejados en el portafolio de SIKA COLOMBIA.

1.3.5 Aditivos. Este tipo de compuestos son adicionados para la mejora de propiedades reológicas, de conservación del producto y manejo de características de uso del producto final. Se presentarán los más usados en las LAM en los siguientes numerales:

1.3.5.1 Modificadores de pH. Los modificadores de pH son fundamentales en cualquier pintura. Debido a la fabricación se presentan desestabilizaciones debido a una disminución de pH ocasionando en el producto, una mala adhesión, mal funcionamiento de otros aditivos, baja calidad de color, procreación de bacterias y

²³ FERROALEACIONES Y MINERALES INDUSTRIALES S.A DE CV.MINERALES PARA PINTURAS. [En línea][Revisado el 10 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.mpxilo.com/pinturas>.

²⁴ BETTS,John.Montmorillonite Mineral Data. General Montmorillonite Information[Sitio Web][Revisado el 10 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.webmineral.com/data/Montmorillonite.shtml#.Wx2kbu4vzIV>

²⁵ LAJO PÉREZ, Rosina. LÉXICO DE ARTE. Madrid - España: Akal. p. 163.(1990).

por ende genera baja vida útil y mal olor del producto, por ello, se presenta el uso de este tipo de materias primas²⁶.

1.3.5.2 Modificadores reológicos. Se encarga principalmente del manejo de la viscosidad fundamental en cualquier pintura. Juegan un papel importante en la mejora de la calidad de la pintura en última instancia, donde una buena formulación ofrece al mercado una pintura de alta calidad. Presenta dos ventajas lo cual es la eficiencia y el manejo flexible de la formulación de la pintura²⁷.

En la industria se les conoce como espesantes, fundamentales a la resistencia al agua.

1.3.5.3 Biocidas. En la industria de pinturas, los biocidas corresponden a todos los aditivos los cuales conservan y protegen a las pinturas dentro del envase denominado “in can” o luego de abierto el producto y se realice el consumo luego del curado y la aplicación no haya formación de hongos o algas debido a la naturaleza del producto.

El mecanismo de acción se encuentra en la membrana celular del microorganismo, penetrándola y destruyendo los sistemas que permiten vivir al microorganismo provocando la lisis de la pared proteica o lipo-proteica del organismo y penetra en su interior interrumpiendo las reacciones bioquímicas que sustentan la vida en el organismo²⁸.

1.3.5.4 Coalescentes. Se encargan de la unión de todas las materias primas de la pintura. Se denominan como formadores de película que son los disolventes de la emulsión, que durante el aplicado del producto sean capaces de unirse a la superficie de aplicación, sin defectos, evitando cuarteo y con apariencia lisa²⁹.

La naturaleza de estos compuestos químicos son ésteres, cetonas e hidrocarburos según la composición química de la pintura se usan unas u otras.

²⁶ INPRA LATINA. Importancia del balance de pH en pinturas acuosas.[En línea]8 de Abril de 2017[Revisado el 10 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201705086918/articulos/pinturas-y-recubrimientos/importancia-del-balance-de-ph-en-pinturas-acuosas.html>

²⁷ INPRA LATINA. Modificador reologico. . [En línea] 23 de Abril de 2016[Revisado el 10 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201605232705/productos/pinturas-y-recubrimientos/modificador-reologico.html>

²⁸ INPRA LATINA.Biocidas :Proteccion en envase.[En línea]25 de Marzo de 2009[Revisado el 11 de Junio de 2018].Disponible en: <http://www.inpralatina.com/200903251299/articulos/pinturas-y-recubrimientos/biocidas-proteccion-en-envase.html>

²⁹ CORREA,Marcela.. IMPORTANCIA DE COALESCENTES EN PINTURAS BASE AGUA. En línea]8 de Julio de 2016[Revisado el 11 de Junio de 2018].Disponible en: <http://apexperteam.blogspot.com/2016/07/importancia-de-coalescentes-en.html>

1.4 APLICACIÓN DE LAS LAM

La correcta aplicación determina la vida útil de la LAM. Existen distintas metodologías para la aplicación de LAM, las cuales pueden ser en caliente o en frío, en brocha, spray, y en rodillos como se presentan en las Figuras 6, 7, 8y 9 correspondientemente.

Las superficies o también denominados sustratos donde se puede aplicar son: cualquier tipo de concreto, sustratos cementicios, metal, bitumen, madera, ladrillo, piedras, superficies cerámicas, otra clase de membranas e inclusive las mismas LAM existentes en ciertas superficies. La característica principal del impermeabilizante es que se adapta a cualquier tipo de superficie o forma la cual tenga la construcción. Para ello, se recomienda la preparación de la superficie de acuerdo a su material como lo muestra en el Cuadro 1 donde especifican los requerimientos de limpieza.

Cuadro 1. Limpieza para sustratos previo a la aplicación de las LAM

| Sustratos | Limpieza |
|------------------------------|---|
| Metales | Lijado mecánico y limpieza con disolvente (Sin grasa) |
| Sustratos cementicios | Limpieza mecánica y aspirado |
| Madera | Lijado mecánico |
| Enchapes | Lijado mecánico |

Fuente: Elaboración propia. Basado en: SIKA PERU. MEMBRANAS LIQUIDAS APLICADAS, 2014. [En línea] 2014[Revisado el 8 de Junio de 2018]. Disponible en: <https://docplayer.es/10945848-Membranas-liquidadas-aplicadas-sika-julio-2014-arq-jim-calle-sika-peru-tm-roofing.html>

Figura 6. Detallado de las superficies mediante-Brocha



Fuente:IMTECO. Impermeabilizar con membranas líquidas. [En línea] [Revisado 27 de Julio de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2wEJoFc>

Figura 7. Superficies de rango alto con rociador



Fuente:AZYCHEM. Membrana elastomérica impermeabilizante poliúrica. [En línea] [Revisado 27 de Julio de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2oBzqju>

Figura 8. Superficies de rango medio con rodillo



Fuente:CYPE INGENIEROS S.A.S. Tecnología de Sika y Conceptos para Cubiertas. Catálogo de producto. [En línea] [Revisado 27 de Julio de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2NL0M1q>

Figura 9. Dos componentes LAM usados en rociador en caliente



Fuente:KRYPTON CHEMICAL. Impermeabilización. [En línea] [Revisado 27 de Julio de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2NKYdMO>

2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ADITIVO ERR Y MODIFICADORES DE pH

Este capítulo expone las siguientes propiedades físicas y químicas evaluadas: pH, siendo este, un parámetro de estabilidad y preservación de las materias primas en los experimentos a analizar ³⁰. También se evaluó de densidad y viscosidad, que pueden afectar el comportamiento tixotrópico dentro de los experimentos³¹. Estas propiedades se evaluaron en el aditivo ERR (Por sus siglas en Inglés Resistencia Temprana a la lluvia “*Early Rain Resistance*”) y dos modificadores de pH con el propósito de neutralizar las LAM. El primer modificador, conocido como MPA consiste en una dilución amoniacal en agua y el segundo MPH3 consiste en una alcanamina industrial, ambos codificados por SIKA COLOMBIA S.A.S. La interacción de cada modificador con el aditivo, pueden llegar afectar la estabilidad de la LAM.

El aditivo ERR es un componente polimérico que se incorporó dentro de la formulación existente de productos del portafolio actual de LAM en SIKA COLOMBIA S.A.S codificados como P1, P2 y P3 el propósito fue obtener una mejor resistencia a la lluvia, evitando el daño del producto aplicado en una superficie. El aditivo ERR posee una naturaleza de dispersión polimérica, por lo que fue el único compuesto al que se le realizó una Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) ,que mediante el incrementó de temperatura arroja resultados de temperaturas de descomposición y también se midió la temperatura vítrea mediante un Análisis Termogravimétrico (TGA) con el fin de comparar con la literatura .

2.1 pH

Esta prueba se realizó para el aditivo ERR y los modificadores de pH (MPA y MPH3), agitando manualmente previo a la toma de la muestra. Para esto, se tomaron cantidades de 285 cm³ en recipientes de polipropileno por cada modificador de pH,realizando tres replicas para esta prueba.

Para realizar la medición, se tomó el electrodo de la solución buffer del equipo pH metro HI 2221 introduciéndolo a una distancia cercana al fondo del recipiente de la muestra. Se dejó el electrodo durante 2 minutos dentro del recipiente, para la lectura del valor. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.

³⁰ RAMÍREZ SUAZO, Eduardo Víctor. “ESTUDIO PARA LA OBTENCION DE PINTURAS LATEX EN EL LABORATORIO EN LA REGION JUNIN.Titulo de Ingeniero Quimico. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.2016.Pg 60

³¹ GARRIGA MAESTRO, Alicia .Reología de los espesantes celulósicos para pinturas de agua: Modelizacion y mecanismo de espesamiento asociativo. Universidad de Barcelona.2009.

Tabla 1. Resultados de pH promedio obtenidos del aditivo y modificadores de pH

| Aditivo ERR | MPA | MPH3 |
|--------------------|------------|-------------|
| 10.18 | 10.7 | 10.95 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos indicaron un pH para el aditivo ERR presenta un comportamiento de carácter alcalino, donde el valor esperado era 10.5 según la ficha técnica del proveedor. Esta propiedad afecta directamente el aumento de la viscosidad de los experimentos, mientras que para el MPA y MPH3 se esperaba valores dentro del rango de 10.6-11.6. Así mismo, puede influir de manera directa en la conservación y por tanto de vida útil de los experimentos.

2.2 VISCOSIDAD

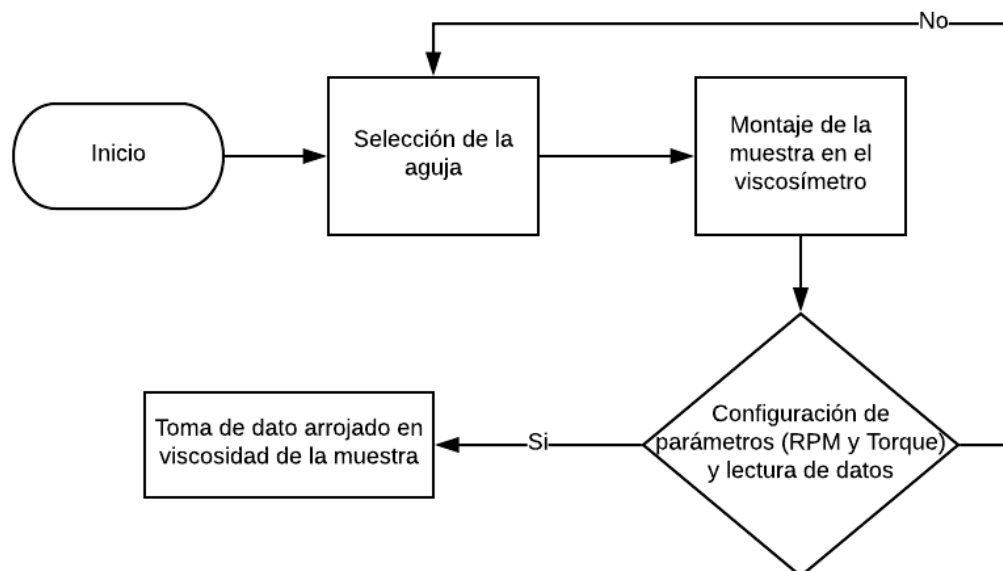
Esta prueba se realizó la medición respectiva del aditivo ERR y los modificadores de pH con el fin de determinar su naturaleza reológica y su influencia, en el comportamiento de los experimentos realizados.

2.2.1 Preparación y ejecución de la prueba. Se utilizó el viscosímetro Brookfield DV-II + Pro. Para la muestra se depositó en un vaso precipitado de vidrio con capacidad de 100 ml, se seleccionó la aguja 1, lo cual viene determinado por el equipo. Este procedimiento, se basó según la norma ASTM D562³³ y la norma D2196³⁴ con tres replicas para cada materia prima. En el Diagrama 1 se muestra, el procedimiento para determinar el valor de viscosidad para el aditivo ERR y los modificadores de pH.

³³ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test method for consistency of Paints Measurements Krebs Units (KU) Viscosity using a Stormer-Type Viscosimeter. ASTM D562. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

³⁴ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer. ASTM D2196. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

Diagrama 1.Proceso de medición de viscosidad



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2, el resumen de los resultados del promedio de viscosidades obtenidas para el aditivo ERR, los modificadores MPA y MPH3 con sus correspondientes condiciones de medida en el viscosímetro.

Tabla 2.Resultados de viscosidad para los aditivos de los nuevos productos

| Parámetro | Aditivo ERR | MPA | MPH3 |
|------------------|-------------|------|------|
| Viscosidad(cPs) | 10.24 | 10.7 | 11.4 |
| Temperatura (°C) | 19.7 | 19.4 | 20.1 |
| RPM | 100 | 100 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla resumen, la viscosidad del aditivo ERR y de los modificadores de pH exponen resultados en rangos alrededor de 10 y 11, que, comparados con el agua, conocido como el referente universal tiene valor de 1 cPs a temperatura estándar y el etilenglicol que es de 15 cPs, que se encuentran clasificados en un rango de fluidez alta³⁶.

Además, este resultado del aditivo ERR, indicó que previo a la preparación de cada LAM, y debido su naturaleza polimérica, no presentó un comportamiento de

³⁶ APLICACIONES TECNICAS DE PROCESOS PRODUCTIVOS. Tablas de viscosidad. [En línea] [Consultada en: 19 de Agosto de 2018]. Disponible en: www.atplleal.com/userfiles/files/VISCOSIDAD.pdf

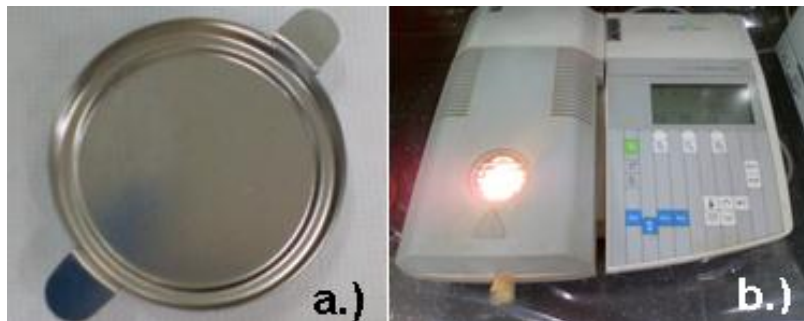
entrecruzamiento polimérico que está relacionado directamente con la viscosidad, el cual evalúa la fluidez y estabilidad.

2.3 PORCENTAJE DE SÓLIDOS

Esta prueba se aplicó exclusivamente al aditivo ERR para determinar la cantidad de polímeros y de cargas minerales que pueda poseer, provenientes de materias primas, ya que tiene relación directa con la película aplicada y el secado del impermeabilizante³⁷.

Se utilizó el equipo HR83 METTLER TOLEDO, encargado de la pérdida de humedad y compuestos volátiles mostrado en la Imagen 1 b). La norma que rige esta prueba es ASTM D1644³⁸, que determina el porcentaje la cantidad de los sólidos. Para la medición se utilizó un plato de aluminio como se muestra en Imagen 1 a). El procedimiento de esta prueba se presenta en el Diagrama 2.

Imagen 1. a.) Recipiente de muestreo y b.) Equipo de análisis de humedad para el porcentaje de sólidos del aditivo ERR



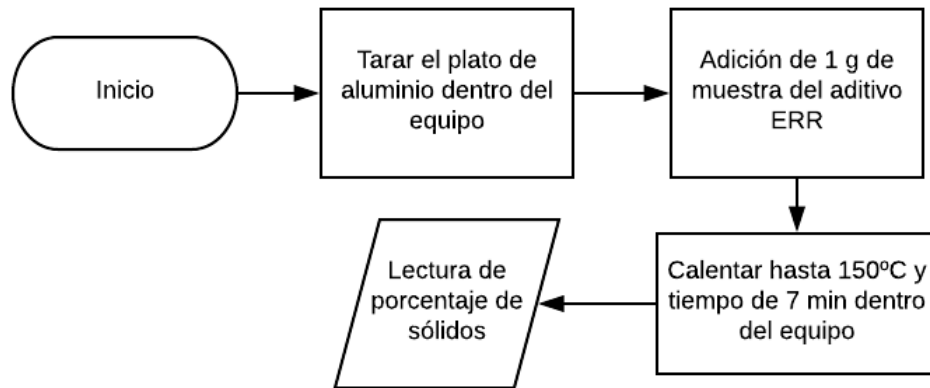
Fuente: Elaboración propia

Para el aditivo ERR se encontró con dos replicas, que el porcentaje promedio de solidos es de 33.02% a condiciones sometidas de un máximo de 153.5°C y durante un tiempo aproximado de 7 min, arrojando un resultado cercano al 32%, determinado por el proveedor.

³⁷ GIUDICE, Carlos A. *et al.* TECNOLOGÍA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS: COMPONENTES, FORMULACIÓN, MANUFACTURA Y CONTROL DE CALIDAD. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Argentina. 2009 Pg 4

³⁸ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Nonvolatile Content of Varnishes. ASTM D1644. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

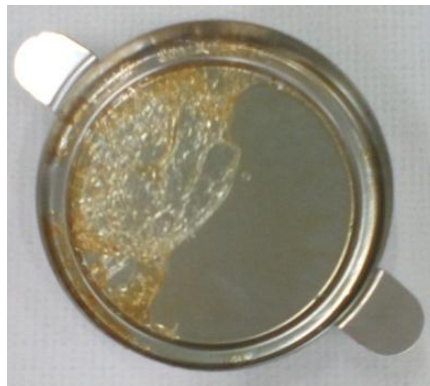
Diagrama 2. Procedimiento para porcentaje de sólidos



Fuente: Elaboración propia

Visualmente, se encontró luego del calentamiento de esta prueba, que la naturaleza polimérica del aditivo ERR sufrió un cambio, tal como se presenta en la Imagen 2. El cambio se denotó de un color de blanco (Antes de la prueba) a un color amarillo transparente, (luego de la prueba). Este comportamiento se explicó con la naturaleza de las cadenas poliméricas, donde el sometimiento a altas temperaturas, debido a una fuente de radiación infrarroja (Propia del equipo) generó una decoloración³⁹.

Imagen 2. Resultado visual de prueba de sólidos al aditivo ERR



Fuente: Elaboración propia

³⁹ Marc Ros. LA NUEVA TECNOLOGÍA DE COPOLÍMERO MEJORA LA RESISTENCIA A LA LUZ UV DEL POLICARBONATO. Eliminación de recubrimientos UV. [En línea] [Consultada en: 20 de Agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/17042-La-nueva-tecnologia-de-copolimero-mejora-la-resistencia-a-la-luz-UV-del-policarbonato.html>

2.4 DENSIDAD

Esta propiedad física puede llegar a afectar directamente condiciones físicas y químicas de los resultados esperados en los experimentos, debido al impacto que puede tener en cada experimento y por tanto, en el rendimiento del impermeabilizante⁴⁰.

Se utilizó un picnómetro metálico de capacidad volumétrica conocida de 8.6 mL. Se utilizó la balanza METTLER PE 6000 para conocer el peso de la muestra. Para ello, se taró el picnómetro vacío y se cargó el picnómetro a un nivel completo. Se realizó la lectura de la masa de cada muestra y se registró el cálculo de densidad.

A continuación, se presenta en el Tabla 3, el promedio de 3 resultados tomados de densidad, obtenidos para el aditivo y los modificadores de pH a condiciones ambientales (20°C):

Tabla 3. Resultados promedio de densidad del aditivo ERR y modificador de pH

| Aditivo ERR | MPA | MPH3 |
|--------------------|-------------|-------------|
| 1.0360 g/ML | 1.0037 g/mL | 1.2909 g/mL |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del aditivo y de los modificadores de pH, indican valores similares a la densidad referente, que corresponde a la del agua (1 g/mL), presentando la relación de menor cantidad de volumen ocupe mayor cantidad de masa.

En cuanto a los modificadores de pH el MPH3 según la ficha técnica respectiva, debe arrojar un valor cercano de 0.945 g/mL, mientras que para el amoníaco denominado MPA debe presentar una densidad cercana 0.874 g/mL⁴¹. Ambos valores son relativamente cercanos y la diferencia radica en que SIKA COLOMBIA S.A.S trabaja con diluciones en agua a ciertos porcentajes de materias primas alcalinas para disminuir su peligrosidad.

2.5 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO Y TERMOGRAVIMETRÍA (DSC Y TGA)

Esta técnica funciona para evaluar polímeros con base en dos posibilidades. La primera registra un diferencial de temperatura en rangos definidos evaluando el porcentaje en peso que se va perdiendo de la muestra y la segunda que evalúa

⁴⁰ PÉREZ GARCÍA, Antonio Jesús. Aplicación de pinturas e imprimaciones protectoras. 1 edición. IC Editorial, 2014

⁴¹ CARBUROS METALICOS. Grupo Air Products. Amoníaco: Datos técnicos, formas de suministro y especificaciones de producto. [En línea] [Consultada en: 19 de Agosto de 2018]. Disponible en: http://www.refrigerantes.mobi/PDF/Amoniaco-brochure_ES.pdf

flujos de calor, respecto al mismo diferencial de temperatura del DSC⁴². Este procedimiento, trabaja con un incremento desde una temperatura ambiente hasta 1500 °C. Para el Aditivo ERR se utilizó con el fin de conocer sus compuestos químicos mediante la descomposición progresiva ,donde la empresa proveedora, menciona el uso una dispersión de éster acrílico y estireno además de otros compuestos.

Para materiales poliméricos y mediante el uso de los flujos calóricos, para la prueba Calorimetría Diferencial de barrido (DSC), presenta las variaciones de temperaturas en forma de picos, que se pueden interpretar como cambios de estado, puntos de cristalización y ebullición de los compuestos de la muestra. Mientras que la prueba de termogravimetría (TGA), mide el porcentaje de pérdida de peso de una muestra hasta su descomposición total, frente al tiempo y la temperatura mientras se somete a un programa razón controlada en una atmósfera específica⁴⁴.

El equipo utilizado para esta prueba fue SDT Q600, el cual tenía incorporado recipientes de muestreo de material cerámico como se muestra en la Figura 10. Para ello, se incorporó en ellas 20,60 mg en peso del aditivo ERR. Se programó una razón de calentamiento de 20°C/min para llegar finalmente a 800 °C en 40 minutos⁴⁵. Los resultados obtenidos del equipo se muestran mediante Gráficos de pérdida de peso y flujo de calor versus temperatura.

Figura 10. Recipientes cerámicos usados en la prueba.



Fuente: DSC CONSUMABLES INCORPORATED."Sample cup/lid set (90uL for Q600) TA Instruments". Disponible en: <https://bit.ly/2NPDmYU>

⁴² SIERRA ALONSO, Isabel. et. al. Análisis instrumental : algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al espacio europeo de educación superior. Volumen 1 de Análisis instrumental. Colección Netbiblio. Pg 212

⁴⁴ GRANADOS CRISTANCHO, Yenny Alejandra . Importancia De Los Ensayos TGA y DSC en el Estudio de las Propiedades Térmicas de Mezclas Asfálticas. Tesis de Pregrado Ingeniería Topografica. Bogota D.C. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales. 2015

⁴⁵ TA INSTRUMENTS. THERMAL ANALYSIS. SDT Q600 SPECIFICATIONS. [En línea] [Consultada en: 19 de Agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.tainstruments.com/pdf/brochure/sdt.pdf>

A continuación, se muestra en la Imagen 3, los análisis correspondientes a TGA como % Peso vs Temperatura y DSC como Flujo de calor (W/g) vs Temperatura.

2.5.1 Resultados obtenidos de Calorimetría diferencial de barrido. Para el análisis de esta prueba el resultado corresponde a la Imagen 3, la cual por términos de lectura se dividió en tres zonas: Zona 4, zona 5 y zona 6 en sentido horizontal .

La primera zona (4) presenta valores negativos según el eje vertical derecho. Se encuentra en rangos entre 100 °C a 120 ° C. La interpretación de ambos picos presentados, es propio de un comportamiento endotérmico por los valores negativos, en fenómenos como la absorción de energía en el sistema. Este proceso comparado con la literatura, la evaporación del agua que contenga el producto, que corresponde al 20% coincidiendo con el rango de temperaturas, y el uso de algún solvente orgánico en los valores mas bajos de temperatura de esta zona.

Para la segunda zona (5), se denomina como la fase de transición de temperatura de vítrea, correspondiente al aditivo. Esto se demuestra el incremento de capacidad calorífica formando picos consecutivos en esta zona. En la literatura, estos picos son cercanos a los valores del éster acrílico, el más conocido es el metilmetacrilato, y también al acrilonitrilo y el estireno que presentan temperaturas de transición vítreas (Tg) en rangos de 85°C-100 °C, 107°C y 90-105°C respectivamente, coincidiendo con lo obtenido⁴⁷.

Finalmente, en la zona (6), se presenta la descomposición total y degradación total de los polímeros o el material a evaluar, por el rango de temperaturas de esta zona. También se observa la presencia de cargas minerales, como carbonatos de calcio que se llegan a descomponer a temperaturas cercanas de los 800°C presentándose en el pico más pequeño de esta zona⁴⁸.

2.5.2 Resultados obtenidos de Termogravimetría. Para estos resultados, se analizó, la pérdida de peso por el incremento de temperatura, que permiten caracterizar las materias primas del aditivo ERR. Como referente se expone la Figura 11, tomada de la literatura. En ella se presenta una curva (Negra y de trazo continuo) que también divide esta prueba en tres grandes zonas. La primera consiste en la pérdida de compuestos volátiles altos, la segunda de volátiles medios y pérdida de agua y finalmente la tercera consiste en la calcinación y formación de cenizas por parte de óxidos metálicos o sales. Cada una de ellas se caracteriza por la liberación de distintos componentes como se muestra en el ejemplo de CaC₂O₄.

⁴⁷ UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. Materiales Poliméricos y Compuestos. Temperaturas de fusión y de transición vítrea de algunos termoplásticos y elastómeros. [En línea] [Consultada en:20 de Agosto de 2018]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html

⁴⁸ MANO, Joao F. Propiedades térmicas de los polímeros en la enseñanza de la ciencia de materiales e Ingeniería Estudios DSC sobre Poli (tereftalato de Etileno). Journal of Materials Education. Universidad Autónoma del Estado de México/University of North Texas. Toluca, México. Pg. 155-170

A partir de la Figura 10, y con los resultados de termogravimetría, también se dividió la Imagen 3 para su análisis, en tres zonas con un sentido vertical: Zona 1, Zona2 y Zona 3. En la zona (1), se presentó la liberación de solventes orgánicos según el rango de temperatura mencionado en el DSC. La función de estos, dentro del aditivo ERR es el secado físico rápido en los productos impermeabilizantes, frente a otros recubrimientos del mercado⁴⁹. Se presentó una pérdida de peso de 34.02%, correspondiente a la tercera parte del total del aditivo, lo cual beneficiaría la propiedad previamente mencionada, según el porcentaje de adición dentro de la formulación de los experimentos.

En la zona (2), se presentó la evaporación de agua del aditivo ERR, correspondiente a un 32.33% del total. Este se presenta como la base del solvente del aditivo, siendo un producto ecológico además de ser el de mayor porcentaje en cantidad, y añadir la fluidez evaluado en el literal 2.2 en la propiedad de viscosidad⁵⁰.

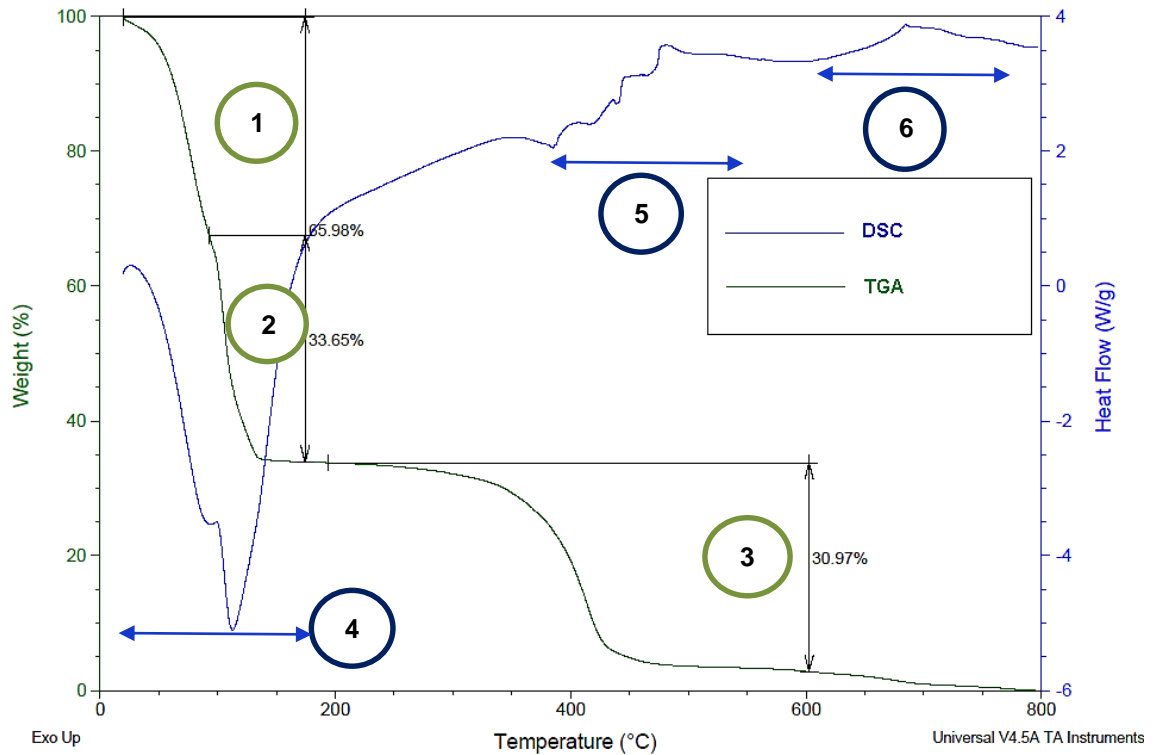
Finalmente, en la zona (3), se presentó la transición de temperatura vítrea (Tg) mencionada en el literal anterior con una curva descendente hasta los 400°C. Esta transición coincide con los valores analizados en DSC de esteres acrílicos y del estireno, mencionados previamente. Esta zona presentó pérdida de peso de 30.97% de dispersión polimérica, lo cual otorgaría a los experimentos compatibilidad con las otras resinas como materias primas favoreciendo la estabilidad final.

El porcentaje restante de la zona 1,2,3 correspondiente a 2.68% de peso total, que se encuentra en rangos cercanos a 600°C, se puede asociar a cargas minerales como carbonatos, dióxido de titanio que presentan bastante estabilidad a temperaturas superiores de 700 ° C⁴⁸.

⁴⁹ INPRA LATINA. Consideraciones sobre el tiempo d secado y curado. [En línea] 13 de Septiembre de 2012 [Consultada en:20 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201209132538/articulos/pinturas-y-recubrimientos/consideraciones-sobre-secado-y-curado-i.html>

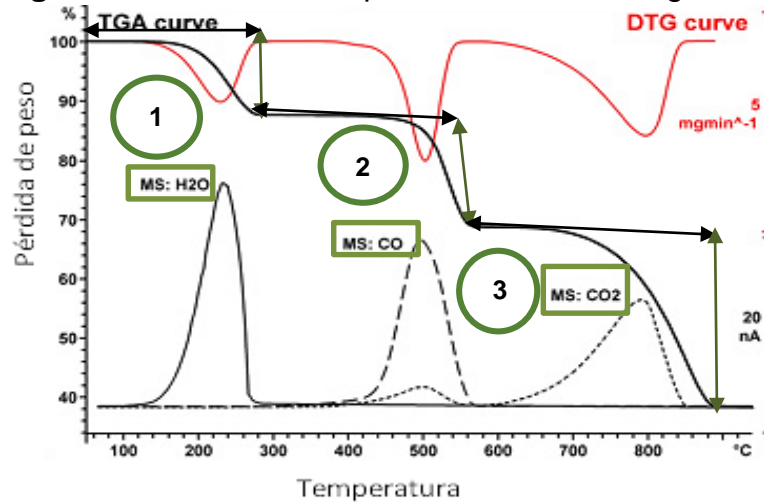
⁵⁰ MASSISIMO PIRRACCINI TREATMENT. Diferencia entre los productos base solvente y los con base agua. [En línea] [Consultada en:20 de Agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.mptreatment.com/es/f-a-q-es/descubre-la-diferencia-entre-los-productos-base-solvente-y-los-con-base-agua.html>

Imagen 3. Análisis de DSC y TGA del aditivo ERR



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Zonas de compuestos liberados luego del análisis TGA



Fuente: Análisis de los gases desprendidos (EGA). Técnicas acopladas. Descomposición de CaC_2O_4 por TGA. [En línea] [Consultada en: 20 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2MQP2hv>

La determinación de las anteriores propiedades físicas y químicas, cobra importancia para predecir el comportamiento del aditivo ERR y los dos modificadores de pH, dentro de los experimentos a preparar. Estos compuestos pueden llegar afectar la estabilidad y coalescencia de los experimentos, por características como pH, densidad y la viscosidad de manera individual o durante el proceso de mezclado. Con respecto al aditivo ERR, se confirmó su naturaleza de dispersión polimérica mediante las pruebas de DSC y TGA.

3. EVALUACIÓN DEL ADITIVO ERR Y LOS MODIFICADORES DE pH (MPA y MPH3) EN EL DESEMPEÑO DE LAS LAM

Este capítulo expone el procedimiento de incorporación del aditivo ERR y evaluación de 3 Membranas Líquidas Aplicadas pertenecientes al portafolio de SIKA COLOMBIA S.A.S codificados como P1, P2 y P3. En cada uno de los tres, se incorporó el aditivo ERR (Naturaleza polimérica) y se modificó la cantidad actual del modificador de pH según la ficha técnica del aditivo, realizando tres diseños experimentales 3^2 con tres replicas para cada prueba. Los modificadores de pH se etiquetaron como MPA y MPH3, los cuales tenían como función regular pH dentro de cada experimento. El primero es una solución de amoníaco y el segundo es conocido como una alcanóamina. Para cada experimento, se evaluaron las siguientes pruebas: apariencia, tiempo de secado, resistencia temprana a la lluvia ("*Early Rain Resistance*"), ensuciamiento, adherencia, inmersión en agua, permeabilidad del vapor de agua, elongación, tensión y absorción de agua. Estas pruebas permitieron seleccionar la formulación de mejor desempeño. Posterior a esto, se compararon los experimentos seleccionados con 3 productos de la competencia, codificados como X1, X2 y X3.

3.1 INCORPORACION DEL ADITIVO ERR Y LOS MODIFICADORES DE pH EN LOS PRODUCTOS ACTUALES

Para la realización de los experimentos, inicialmente se seleccionaron seis diseños experimentales 3^2 , donde cada uno de ellos corresponde a un producto LAM actual de la empresa patrocinadora (P1, P2 y P3) con la incorporación del aditivo para poder definir los experimentos de mejor desempeño respecto a los actuales. A continuación se presentará la descripción de cada factor con sus respectivos niveles, además de la selección final para realizar el procedimiento de incorporación del aditivo y modificador de pH en cada producto actual.

3.1.1 Descripción de los diseños experimentales. Para cada diseño experimental se seleccionó un diseño factorial 3^2 , a partir de la composición básica actual de los productos impermeabilizantes de SIKA COLOMBIA mencionados previamente. Los dos factores del diseño experimental se definieron como el modificador de pH (MPA Y MPH3) y el aditivo ERR, mostrados en la tabla 4, que menciona los niveles como los porcentajes a incorporar dentro de la formulación actual.

Los porcentajes utilizados en cada diseño experimental, respecto al modificador de pH, definidos como niveles, se escogieron con el rango actual trabajado en los productos LAM, que SIKA COLOMBIA ofrece en su portafolio. El proveedor del aditivo ERR, recomienda un porcentaje de modificador de pH de 4.35% de amoníaco puro, donde su correspondiente homologación dentro de cada experimento es definida como MPA.

Tabla 4. Niveles y factores utilizados para la fabricación de los tres nuevos productos

| | Factores | Niveles | | |
|-----|-----------------|----------|-----------|-----------|
| | | Alto (1) | Medio (0) | Bajo (-1) |
| DE1 | MPA (A) | 4% | 3% | 1% |
| | Aditivo ERR (B) | 2% | 1.5% | 1% |
| DE2 | MPH3 (A*) | 3% | 2% | 1% |
| | Aditivo ERR (B) | 2% | 1.5% | 1% |

Fuente: Elaboración propia

Para el segundo modificador de pH, denominado MPH3, debido a su naturaleza química de amina, presenta alta reactividad con las resinas generando inestabilidad del producto⁵¹, por lo cual se redujo un 1% del mismo respecto al MPA.

Para los porcentajes del aditivo ERR el proveedor define dentro su ficha técnica incorporar en la formulación del producto un porcentaje de 1.59% del total, donde se seleccionó un rango que abarcará este valor, definiendo tres niveles a partir de ello: 1%, 1.5% y 2%.

Inicialmente se examinó la afinidad entre el aditivo ERR y cada modificador de pH, mediante el mezclado y la adición de las resinas poliméricas utilizadas actualmente como materia prima para definir los de mejor estabilidad y aplicar las pruebas previamente definidas. Como resultado el aditivo ERR y el modificador de pH MPH3 no presentaron elevada afinidad como se visualiza en el ANEXO A, excluyendo el diseño experimental DE2 mencionado en la tabla 4 para los tres productos actuales P1, P2 y P3 donde se incorporaría el aditivo.

A continuación, en la Tabla 5, se presentarán los tres diseños experimentales trabajados durante este proyecto de grado, donde fue utilizado únicamente modificador de pH MPA.

Tabla 5. Codificación de los diseños experimentales por cada producto actual

| Producto actual | Diseño experimental 1 |
|-----------------|-----------------------|
| P1 | LAM 1 |
| P2 | LAM 2 |
| P3 | LAM 3 |

Fuente: Elaboración propia

⁵¹ GONZÁLEZ, Montse Bosch .*et.al.* PARAMENTOS: NUEVOS REVESTIMIENTOS. Volumen 46 de Aula 'Arquitectura . Universidad Politécnica de Cataluña, 2002.Pg 155.

Los experimentos para cada producto fueron los presentados en la Tabla 6, para un total de 9 ,correspondientes a cada diseño experimental (LAM 1,LAM 2 y LAM 3) teniendo en cuenta 3 réplicas para cada experimento.

Tabla 6. Experimentos para cada LAM según el diseño experimental 3² para cada replica

| Número de experimento | Modificador de pH (A) | % Modificador de pH (B) |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | 4% | 2% |
| 2 | 4% | 1.5% |
| 3 | 4% | 1% |
| 4 | 3% | 2% |
| 5 | 3% | 1.5% |
| 6 | 3% | 1% |
| 7 | 1% | 2% |
| 8 | 1% | 1.5% |
| 9 | 1% | 1% |

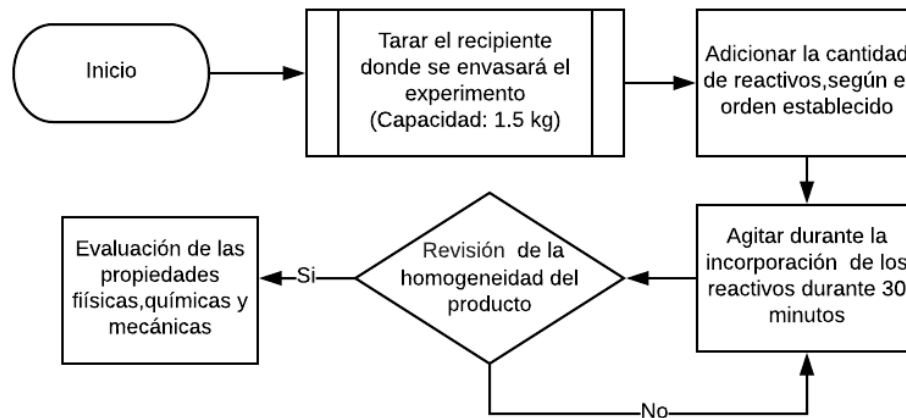
Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Procedimiento de incorporación del aditivo ERR en los productos P1,P2 Y P3. Para este procedimiento de incorporación del aditivo, a partir de la formulación actual de las LAM, fue necesario establecer un orden consecutivo de la posición de cada reactivo como se explicará a continuación:

Para el diseño experimental LAM 1, se adicionaron en el siguiente orden los reactivos de grado industrial: Resinas poliméricas, distribuidor pigmentario, antiespumante, preservantes, carga mineral (carbonato de calcio), base pigmentaria, modificador de pH correspondiente, aditivo ERR, coalescente y aditivos reológicos.

Para los diseños experimentales LAM 2 y LAM 3 se adicionaron los reactivos de la siguiente manera: Agua, resinas poliméricas, dispersantes, aditivos reológicos, base pigmentaria, carga mineral (carbonato de calcio), preservantes, coalescente, varsol, aditivos reológicos, modificador de pH correspondiente, aditivo ERR y antiespumante. En el Diagrama 3, se presenta el procedimiento de preparación y condiciones del equipo de agitación de marca IKA RW BASIC, con una aguja de diámetro de 4 cm a 480 RPM.

Diagrama 3. Procedimiento paso a paso de preparación de las formulaciones para cada experimento



Fuente: Elaboración propia

3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES CUALITATIVAS DE LOS EXPERIMENTOS

Con los nueve experimentos preparados de cada diseño de experimento con sus respectivas replicas, expuesto en la sección anterior, se evaluó de manera visual propiedades como la apariencia de los productos, ensuciamiento “Dirt pick up” e inmersión al agua. Estas pruebas son de importancia para la presentación y estabilidad final de una LAM.

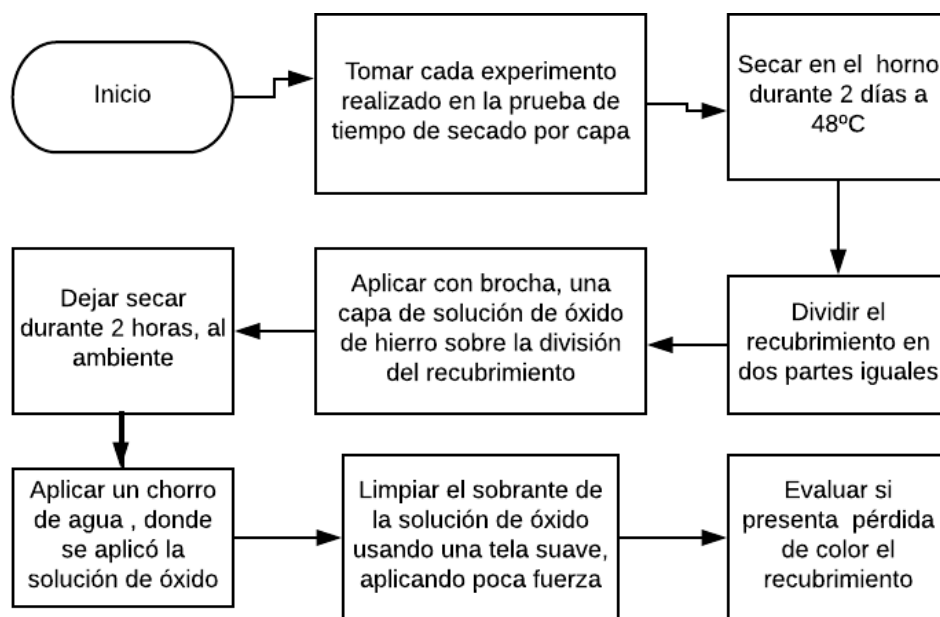
3.2.1 Apariencia final de los experimentos. Para esta prueba se evaluó mediante observación y agitación manual dentro del recipiente de almacenamiento de cada experimento, observando el comportamiento a los 10 minutos luego de su preparación y a las 24 horas, con el fin de verificar su estabilidad frente al tiempo. Así mismo, se observaron propiedades visuales en cuanto a color y formación de dos fases, conocida como sinéresis, que en pinturas es definida como la separación de los solventes, con las cargas y aditivos usados⁵⁴.

⁵⁴ TOLSA T.A GROUP. SOLUCIONES |. [En línea]. ADITIVOS DE CONSTRUCCIÓN, PINTURAS Y ASFALTOS. Reducción de sinéresis [Consultada en: 12 de agosto de 2018]. Disponible en: http://www.tolsa.com/aditivos/productos_soluciones/reduccion-de-sineresis/

3.2.2 Prueba de ensuciamiento “Dirt pick up”. Para esta prueba el procedimiento utilizado se tomó a partir del “Manual de pinturas y recubrimientos de plástico”⁵⁵ con la prueba denominada “Determinación de la tendencia al ensuciamiento de pinturas”, en la cual se utilizó una solución de óxido de hierro en agua sobre el recubrimiento, definido como el agente de suciedad en la aplicación.

Con el fin de examinar esta prueba, se tomó cada vidrio utilizado de la prueba de tiempo de secado explicado en el literal 3.3.1., donde se realizó la aplicación de cada experimento preparado y fue complementado con el procedimiento presentado en la Diagrama 4. Se utilizó como equipo el horno MEMMERT BE 400 para el aceleramiento del secado y curado del recubrimiento.

Diagrama 4. Procedimiento de la prueba de ensuciamiento



Fuente: Elaboración propia

El motivo del uso de una solución de óxido de hierro en agua, es imitar una posible oxidación de materiales metálicos que son superficies donde se puede aplicar las LAM; además de analizar el comportamiento de matices de color y texturas, frente a sustancias que dañen el aspecto visible, por sustancias contaminantes presentes en el ambiente al que será expuesto⁵⁶.

⁵⁵ SCHWEIGGER. Op.cit., p. 146.

⁵⁶ PINTURAS ESPECIALES MADRID, TOLEDO [En línea]. Efecto del óxido: Proceso de aplicación. [Consultada en: 12 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://pinturasespeciales.es/producto/efecto-oxido-2/>

Imagen 4. Aplicación de la prueba de ensuciamiento con solución de óxido de hierro



Fuente: Elaboración propia

Esta prueba permitió conocer el cambio de las propiedades visuales frente a condiciones ambientales como suciedad, componentes inmersos o particulados dentro de la lluvia y el deterioro, fundamental para definir la vida útil y apariencia a lo largo del tiempo, luego de la aplicación de la LAM en cualquier superficie.

3.2.3 Prueba de inmersión en agua .Para la evaluación cualitativa de esta prueba se realizó la aplicación de cada experimento, en una superficie de vidrio ,con un espesor de 50 mils correspondiente a una capa LAM, con ayuda del aplicador de 8 lados presentado en la Imagen 6.a). El vidrio utilizado poseía dimensiones de 20 cm x 10 cm, donde se dejó curar y secar cada experimento durante 48 horas.

Luego de cada aplicación realizada, se sumergió en un recipiente de 1 Gal, el cual fue llenado con un 1L de agua, de manera que la mitad de la aplicación , quedará dentro del agua y la otra mitad a condiciones ambiente, como se muestra en la Imagen 5. El tiempo de duración de esta prueba correspondió a 8 días y se examinó los cambios visuales presentados.

Esta prueba es fundamental para saber el comportamiento de las formulaciones preparadas frente a ambientes extremos con altos flujos de agua luego de su aplicación, en sitios como piscinas. Si se presentan deformaciones de las LAM, bajarían la calidad del impermeabilizante y aumentarían los costos para el cliente.

Imagen 5. Prueba de inmersión de agua para los experimentos preparados



Fuente: Elaboración propia

3.3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MÉCANICAS

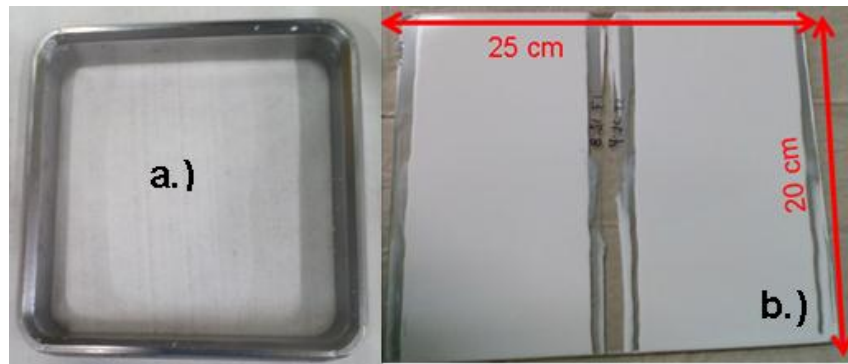
A continuación, se presenta la metodología utilizada para las pruebas de tiempo de secado, absorción de agua, tensión, elongación, adherencia, permeabilidad al vapor de agua y resistencia a la lluvia. En este última se definió el protocolo para su evaluación. Por otra parte, también se ejecutaron las pruebas de pH y viscosidad, con los procedimientos presentados en el capítulo 2, literal 2.1 y 2.2.

3.3.1 Prueba de tiempo de secado por capa. Para esta prueba se trabajó con la NTC 598⁵⁷ que determina el tiempo de secado y curado de recubrimientos orgánicos y la norma ASTM D711⁵⁸, basada en el “Pick-up” o “Adhesión de secado”, que mide el tiempo de secado de la pintura, explicado en el Diagrama 5. Para la preparación de las probetas, se utilizó una superficie de vidrio de 20 cm x 25 cm x 0.5 cm como se presenta en la Imagen 6. b.). Se aplicó cada experimento sobre el vidrio, mediante un aplicador de pinturas metálico de 8 lados, empleando un espesor de 15 mils propio de esta herramienta, como se presenta en la Imagen 6 a.) ocasionando un esparcimiento uniforme sobre la superficie de vidrio.

⁵⁷ NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Método para la determinación del secado, curado, formación de película de recubrimientos orgánicos a temperatura ambiente. NTC 598.2005. www.icontec.org

⁵⁸ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for No-Pick-Up Time of Traffic Paint. ASTM D711. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

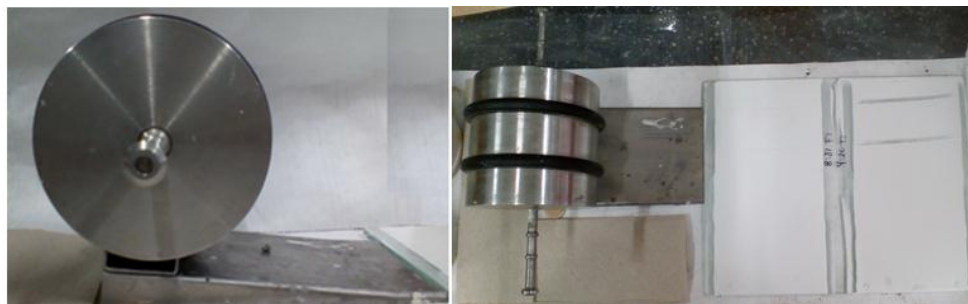
Imagen 6. a.) Aplicador de 8 lados metálico b.) Vidrio de aplicación de cada tratamiento realizado



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizado el procedimiento anterior y según la evaluación manual del secado con el dedo pulgar en la superficie de vidrio donde se aplicó, se realizó otro procedimiento denominado “Pick up”, en el cual se utilizó un rodillo con un peso definido de $5,386 \pm 0,00288$ kg, además de poseer dos anillos de caucho como se expone en la Imagen 7. Este montaje incluyó aparte del rodillo una rampa, la cual se liberaba cada vez que se observará demarcaciones realizadas por los anillos mencionados anteriormente. El resultado numérico perteneciente a esta prueba que es el tiempo de secado se tomó de acuerdo a que la superficie de vidrio con la aplicación del experimento, donde no presentara marcas del rodillo como se explica con más detalle en el Diagrama 5.

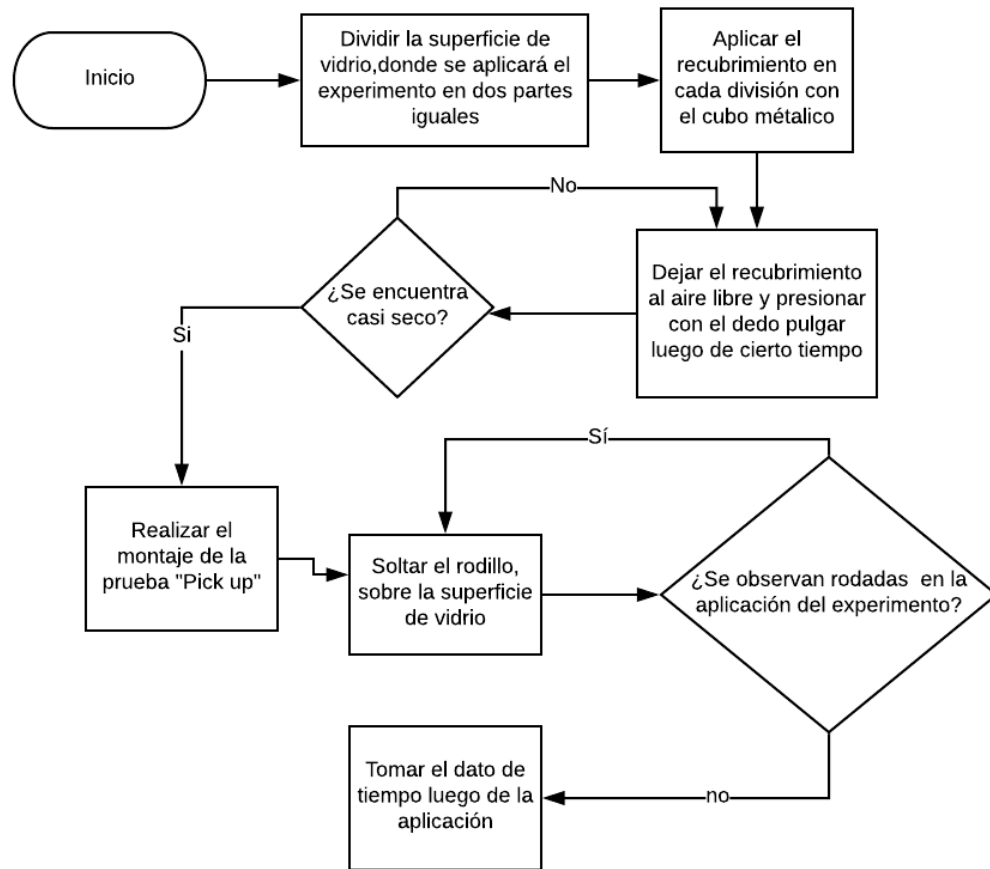
Imagen 7. Montaje para la prueba “Pick up”



Fuente: Elaboración propia

Para cada aplicación se realizó una réplica para conocer el comportamiento estadístico de esta variable respuesta.

Diagrama 5. Procedimiento de tiempo de secado por capa



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Prueba de adherencia. Esta prueba se basó en el procedimiento que expone la norma ASTM D903⁵⁹, para conocer la capacidad de adhesión de impermeabilizantes frente a una superficie, donde se realiza una imprimación, que consiste en la dilución de cada LAM según su clasificación con el uso de una brocha sobre cualquier superficie. Esta prueba tiene como propósito de evaluar la fuerza de desgarre entre la superficie y la LAM aplicada.

En esta prueba se adicionó una tela de refuerzo en la superficie evaluada, luego de la imprimación y aplicación de dos capas del experimento con brocha. Esta tela es conocida como Filtro, que permite valorar el desempeño del impermeabilizante según la fuerza de desgarre que registre el equipo MARK-10 ESM301L⁶⁰. De acuerdo al procedimiento expuesto en la norma, las modificaciones en este

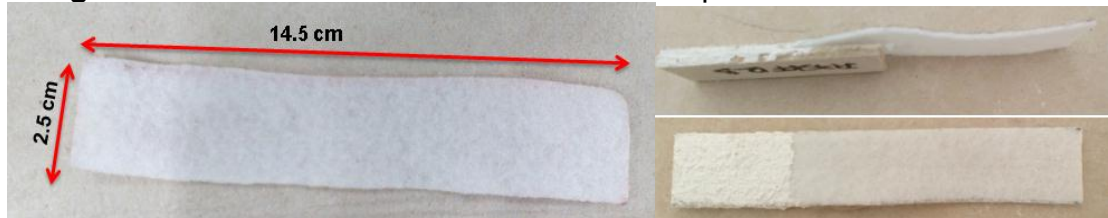
⁵⁹ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Terminology of Adhesives. ASTM D903. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

⁶⁰ CARRERA-GALLISSÀ, E. Caracterización de tejidos. Principales ensayos físicos para evaluar la calidad de los tejidos textiles. Universitat Politècnica de Catalunya. 1ª edición julio 2015. Terrassa. 238 pp

protocolo consistieron en la posición de la tela y la cantidad de LAM usada para ejecutar la prueba, como se expone en el Diagrama 6.

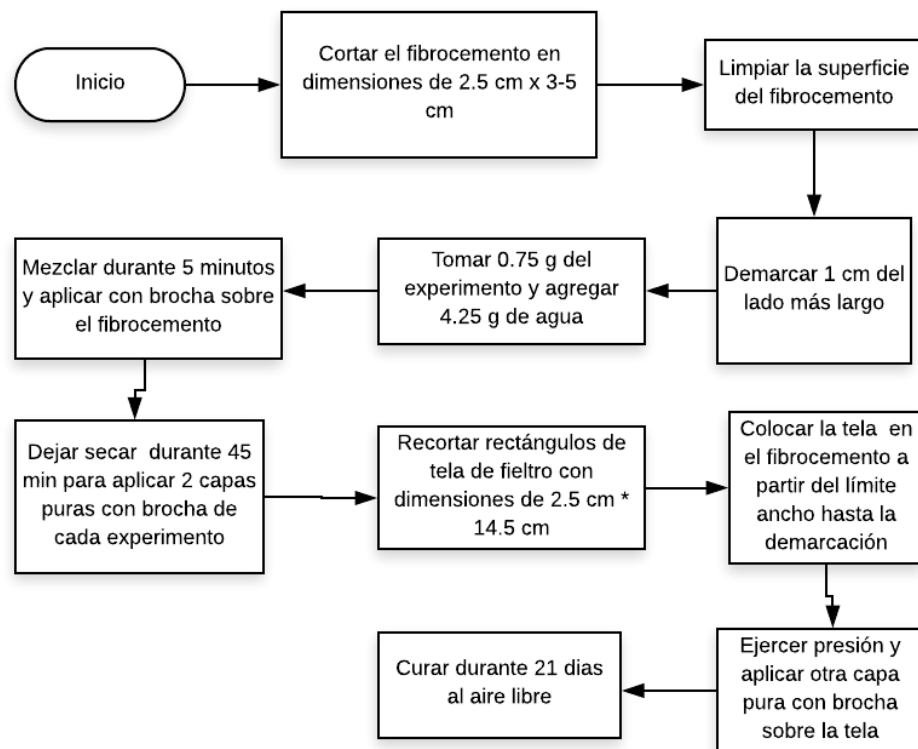
Para la preparación de la superficie con el experimento y mediante el uso de brocha, se utilizó una superficie plana de adhesión conocida como fibrocemento de placas planas de ETERNIT conocido comercialmente como ETERBOARD⁶¹ con dimensiones de 2,5 cm x 4,5 cm. Además, se adhirió manualmente el fieltro con dimensiones de 2,5 cm x 14,5 cm mostrado en la Imagen 8.

Imagen 8. Sustrato de adhesión utilizado en las probetas



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 6. Preparación de las probetas de la prueba de adherencia



Fuente: Elaboración propia

⁶¹ ETERNIT. Placa de fibrocemento Eterboard®.[En línea][Revisado el 7 de Julio de 2018]. Disponible en:<http://www.eternit.com.co/web/eternit/navegador-productos/-/navegador/buscar/placa-de-fibrocemento-autoclavada-eterboard->

Finalmente se evaluó la fuerza de desgarre con el equipo MARK-10 ESM301L, ubicando los extremos de la probeta (Filtro y fibrocemento) a las mordazas del equipo como se presenta en la Imagen 9. La velocidad que se programó en el equipo fue de 50 mm/min usando tres replicas por cada experimento.

Imagen 9. Montaje para la evaluación de la fuerza de desgarre



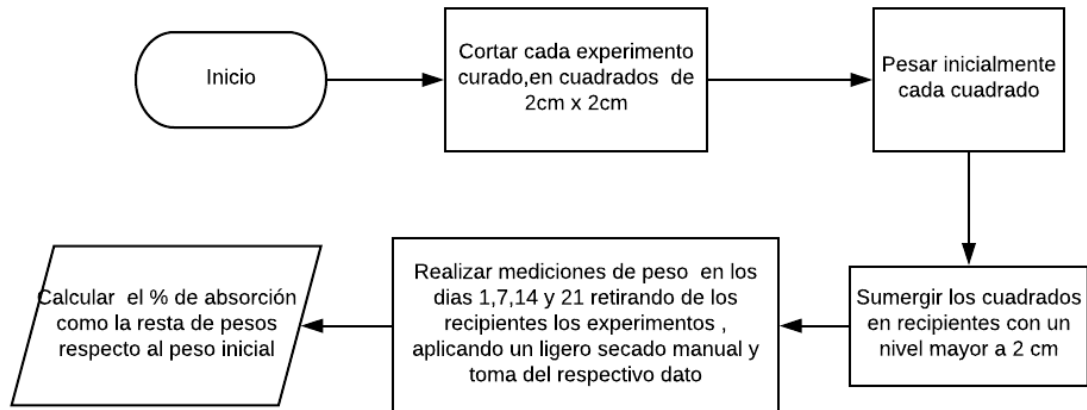
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Prueba de absorción de agua. Esta prueba consistió en evaluar la cantidad de agua absorbida de cada LAM, luego de un tiempo de curado de 15 días como se expone en el Diagrama 7. Para ello, se seleccionó una parte de cada experimento curado, donde se cortaron 2 cuadrados correspondientes a las dos replicas a evaluar, con dimensiones de 2cm x 2cm para cada experimento.

Este fenómeno de absorción de agua, está relacionado con la humedad que absorba, donde, a mayor grado, genera una pérdida de resistencia mecánica y una mala calidad del sistema impermeabilizante, generando costos adicionales para el consumidor. Este comportamiento está basado en la polaridad que presenta entre el agua y las resinas poliméricas que son adicionadas al impermeabilizante⁶². Se debe tener en cuenta que dentro de las LAM debe tenerse en cuenta el nivel de hidrofobicidad de cada polímero. El más hidrofóbico conocido usado en LAM, es el estireno seguido de los acrílicos y metil acrílicos, como el que presenta el aditivo ERR como se dedujo en el literal 2.5.1 y 2.5.2.

⁶² SCHWEIGGER.Op.cit.,p. 55

Diagrama 7. Procedimiento para la ejecución de absorción de agua



Fuente: Elaboración propia

En la literatura se menciona que los impermeabilizantes deben presentar una excelente resistencia con bajas cantidades de absorción de agua en peso en un rango de 20 al 30%, como la normativa europea lo presenta⁶³. Si supera estos rangos, se observará un material poroso, disminuyendo su calidad y posiblemente, aparezca nuevamente la filtración de agua en la construcción.

3.3.4 Prueba de permeabilidad al vapor de agua. Para esta prueba se valoró la capacidad que tiene el impermeabilizante para impedir el paso de flujos de agua en estado gaseoso (Vapor), luego de un tiempo de curado de 15 días para cada experimento. Para ello se toma la pérdida de agua en peso, durante distintos tiempos medidos en días, por unidad de área. Se utilizaron probetas de vidrio con forma cilíndrica, con un diámetro de 2,5 cm y altura de 5 cm, en las cuales fueron llenadas hasta un nivel de 4,5 cm con agua. Finalmente se adhirió la membrana curada de cada experimento, que fue cortada previamente de forma circular de manera que quedara fija como se presenta en la Imagen 10.

Se tomó el dato de peso inicial en el tiempo 0 y otros pesos en los días 1, 7, 14 y 21 en la balanza analítica OHAUS PIONEER PLUS - PA224.

Para el cálculo del área, se midió el radio de cada membrana cortada, en los experimentos como se presenta en la Ecuación 1, con unidades de g/m².

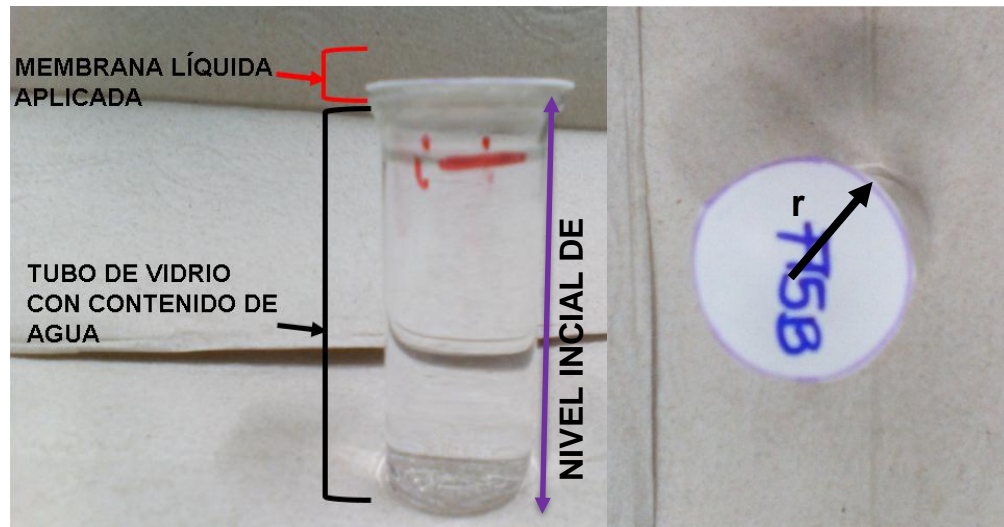
Ecuación 1. Cálculo de porcentaje de permeabilidad de agua

$$\text{Permeabilidad} = \frac{\text{Peso inicial}(i) - \text{Peso final}(t)}{\text{Area}} \quad (1)$$

$$\text{Area} = \pi r^2$$

⁶³ LABORATORIO NACIONAL DE PROTECCIÓN AL CONSUMIDOR DE MEXICO. Impermeabilizantes 5ª @.[En línea][Revisado el 8 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100338/Impermeabilizantes.pdf>

Imagen 10. Montaje de permeabilidad vapor de agua



Fuente: Elaboración propia

Además de evaluar numéricamente la permeabilidad al vapor de agua con dos réplicas, se inspeccionó visualmente el comportamiento del experimento curado respecto al tiempo, en presencia de un ambiente de alta humedad, independientemente que no estuviera en contacto directo con el agua.

3.3.5 Pruebas de tensión y elongación. El procedimiento utilizado se guía a partir de la norma ASTM D2370⁶⁴, la cual evalúa la máxima elongación y tensión ejercida por los impermeabilizantes orgánicos luego de del curado de la membrana, obteniendo un material elástico. De esta prueba se obtienen dos variables respuesta: La fuerza ejercida por unidad de área conocida como la tensión, y el porcentaje de elongación del material respecto que consiste en el desplazamiento desde una posición inicial hasta una final hasta la fractura del material medida por el equipo mencionado en el literal 3.3.3 en la prueba de adherencia. El procedimiento de ambas pruebas mecánicas se expone en el Diagrama 8.

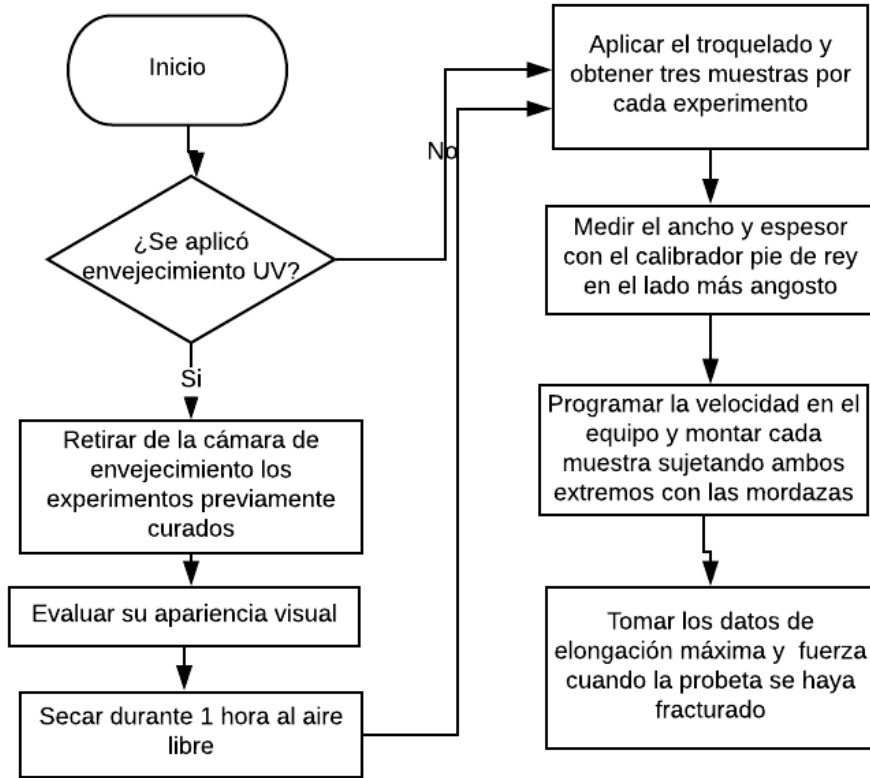
Adicionalmente, se aplicó la prueba ASTM G154⁶⁵ a cada experimento curado, la cual expone materiales frente a una simulación de rayos UV ,acelerando el envejecimiento del material mediante el manejo de dos ciclos climáticos conocidos como condensado y rociado de agua, por medio del equipo con referencia QUV. Luego de realizada esta prueba se evaluó la prueba de tensión y elongación nuevamente, con el fin de comparar con las LAM antes y después de realizado este

⁶⁴ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings.ASTM D2370. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

⁶⁵ AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials.ASTM G154. PA: ASTM. 2014. www.astm.org

procedimiento. La duración de esta prueba correspondió a 500 horas dentro del equipo previamente mencionado.

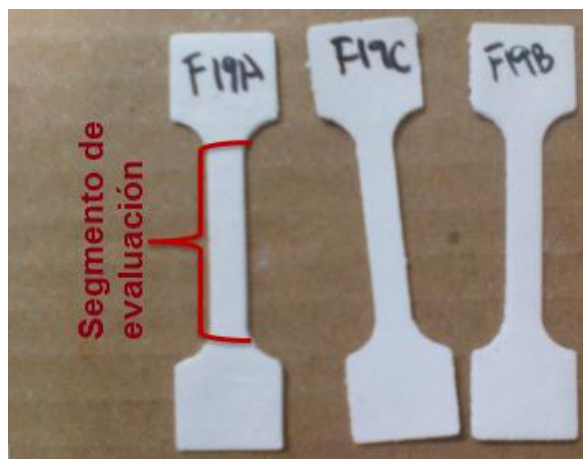
Diagrama 8. Procedimiento de medición de tensión y elongación



Fuente: Elaboración propia

Para las mediciones correspondientes de tensión y elongación en el equipo, fue necesario utilizar una troqueladora manual con forma de “hueso” sobre los experimentos curados usando tres replicas por cada experimento. En la sección más angosta del molde, se realizó una medición de dimensiones mediante un calibrador pie de rey, para saber el área de evaluación de la probeta como se presenta en la Imagen 11 (Ancho y espesor). Se programó en el mismo equipo de la prueba de Adhesión presentada en el literal 3.2.3, donde se sujetó de ambos extremos del molde, con una velocidad de 25 mm/min para realizar las respectivas mediciones según el diagrama presentado previamente y los cálculos según la Ecuación 2 y 3.

Imagen 11. Segmento de evaluación de las probetas para pruebas mecánicas



Fuente: Elaboración propia

Ecuación 2. Calculo de tensión mecánica

$$T = \frac{\text{Fuerza máxima}}{\text{Área de evaluación}} \quad (2)$$

Ecuación 3. Calculo de elongación

$$\% \varepsilon = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_i}{\varepsilon_i} \quad (3)$$

3.3.6 Resistencia temprana a la lluvia. Debido a que en la literatura no se presenta fácilmente esta información respecto a este procedimiento estandarizado, por factores como disponibilidad del equipo o confidencialidad de las empresas que aplican esta prueba, fue necesario especificar un procedimiento de acuerdo a la información encontrada y el equipo utilizado como se mencionara a continuación:

Para esta prueba se utilizó el equipo que se observa en la Imagen 12, que pertenece exclusivamente a la empresa patrocinadora, el cual esta automatizado para controlar temperaturas y de manera manual, los caudales. El protocolo establecido para esta prueba se tomó a partir de la compañía BASF⁶⁶ que posee un paso a paso replicable y de la patente codificada US7897669B2⁶⁷, que trabajan

⁶⁶ BASF Corporation. Dispersions and Resins. [En línea] [Consultada en: 12 de Agosto de 2018]. Disponible en: https://worldaccount.basf.com/wa/NAFTA~en_US/Catalog/Dispersions/doc4/BASF/PRD/30578050/.pdf?asset_type=pi/pdf&language=EN&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb28017b0fe.pdf

⁶⁷Hilti AG. ADDITIVE FOR IMPROVING THE EARLY RESISTANCE TO DRIVING RAIN OF COATING COMPOSITIONS AND THE USE THEREOF. Inventors: Christian Foerg, Klaus Gebauer,

con condiciones en común como lo es el caudal de 1 Gal /min y la temperatura máxima con un valor de 20 ° C , donde se sintetizo Diagrama 9. El tiempo de aplicación de esta prueba se estableció con un margen de 10 a 30 minutos para cada experimento, bajo el flujo de agua definido previamente.

Para evaluar los experimentos, fue necesario realizar el procedimiento de tiempo de secado del literal 3.3.1, en el cual se modificó el espesor de la aplicación, a 30 mils utilizando las superficies de vidrio.

Para definir numéricamente esta prueba, se tuvo en cuenta los resultados de tiempo de secado que serán presentados en literal 3.3.2.3, como dato inicial para la medición. La medida final se estableció de acuerdo a el tiempo donde no se presentará desprendimiento de la LAM sobre la superficie de vidrio. Se realizó tres replicas por cada experimento y se evaluó tiempos aproximados de ± 15 minutos según los valores promedio obtenidos en tiempo de secado.

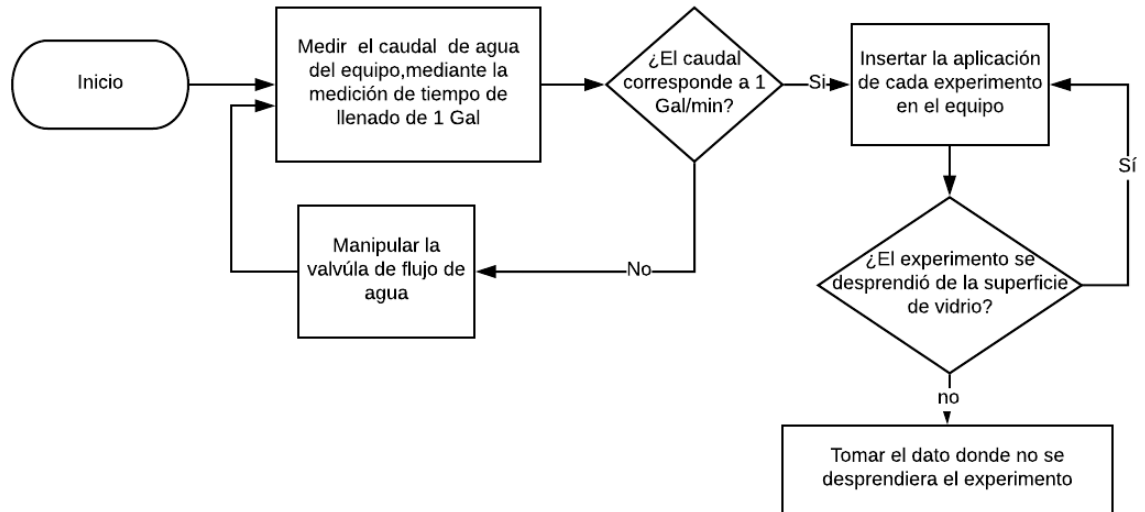
Imagen 12. Equipo de resistencia temprana a la lluvia



Fuente: Elaboración propia

Herbert Muenzenberger, Sebastian Simon. Int. Cl. CSK 5/10. Fecha de solicitud: 8 Julio de 2009. Estados Unidos, patente de investigación. US7897669B2 .14 de enero de 2010.

Diagrama 9.Procedimiento aplicado en el equipo de resistencia temprana a la lluvia



Fuente: Elaboración propia

3.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LAS PRUEBAS EVALUADAS

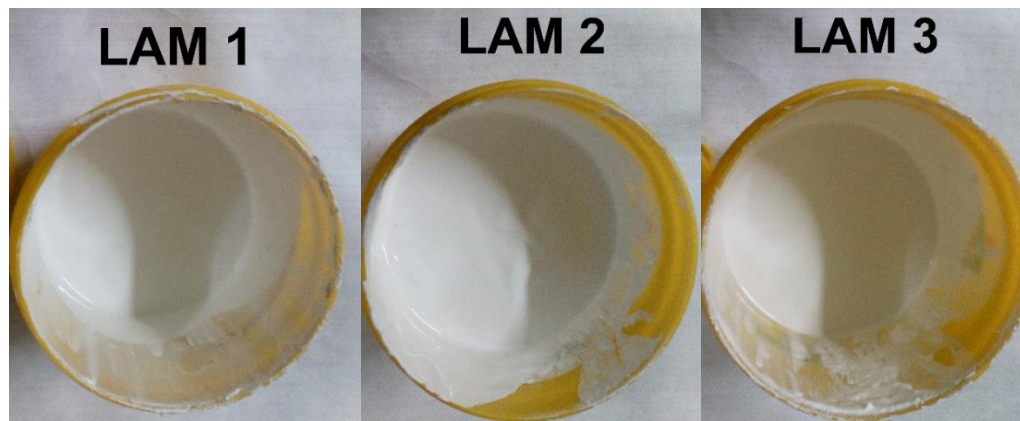
En seguida se presentan los resultados obtenidos de los diseños experimentales LAM 1, LAM 2 y LAM 3 con el fin de comparar y analizar en cada uno de ellos, su desempeño de acuerdo a los porcentajes de aditivo ERR y el modificador de pH PMA. Se evaluó tanto pruebas cualitativas como cuantitativas definidas como físicas, químicas y mecánicas. De igual forma, se aplicaron estas pruebas a tres productos, pertenecientes a la competencia definidos como X1, X2 y X3 dentro del mercado de impermeabilizantes en Colombia donde se buscó superar la calidad de estos y especialmente la resistencia a la lluvia.

3.3.1 Resultados de cualitativos. Debido a que el mercado de pinturas en la rama de impermeabilizantes pruebas presenta ciertas características físicas observables como color o textura, o también cambios visuales debido a la exposición de estos materiales a ambientes extremos como la contaminación del aire (evaluado como prueba de ensuciamiento) o altos flujos de agua, debido al incremento pluvial, ya que afectan directamente la calidad del sistema de impermeabilización fue necesario evaluar y visualizar los resultados de apariencia, ensuciamiento e inmersión al agua que se presentaran a continuación.

3.3.1.1 Apariencia final de los experimentos realizados. Durante la preparación de los experimentos se evaluó fluidez, color, brillantez y estabilidad, debido a la interacción que existe entre el aditivo ERR y el modificador de pH PMA con una selección aleatoria de un experimento por cada diseño experimental.

Dentro de los diseños experimentales LAM 1, LAM 2 y LAM 3 definidos en la tabla 5, con una selección de una muestra aleatoria de cada uno, se observó alta estabilidad, sin división de fases conocida como sinéresis, color blanco brillante y alta fluidez como se presenta en la Imagen 13. Esta descripción se puede comparar respecto a la estabilidad del modificador de pH MPH3 y el aditivo ERR como se presenta en el ANEXO A, donde se generó endurecimiento y secado rápido de la LAM.

Imagen 13. Resultados de apariencia de los tres diseños experimentales



Fuente: Elaboración propia

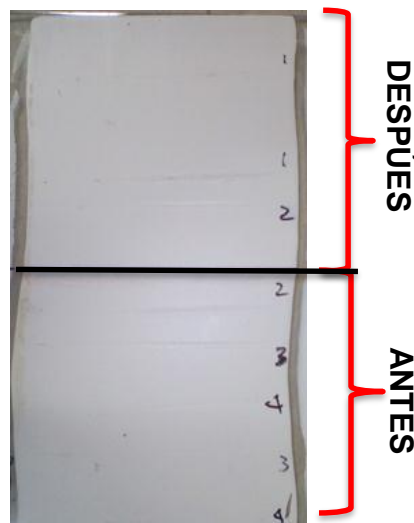
3.3.1.2 Resultados de prueba de ensuciamiento “Dirt pick up”. El desarrollo de esta prueba se ha dado entorno a los recubrimientos en superficies metálicas para pinturas de carrocería, pero no se ha registrado en la literatura de impermeabilizantes en el sector de construcción⁷⁰. Esto es, debido a que no existe una metodología exclusiva y disposición de equipos, por lo que se evaluó visualmente el aspecto antes y después de la aplicación de una capa de solución de hierro la cual simula la corrosión y acumulación de suciedad debido al deterioro de superficies metálicas donde se aplica los productos⁷¹.

⁷⁰ DURAN, José Antonio. Nissan prueba tecnología de nano-pintura que repele la suciedad. [En línea] El financiero. México D.F. 28 de abril de 2014. [Consultada en: 9 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/nissan-prueba-tecnologia-de-nano-pintura-que-repele-la-suciedad>

⁷¹ ACRYLICOS VALLEJO, S.L. Tierras y Óxidos de Hierro. [En línea] [Consultada en: 9 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.daxmagic.nl/downloads/vallejo-pigments-rev04.pdf>

Los resultados visuales de la prueba para los diseños experimentales LAM 1, LAM 2 y LAM 3 se muestran en las imágenes 14 y 15 respectivamente con la selección de una muestra aleatoria. En el primer diseño experimental (LAM 1) presentado en la Imagen 14, se presentó una alta resistencia frente a la solución de óxido de hierro aplicada, por lo que esta LAM no se vio afectada ni en textura ni color, quedando casi intacta con su comparativa.

Imagen 14. Comparación prueba de ensuciamiento de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

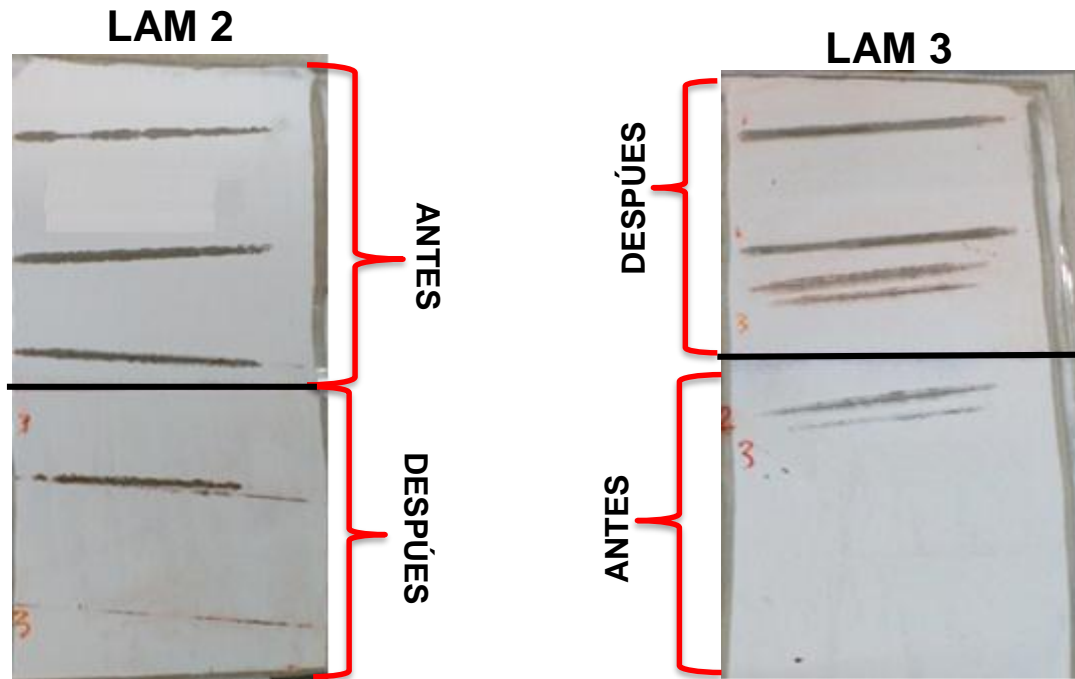
En los diseños experimentales LAM 2 y LAM 3, se observó una pérdida de color respecto a la aplicación inicial. Ambos comportamientos mencionados previamente, se presentan en comparación con el diseño experimental LAM 1, que contenía resinas como acetato de vinilo híbrida con polímeros acrílicos, que presenta bastante resistencia a la suciedad, debido a su comportamiento de alta hidrofobicidad, debido a la tensión superficial generada⁷⁴. En comparación los diseños experimentales LAM 2 y LAM 3, que poseían resinas híbridas de poliuretano y acrílicas, que presentaron menor resistencia al ensuciamiento, ya que se observan ciertas zonas rojas provenientes del óxido de hierro aplicado como se presenta en la Imagen 15.

Ambos comportamientos se explican como una relación directa: Entre mayor hidrofobicidad, menor suciedad en el recubrimiento. Esto se ha estudiado en nano recubrimientos donde a medida que se refuerza la matriz polimérica con otro tipo de

⁷⁴ VANDEZANDE, Gerald. Improved Dirt Pickup Resistance Critical to Future Coating Innovation. [En línea]. [Consultada en: 12 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.pcimag.com/articles/87720-improved-dirt-pickup-resistance-critical-to-future-coating-innovation-1>

polímeros, confiere propiedades especiales debido a la unión entre partículas poliméricas, generando poros de tamaños muy diminutos, respecto al tamaño de partículas que generan suciedad como el óxido de hierro⁷⁵.

Imagen 15. Comparación prueba de ensuciamiento de LAM 2 y LAM 3



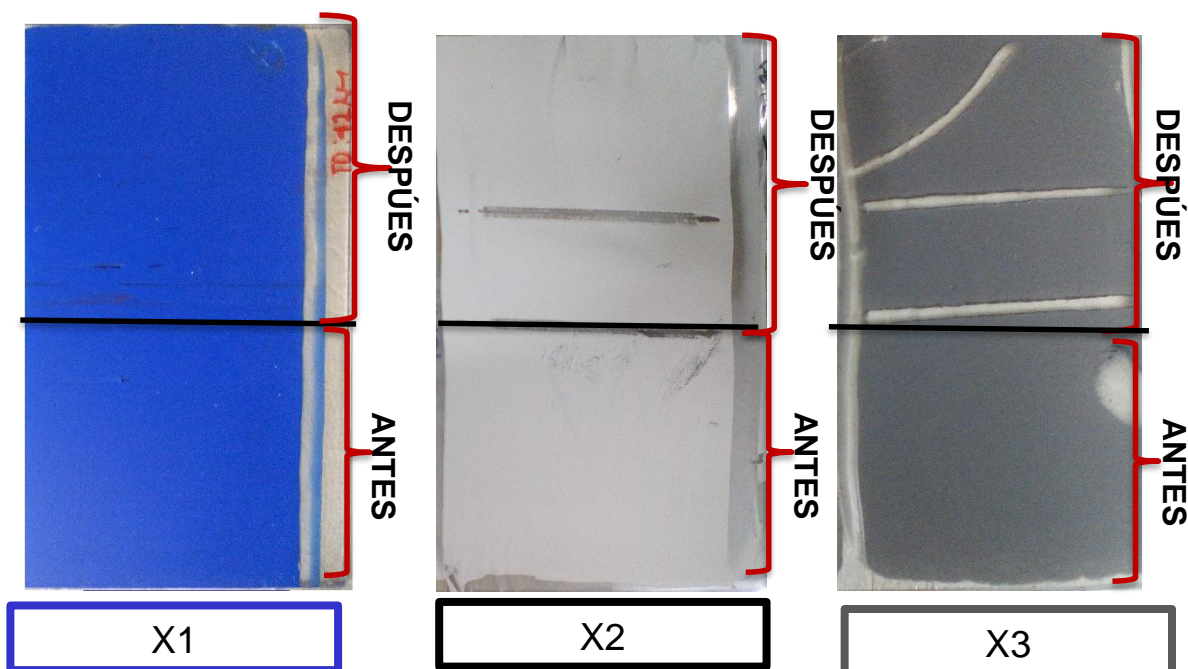
Fuente: Elaboración propia

También se evaluaron los resultados de los productos de la competencia codificados como X1, X2 y X3. En ellos se encontró muy buena resistencia a la suciedad respecto a los diseños experimentales LAM 2 y LAM 3 como se presenta en la Imagen 16. Así mismo, se presentó cierta similitud respecto entre el diseño experimental LAM 1 y el producto X1 por la apariencia visual de brillantez, característico de las resinas acrílicas con componentes de acetato de vinilo, siendo un copolímero con elevado desempeño de brillo respecto a otras resinas⁷⁶. El comportamiento de cada producto frente a la suciedad se menciona en las fichas técnicas una buena resistencia a la intemperie o a la suciedad.

⁷⁵CHAVERRA, Duván. Nano-recubrimientos para automóviles. [En línea]. INPRA LATINA: Recubrimientos y pinturas [Consultada en: 9 de Octubre de 2018]. Disponible en: shorturl.at/fDMU3

⁷⁶ ALONSO, José Felipe. RESINAS VINILICAS. PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización. [En línea]. Universidad Politécnica de Madrid [Consultada en: 12 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>

Imagen 16. Resultados prueba de ensuciamiento de productos de la competencia



Fuente: Elaboración propia

3.3.1.3 Resultados de inmersión en agua. Esta prueba tiene como objeto evaluar la resistencia de los productos frente a flujos de agua prolongados (Mas de 8 días) y constantes, que actualmente se relaciona con extensas épocas pluviales en distintas temporadas del año, como lo menciona el IDEAM donde se ha incrementado en 25% respecto al promedio mensual de milímetros cúbicos⁷⁷.

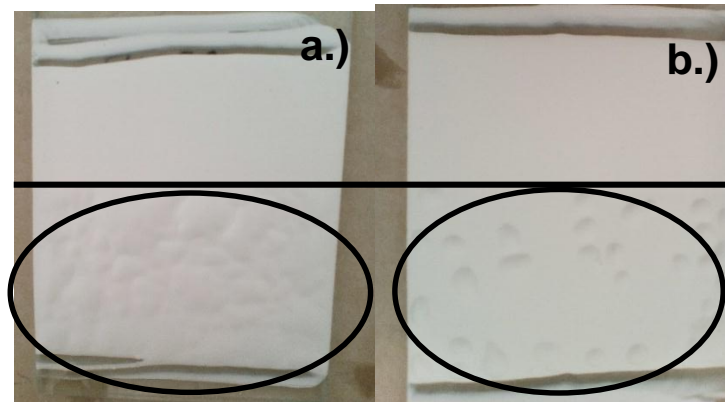
Como resultado en el diseño experimental LAM 1, se formaron cantidades significativas de burbujas conforme se aumenta el aditivo, como se presenta en la Imagen 17, donde el primer producto posee 4% (Izquierda) y 3%(Derecha) del aditivo. En comparación con los diseños LAM 2 y LAM 3 no se presentaron burbujas, lo que representa una estabilidad constante frente al contacto prolongado del producto y de agua.

El comportamiento presentado en el diseño experimental LAM 1, se explica a partir de la naturaleza de la resina polimérica usada con la interacción del aditivo ERR a distintos porcentajes dentro de la formulación, donde el aumento la capacidad de formar vapor de agua debajo de la aplicación del experimento, genera deformación en forma de burbujas en el material, mecanismo conocido en la literatura como flujo inducido. Este fenómeno, consiste en el paso de agua sobre la superficie de

⁷⁷ EL TIEMPO. Este mayo ha sido el cuarto más lluvioso en los últimos 28 años. [Sitio Web]. [Consultada en: 10 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/este-mayo-el-cuarto-mas-lluvioso-de-los-ultimos-28-anos-216616>

aplicación y aglomeración de material generando burbujas⁷⁸. En el sector industrial de impermeabilizantes, es conocido como “abolsamiento”, debido a que el agua retenida entre la superficie y el impermeabilizante se evapora.

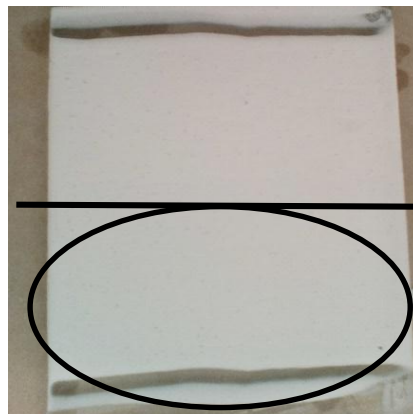
Imagen 17. Burbujas formadas en LAM 1



Fuente: Elaboración propia

Para los diseños LAM 2 y LAM 3, al ser de la misma base polimerica en su formulacion no presentó ninguna alteracion frente a la aplicación y la textura del mismo en el tiempo de ejecución de la prueba. Se puede apreciar que las resinas acrilicas híbridas con poliuretano son excelentes, frente a la prueba de inmersión de agua como se presenta en la Imagen 18 con la selección aleatoria de un experimento.

Imagen 18. Resultado inmersión de LAM 2 y LAM 3



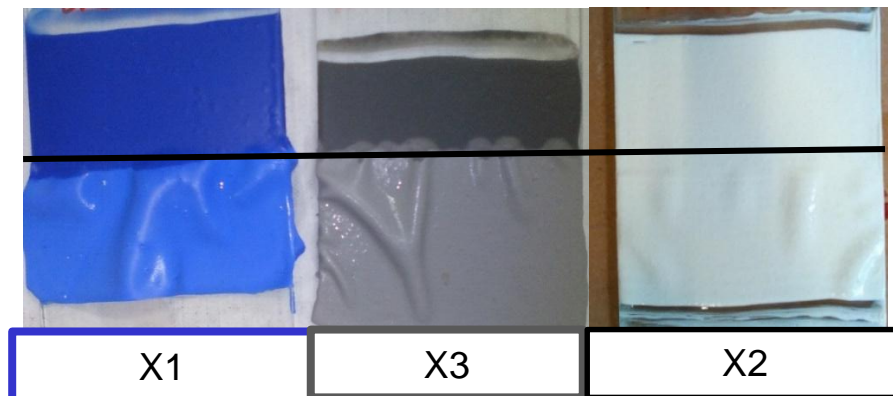
Fuente: Elaboración propia

⁷⁸ YOUN ,Sul, I.*et.al.* Bubble development in a polymeric resin under vacuum. Polymer Engineering & Science, 52 (2012). 1733–1739. doi:10.1002/pen.23112

Esta prueba también se evaluó para los tres productos de la competencia, como se expone en la Imagen 19. Se encontró que el producto X1, en la parte sumergida se desprendió de la superficie de vidrio, además de presentar contracción del material, por lo que este producto tiende a deformarse a altos flujos de agua. En cuanto al producto X3, presentó cambio de textura y presentación de dobleces o “arrugas” lo cual hace que el material baje la calidad del sistema impermeabilizante. Como resultado, estos dos productos no presentan buena resistencia a grandes flujos de agua debido a su deformación, a diferencia de los diseños LAM 2 y LAM 3, que no lo presentan. En cuanto a el producto X2, se presentó un comportamiento similar a los diseños experimentales LAM 2 y LAM 3 por lo que se consideraría que posea una composición polimérica similar.

En cuanto a la formación de burbujas ningún producto de la competencia, se presentó la formación de las mismas por lo que la formación de vapor de agua entre la aplicación y cada producto de la competencia es baja.

Imagen 19. Resultados de inmersión de agua de los productos de la competencia



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Resultados de las pruebas físicas, químicas y mecánicas de cada LAM.

En las pruebas evaluadas que serán presentadas a continuación se realizó la toma de datos numéricos con sus respectivos cálculos como los promedios de las 3 réplicas para cada prueba con su respectivo análisis estadísticos para los tres diseños experimentales y en consecución a cada experimento, basado en los tres productos actuales LAM. Se analizó la interacción entre el aditivo ERR y el modificador de pH PMA, obteniendo como resultado el comportamiento del cada experimento frente pruebas de pH, viscosidad, tiempo de secado, adhesión, tensión, elongación, y resistencia temprana a la lluvia. De otro modo, también se analizó para los tres productos de la competencia.

3.3.2.1 Resultados de LAM 1. Para la fácil identificación se muestra en la tabla 7, la leyenda correspondiente a los gráficos que se presentarán para cada prueba de la LAM 1. En ellas se encontrarán los límites inferiores y superiores en forma de línea recta, seleccionadas como guías de comparación respecto a los productos de la competencia o los referentes que expone la literatura explicados en detalle en cada prueba.

Tabla 7. Leyenda de gráficos de resultados LAM 1

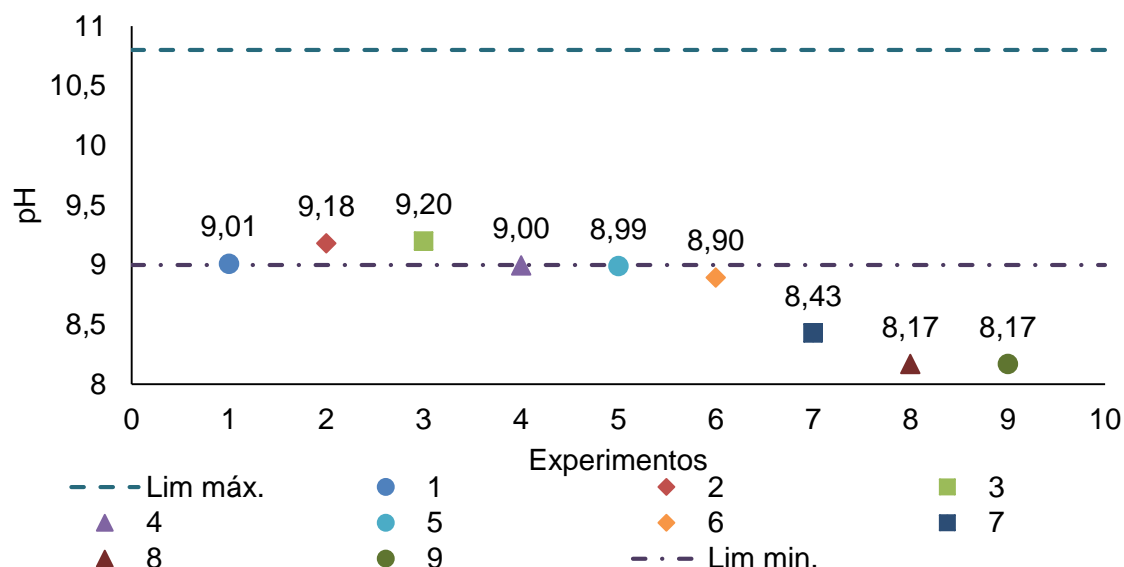
| | | Experimento | Modificador de pH | Aditivo ERR |
|-----------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------|
| ● 1 | | 1 | 4% | 2% |
| ◆ 2 | | 2 | 4% | 1.5% |
| ■ 3 | | 3 | 4% | 1% |
| ▲ 4 | | 4 | 3% | 2% |
| ● 5 | | 5 | 3% | 1.5% |
| ◆ 6 | | 6 | 3% | 1% |
| ■ 7 | | 7 | 1% | 2% |
| ▲ 8 | | 8 | 1% | 1.5% |
| ● 9 | | 9 | 1% | 1% |
| - - - Inf | | Limite Min. | Límite inferior de referencia | |
| - - - Sup | | Limite Max. | Límite superior de referencia | |

Fuente: Elaboración propia

Debido a la naturaleza del aditivo ERR y el modificador de pH MPA, el pH, conocido como el comportamiento de hidronios en cada experimento influye en la vida útil y resistencia frente agentes biológicos como se mencionó en la caracterización respectiva, en el capítulo 2. Así mismo, esta propiedad evalúa la estabilidad de los componentes poliméricos de la LAM, debido al comportamiento de sus cadenas de carbono. A continuación, se presentarán los resultados de pH de la LAM 1.

En el Gráfico 1, que muestra los experimentos de pH de LAM 1, presentó un comportamiento decreciente conforme se disminuye la cantidad de modificador de pH. Los rangos presentados como límite superior y límite inferior en esta propiedad, corresponden a los valores 9 a 11 respectivamente, mencionados en la ficha técnica por del aditivo ERR.

Gráfico 1. Resultados de los pH de los experimentos de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los experimentos de mejor desempeño de LAM 1, se encontró que los valores corresponden a los experimentos 2 y 3 respectivamente, ya que se encuentran sobre valores superior a un pH de 9 y se encuentran dentro del rango óptimo. En cuanto a los experimentos 1, 4, 5 y 6 están en un rango cercano al límite inferior lo cual puede tener un comportamiento más bajo respecto al 2 y 3. Los experimentos 7, 8 y 9 tienen pH al encontrarse por debajo del límite inferior, presentan una vida útil más corta respecto a los otros experimentos lo cual se descartaron respecto a los de mejor desempeño.

La evaluación estadística presentada en el ANEXO B, Tabla 1, y teniendo en cuenta todos los diseños experimentales, a cada uno se valoró respecto al análisis de varianza de los dos factores con distintos niveles. Se concluyó que si existió una influencia en la variación de uno o más niveles del modificador de pH, mientras que para el aditivo ERR no existe diferencia si se modifica su cantidad.

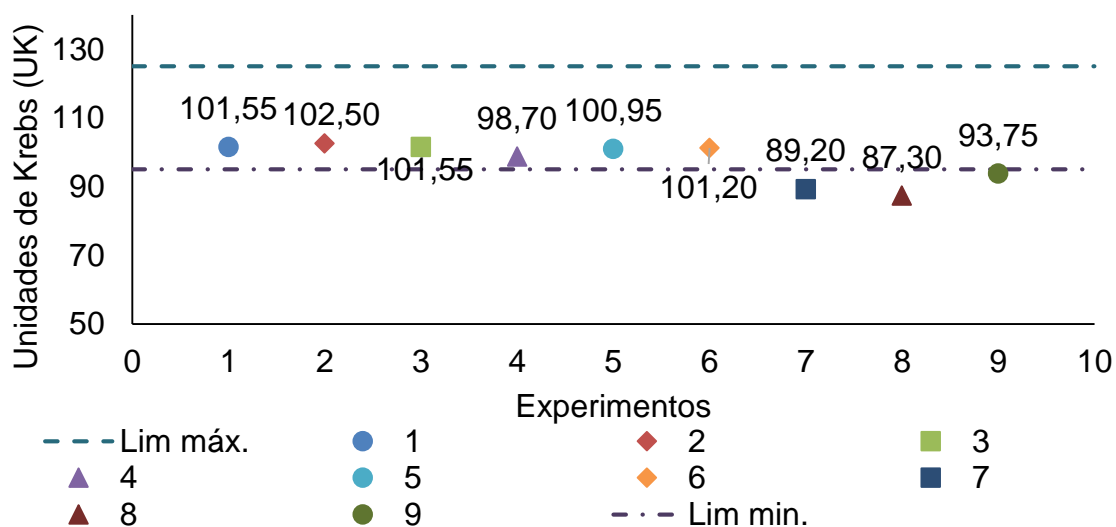
Esta relación del resultado del análisis de varianza con la Grafica 1, puede explicar el comportamiento de disminución de pH, donde conforme disminuye el porcentaje del modificador de pH, disminuye el valor de pH. La relevancia de estos valores obtenidos se presentará en la comparativa con los productos de la competencia.

Otra propiedad evaluada fue la viscosidad. Esta propiedad dentro de una pintura impermeabilizante cobra mayor importancia, ya que afecta la reología durante su preparación como en la aplicación final en una superficie. Como consecuencia afectaría los resultados de tiempo de secado, presentándose como la formación de una capa de alto grosor en la aplicación de la LAM, donde el secado será mucho más lento respecto a una aplicación correcta. También puede afectar el desempeño

de la resistencia temprana a lluvia y la permeabilidad del agua debido al espesor que genera la viscosidad del producto⁸¹.

Los rangos de límite superior e inferior de viscosidad se definieron por las especificaciones actuales de LAM de SIKA COLOMBIA S.A.S que oscilan en 95 a 125 Unidades de Krebs (KU). En el mercado de impermeabilizantes y en la literatura se presenta un rango entre 90 a 130 KU a temperaturas entre 20 a 25 °C grados correspondientes a la estándar⁸². En los resultados del diseño experimental LAM 1 en la Gráfico 2 se presentan dentro del rango establecido, todos los experimentos a excepción del 7, 8 y 9.

Gráfico 2. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

En los resultados estadísticos ANOVA para este diseño experimental de viscosidad, se encontró que tanto los porcentajes de modificador de pH y aditivo ERR afectan directamente en estos resultados como se observa en el ANEXO C, Tabla 1. En el porcentaje más bajo de modificador de pH (1%) la viscosidad se encontró por debajo del límite inferior correspondiente a los experimentos 7, 8 y 9.

El comportamiento de viscosidad está ligado con los modificadores reológicos utilizados dentro de la formulación. A mayor viscosidad en un impermeabilizante,

⁸¹ IMAZ COLOR. Viscosidad de la pintura. [En línea]. [Consultada en: 10 de Octubre de 2018]. Disponible en: <http://imazcolor.com/viscosidad-de-la-pintura/>

⁸² Lagoi 98 S.L. Material de Construcción. IMPERMEABILIZANTES. [En línea]. [Consultada en: 14 de Octubre de 2018]. Disponible en: http://www.lagoi98.com/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=271

más difícil es su aplicación y disminuir su rendimiento, mientras si se disminuye los valores de esta propiedad puede generar una capa de poca resistencia⁸³.

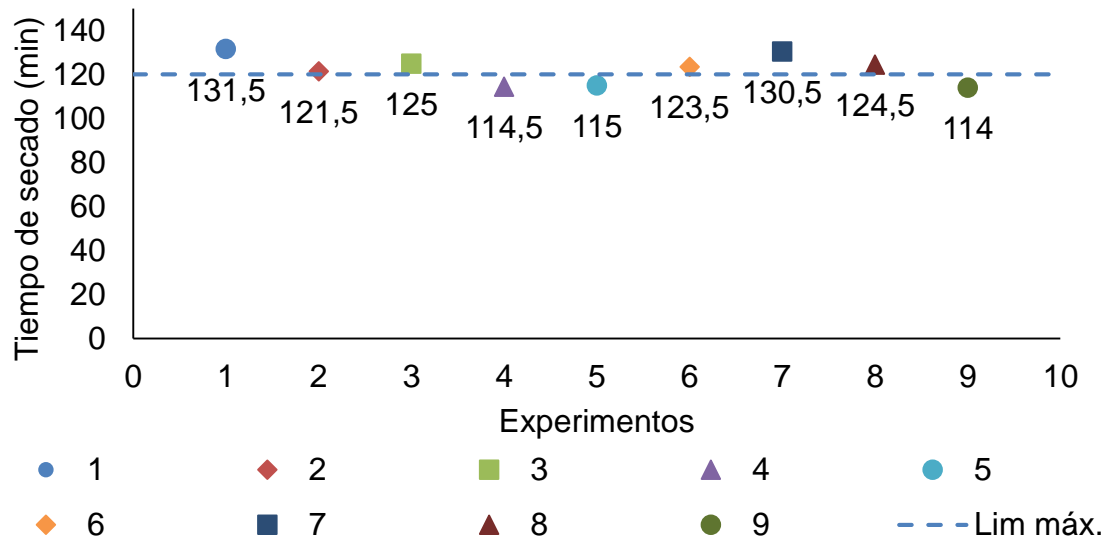
El comportamiento de viscosidad en relación con la propiedad de pH se presentó en la Gráfica 1, donde se obtuvo un comportamiento equivalente, donde a mayor cantidad de modificador de pH, mayores valores de pH, al igual que ocurrió con la viscosidad.

Los siguientes resultados analizados corresponden a la prueba de tiempo de secado. Estos resultados determinaron el desempeño del aditivo ERR, si realmente disminuyó el tiempo de secado. El referente actual de los productos LAM oscila por capa a una temperatura de secado de 20°C, y un tiempo entre 2 a 6 horas. Para la evaluación comparativa se seleccionó un tiempo de 2 horas (120 minutos) como límite máximo para saber si realmente disminuye el tiempo de secado requerido previo a que ocurra un desprendimiento del sistema impermeabilizante.

Para el diseño experimental LAM 1, se encontró que los 9 experimentos preparados están cercanos al valor de límite máximo correspondiente a 120 minutos como se presenta en la Gráfica 3. Únicamente los experimentos 4, 5 y 9 se encuentran por debajo de este rango. En el análisis estadístico expuesto en el ANEXO D, Tabla 1, no existe una influencia en el cambio ni de la cantidad del aditivo ERR ni de la cantidad del modificador de pH. Como primera conclusión de esta prueba, el tiempo de secado puede depender de cómo actúe en conjunto la LAM y no exclusivamente del aditivo ERR, respecto a la unión de todas las materias primas utilizadas (Solvente, cargas, aditivos y resinas). Estos tienen como propósito acelerar el tiempo de secado sin disminuir el desempeño mecánico luego de su aplicación.

⁸³ PAT, Francisco. Impermeabilizantes – Algunos Aspectos que omitimos al momento de decidir cual usar [En línea]. [Consultada en: 14 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/09/07/impermeabilizantes-como-seleccionar-el-mas-adeecuado/>

Gráfico 3. Resultados tiempo de secado para los experimentos de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

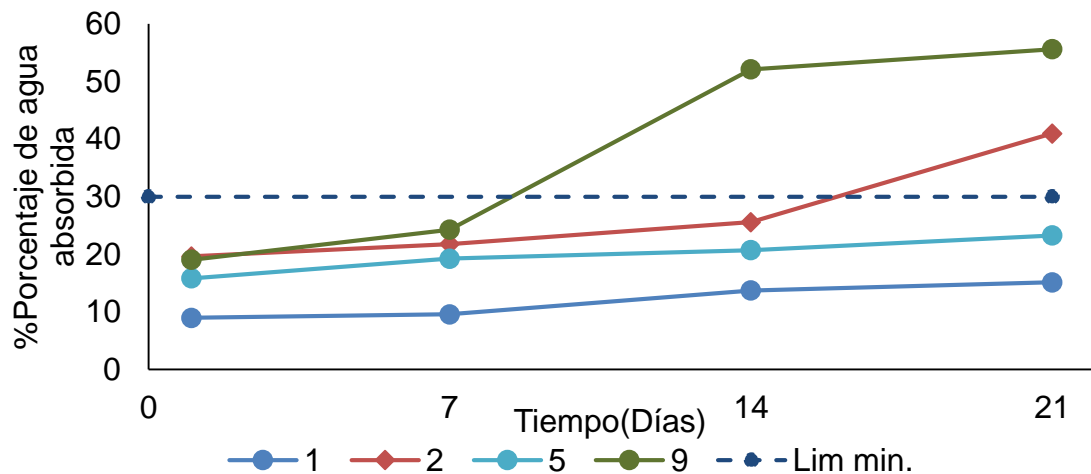
Una prueba exclusiva de los impermeabilizantes es la absorción de agua frente a la membrana curada. Para ello se tuvo en cuenta el porcentaje de incremento en peso respecto al peso inicial de las membranas curadas en contacto íntimo con agua.

También se valoró estadísticamente y gráficamente todos experimentos, seleccionando los de mejor y peor desempeño respecto a la cantidad de agua retenida dentro de la membrana y el cumplimiento de la normativa en impermeabilizantes.

Para LAM 1, se encontró que los experimentos 2 y 9 fueron los del peor desempeño ya que se obtuvieron los más altos porcentajes de absorción de agua correspondientes a 40,94% y 55,58%, los cuales no deben superar el 30% según la normatividad vigente ASTM D471. Los de mejor desempeño, los cuales tienen menores valores de porcentaje de absorción de agua, se hallaron en los experimentos 1 y 5, que absorbieron cantidades muy bajas con valores respectivos 15,14% y 23,26% muy cercanos al límite permisible.

El comportamiento final de los experimentos de mejor desempeño mencionados previamente, fue constante en los días 14 y 21, como se presenta en el Gráfico 4. Este comportamiento refiere a que conforme exista un aumento de tiempo será constante la absorción de agua, ya que cada LAM posee una capacidad máxima de absorción de agua según la formulación.

Gráfico 4. Resultados porcentajes de absorción de agua de la selección de los experimentos LAM 1



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente los resultados del diseño experimental LAM 1, los porcentajes de aditivo ERR ni modificador de pH influyeron en el porcentaje de absorción de agua. Este análisis estadístico se realizó con la medición del último día de la prueba correspondiente a 21 días, expuesto en el ANEXO E, Tabla 3.

Respecto a el restante de experimentos no mostrados en la Grafica 4, (Ver ANEXO F, ABSORCIÓN DE AGUA LAM 1) la mayoría de ellos tuvieron comportamientos similares en valores promedio entre 20 y 30% de absorción de agua lo cual es cercano al límite máximo y como conclusión considerados de alto desempeño de esta prueba⁸⁴.

La permeabilidad al vapor de agua es otra prueba característica de los impermeabilizantes acrílicos. Esta prueba pretende evaluar en recubrimientos orgánicos frente a la exposición ambientes húmedos o secos según la humedad atmosférica que se presente en el sitio de aplicación de la LAM.

Esto se ha demostrado mediante la evaluación de temperaturas variantes, durante el día y condensación por la noche, produciéndose además una evaporación de agua luego condiciones de sol si se presenta lluvia. Si el impermeabilizante presenta altos contenidos de vapor de agua, fomentará la penetración de agua hasta el

⁸⁴ PAT, Francisco. Impermeabilizantes – Algunos Aspectos que omitimos al momento de decidir cual usar [En línea]. [Consultada en: 14 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/09/07/impermeabilizantes-como-seleccionar-el-mas-adeecuado/>

sustrato donde se aplicó, disminuyendo su adhesión y por ende el sistema de calidad del mismo⁸⁵.

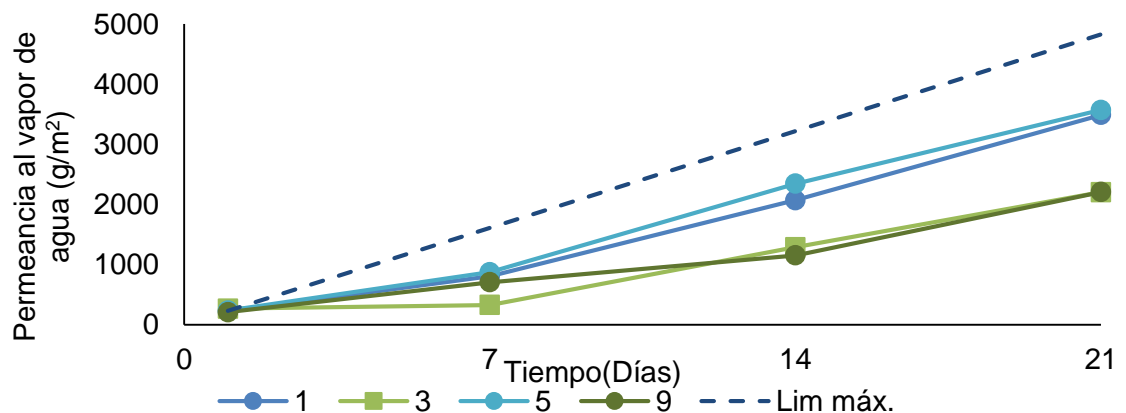
En los estándares con otro tipo de materiales similares, se han encontrado valores entre 150 a 263 g/m² en un día (24 horas)⁸⁶,dejando a la intemperie la muestra del impermeabilizante sin contacto con el agua. Además, debe tenerse en cuenta que la mayoría de resultados establecidos en la literatura están determinados por equipos especializados los cuales no se utilizaron para esta prueba.

Para el diseño experimental LAM 1, se seleccionaron los de mejor y peor desempeño que se muestran en la Grafica 5. Los mejores experimentos son 3 y 9, y los peores fueron 1 y 7. El comportamiento se explica donde a mayor permeabilidad, disminuye la calidad debido al aumento de paso de vapor de agua.

Estadísticamente, se encontró que no existe una influencia en los factores del diseño experimental en esta propiedad, como se presenta con la prueba F explicada anteriormente, expuesta en el ANEXO G, Tabla 1.

En el ANEXO H, se presentan los resultados de todos los experimentos de la LAM 1. Para este diseño, se presentó que el de menor permeabilidad son los experimentos 1,2 y 9 respectivamente, con valores de 223,27 g/m², 222,87 g/m² y 208,64 g/m² calculado con la Ecuación 1 a las 24 horas. Los experimentos 3,4,6,7 y 8 superaron el valor de referencia encontrado en la literatura (263 g/m²), lo cual no favorecen la calidad de la LAM requerida.

Gráfico 5. Resultados permeabilidad de vapor de agua LAM 1



Fuente: Elaboración propia

⁸⁵ AZNAR, Alberto C. Permeabilidad de películas de pinturas y su relación con su capacidad protectora. Valoración por difusión de vapor de agua. Centro de investigación y Desarrollo en tecnología en Pinturas (CIDEPINT)

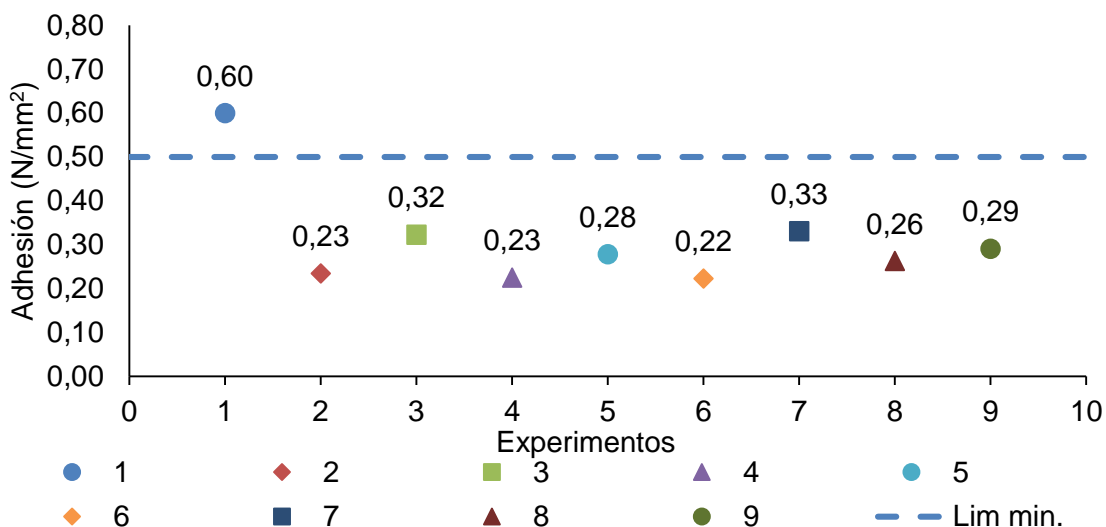
⁸⁶ SYNTHÉON. Membrana acústica impermeable respirable. [En línea]. [Consultada en: 14 de Octubre de 2018]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/5500/Ficha_Tecnica_RevealShield.pdf

Las pruebas mecánicas los impermeabilizantes evalúan la calidad del material frente a factores tanto ambientales como la superficie de aplicación. En cualquier impermeabilizante, la propiedad de adhesión es un factor clave para la selección del mismo en el mercado. En este caso, la variable determinante es la fuerza de tracción que se ejerce entre el producto aplicado sobre una superficie específica, evaluando la fuerza en el área donde se aplicó. En la literatura se ha encontrado valores en impermeabilizantes cercanos a 0.5 N/mm² ⁸⁷.

Para el diseño experimental LAM 1, se encontró los experimentos entre valores de 0.2 a 0.6 N/mm². Este resultado, en comparación con la literatura se puede ver influenciado por la dilución realizada para la imprimación de la probeta, donde no solo se aplicó el experimento puro. Los experimentos con mejor desempeño en adhesión serán los de mayor valor debido a que ejercerá mayor cantidad de fuerza de resistencia al desgarre en un área determinada. El mejor experimento se presentó en el 1, mientras que los restantes presentaron valores muy similares entre 0.2-0.4 N/mm² como se presenta en la Grafica 6.

Estadísticamente se encontró en el diseño LAM 1, al igual que las pruebas anteriores que no existe afectación de los distintos factores correspondientes a él aditivo ERR y modificador de pH en la prueba evaluada. Este fenómeno se puede presentar específicamente en esta prueba durante la preparación de la dilución o la imprimación de la LAM durante el montaje correspondiente o la superficie utilizada.

Gráfico 6. Resultados de adherencia de los experimentos del diseño LAM 1



Fuente: Elaboración propia

⁸⁷ ACCENT OF AMERICA. Impermeabilizante H-24 para piscinas. [En línea]. [Consultada en: 21 de Octubre de 2018]. Disponible en: <http://accentofamerica.es/ desarrollo/wp-content/uploads/2016/05/FICHA-TECNICA-IMPERMEABILIZANTE-HF-24.pdf>

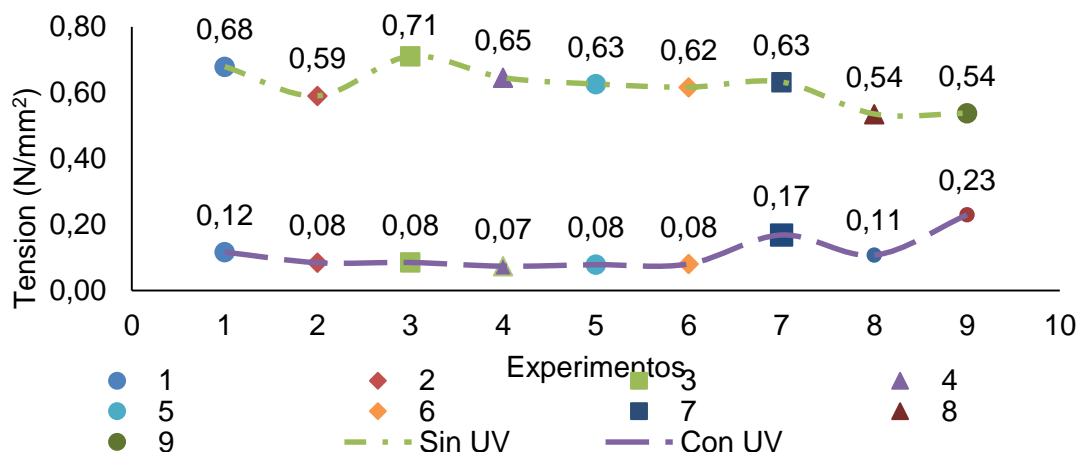
Para cualquier impermeabilizante que posea en su formulación, resinas poliméricas, es fundamental la evaluación de las propiedades mecánicas como la longitud para que exista una deformación causando el rompimiento del material (Elongación) o la fuerza ejercida para la fractura definido como la resistencia del material (Tensión).

Estos resultados se verán influenciados básicamente por la formulación y el área donde se ejerce la fuerza para la prueba de tensión. A continuación, se describirá el comportamiento de cada diseño experimental con su respectiva propiedad antes y después de la prueba de envejecimiento de cada membrana, mediante UV.

Para el diseño experimental LAM 1, en la prueba de tensión, evaluada sin envejecimiento, se encontró valores entre 0.55 a 0.7 N/mm² como se presenta en el Grafico 7. El resultado comparativo en la industria de impermeabilizantes, se ha encontrado la poliurea como resina, con valores de 27.2 N/mm² generando mejor rendimiento del material⁸⁸.

Luego de aplicada la prueba de envejecimiento acelerado, se observó en este diseño experimental en los resultados de tensión, la formación de múltiples burbujas como se expusieron previamente durante la evaluación de inmersión de agua ocurriendo el mismo fenómeno debido a la aplicación con el cubo de 8 lados, donde generó incremento su porosidad y por consiguiente la formación de burbujas como se presenta en la Imagen 21.

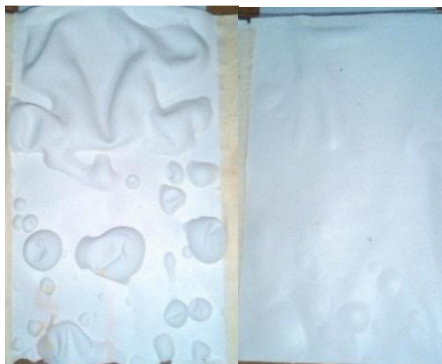
Gráfico 7. Resultados de tensión de los experimentos de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

⁸⁸ TECNOPOL. La prueba de tensión. [En línea]. [Consultada en: 21 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://tecnopol.es/actualidad/la-prueba-de-tension>

Imagen 20. Resultados visuales luego de envejecimiento por Camara UV de dos experimentos



Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente se analizó en este diseño, que ambas pruebas de tensión con y sin envejecimiento no existió una influencia la cantidad de aditivo y modificador de pH en los resultados de tensión (ANEXO I y J). Esto significa que la tensión ejercida previo a la ruptura, no se ve afectada por la interacción entre el aditivo ERR y el modificador de pH sino de otros factores, como se mencionaron en el capítulo 1.

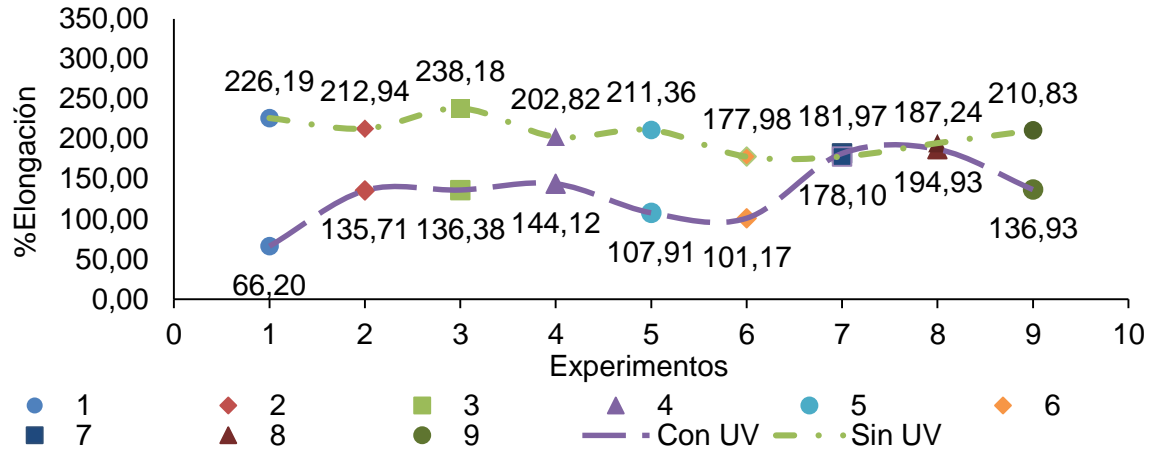
Los mejores experimentos correspondieron al 1 y el 7 antes y después de la ejecución de la prueba de envejecimiento debido a su cercanía.

La prueba complementaria de tensión es elongación. Los resultados del diseño LAM 1, arrojaron valores más altos sin la aplicación de la prueba de envejecimiento, ya que el material expuesto a condiciones UV se deteriora mecánicamente. Para el producto actual P1 se tiene un rango máximo de 350% de elongación del material sin la prueba UV, se observó rangos entre 200 a 250%, lo cual se considera como un material elástico luego de la prueba de envejecimiento. Se debe tener en cuenta que estos resultados son sujetos al molde de medición de cada probeta. Los valores más altos presentados se encontraron en los experimentos 1,2 y 3, expuestos en el Grafico 8.

Luego de aplicar la prueba de envejecimiento acelerado, los experimentos de mejor desempeño correspondieron a los 7 y 8 ya que sus valores son cercanos a los obtenidos sin aplicación de esta prueba. Los experimentos restantes oscilaron entre 100 a 150% reduciendo hasta la mitad de su elongación.

Estadísticamente se encontró para la prueba de elongación en el diseño experimental LAM 1, con y sin envejecimiento acelerado (ANEXO L y M) no existió un efecto de los porcentajes del aditivo ERR y el modificador de pH en la elongación. Nuevamente esta variable respuesta dependerá de otros factores como los reactivos utilizados.

Gráfico 8 . Resultados de porcentaje de elongación de los experimentos de LAM 1



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2 Resultados de LAM 2 . A continuación, se presentarán los resultados de las 8 pruebas realizadas a cada experimento LAM 2. La codificación de cada experimento con su respectivo limite se muestra en la Tabla 8 como se observó en la LAM 1. Para la prueba de pH del diseño experimental ,los resultados se encontraron valores dentro del rango esperado, donde fue explicado previamente en el análisis de la LAM 1. En cuanto a los de mayor valor, se encontraron nuevamente en los tratamientos 2 y 3 como se presentó en la Grafica 9. En los otros tratamientos se presentaron valores mucho menores, sin sobrepasar el límite inferior.

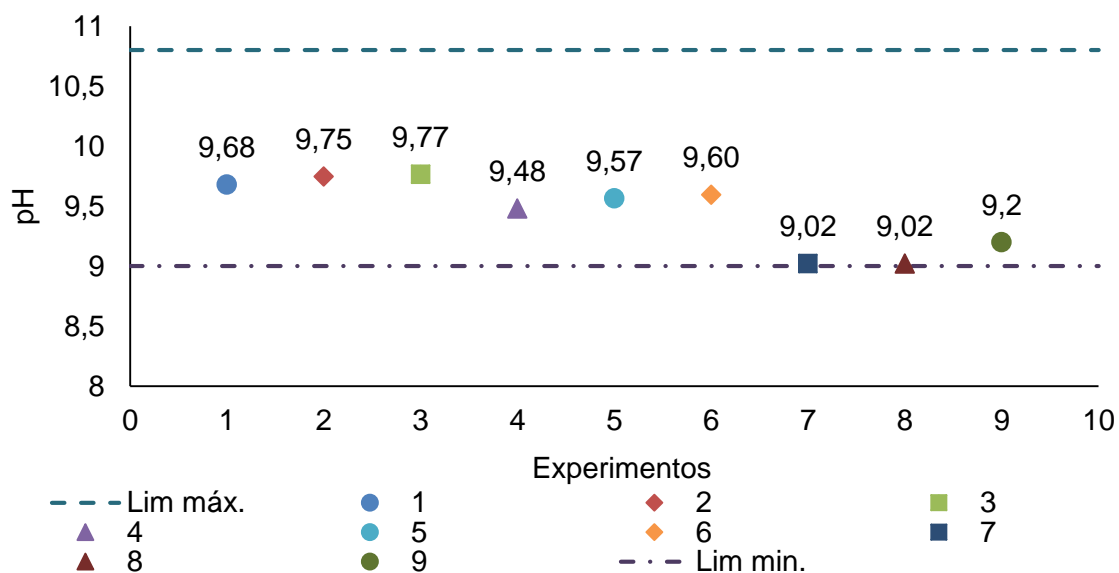
Tabla 8. Leyenda de gráficos de resultados LAM 2

| | Experimento | Modificador de pH | Aditivo ERR |
|-----------|-------------|-------------------------------|-------------|
| ● 1 | 1 | 4% | 2% |
| ◆ 2 | 2 | 4% | 1.5% |
| ■ 3 | 3 | 4% | 1% |
| ▲ 4 | 4 | 3% | 2% |
| ● 5 | 5 | 3% | 1.5% |
| ◆ 6 | 6 | 3% | 1% |
| ■ 7 | 7 | 1% | 2% |
| ▲ 8 | 8 | 1% | 1.5% |
| ● 9 | 9 | 1% | 1% |
| - - - Inf | Limite Min. | Límite inferior de referencia | |
| - - - Sup | Limite Máx. | Límite superior de referencia | |

Fuente: Elaboración propia

En el análisis estadístico ANOVA presentado en el ANEXO B, Tabla 2, se interpretó que tanto los niveles del modificador de pH y del aditivo varían significativamente en esta prueba. La relación de este comportamiento con la Gráfico ,corresponde a mayor porcentaje de modificador de pH (4%) se obtuvieron los valores más altos de pH, cumpliendo la función del mismo, con una relación proporcional dentro de la formulación. De otro modo, a menor cantidad de aditivo ERR, se eleva el pH como se observó el comportamiento creciente entre los experimentos agrupados (1, 2 y 3),(4, 5 y 6) y (7,8 y 9) donde cada agrupación, corresponde a un nivel (Porcentaje) de modificador de pH.

Gráfico 9. Resultados de pH de los experimentos del diseño LAM 2



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la prueba de viscosidad para la LAM 2, se presentó en los nueve experimentos un promedio cercano a 70 KU, como se presenta en el Grafico 10. En este se puede observar que la viscosidad se ve reducida aproximadamente el 20% respecto al límite inferior.

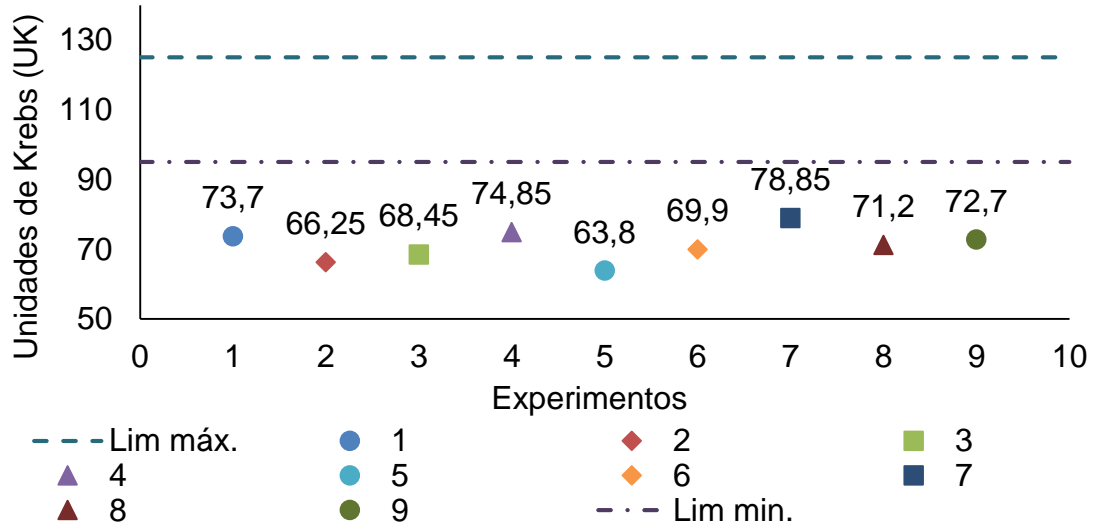
Los valores más altos de viscosidad se presentaron en los experimentos 1,4 y 7 donde la cantidad de aditivo ERR utilizada fue de 2% en cada uno de ellos. Este fenómeno se puede ver explicado por el incremento de cadenas poliméricas dentro de cada experimento⁸⁹ por la incorporación del aditivo dentro de la formulación.

Estadísticamente en el análisis de varianza, se presentó un cambio entre los niveles de aditivo ERR y modificador de pH como se presenta en el ANEXO C, Tabla 2. También se obtuvo valores más bajos de viscosidad respecto al rango definido y

⁸⁹ COREÑO ALONSO, Juan. et. al. Relación estructura-propiedades de polímeros. Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN 0187-893-X. Publicado en línea el 10 de septiembre de 2010

como se mencionó previamente en la LAM1, puede repercutir en la resistencia está relacionada directamente con propiedades mecánicas como tensión, elongación y adherencia⁸³.

Gráfico 10. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 2

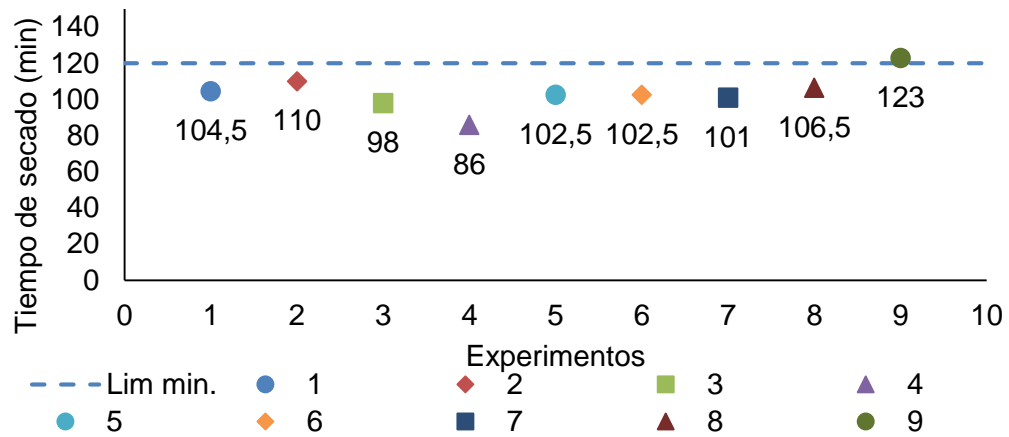


Fuente: Elaboración propia

En la prueba de tiempo de secado y como se mencionó previamente en la LAM 1, es una variable respuesta para el consumidor de estos productos. En este diseño experimental 8 de los valores tomados son menores a 120 minutos, teniendo en cuenta la referencia previamente expuesta en el diseño LAM 1.

Esto favorece tanto el desempeño de esta LAM durante su aplicación debido a la disminución del tiempo según cada capa. El menor tiempo evaluado fue de 84 minutos para el experimento 4 como se presenta en el Grafico 11. En el análisis estadístico expuesto en el ANEXO D, Tabla 2, no existió influencia entre los porcentajes del modificador de pH y el de aditivo ERR en esta prueba, donde previamente se justificó que estos resultados dependerán del comportamiento de todos los reactivos cuando se aplique el impermeabilizante.

Gráfico 11. Resultados de tiempo de secado de los experimentos de LAM 2



Fuente: Elaboración propia

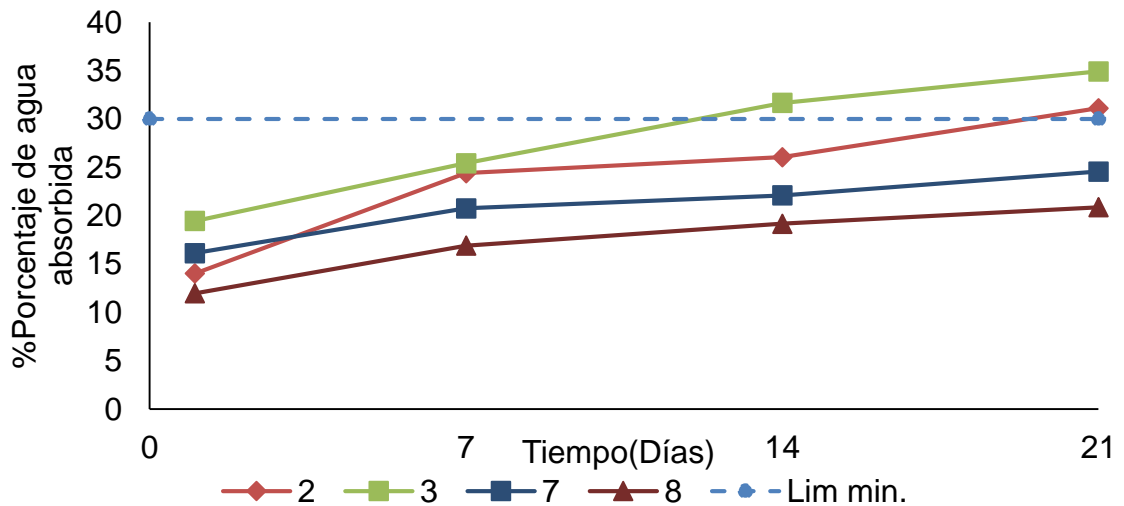
Para la prueba de absorción de agua dentro del diseño experimental LAM 2, se encontró que la mayoría de porcentajes estuvieron dentro del rango entre 20% al 30% como se presenta en la Gráfico 121. A diferencia del diseño LAM 1, los mejores experimentos correspondieron a los 7 y 8 que poseen menor cantidad de modificador de pH (1%) y mayor cantidad de aditivo ERR (2% y 1.5% respectivamente).

Se debe tener en cuenta que el efecto de las resinas poliméricas usadas en cada formulación y el aumento de pH, también disminuye la calidad, justificando el comportamiento de los experimentos 2 y 3 correspondientes a los de peor desempeño. Otros factores que pueden afectar la obtención de estos resultados son los espesores de la película y la hidrofilia de las resinas (polímeros) utilizadas⁹⁰.

En el análisis de varianza en esta prueba, tomando los valores de la última medición (21 días), se encontró que existe un cambio entre los distintos porcentajes de modificador de pH, pero no en el aditivo ERR. Esto generó un comportamiento proporcional con porcentaje de cantidad de agua absorbida.

⁹⁰ SCHWEIGGER. Op, cit., p. 55.

Gráfico 12. Resultados de absorción de agua de los experimentos seleccionados de LAM 2



Fuente: Elaboración propia

Para el diseño experimental LAM 2 en la prueba de permeabilidad de vapor de agua, se presentó menor flujo de vapor de agua por área respecto al diseño anterior lo que favorecerá a la LAM, oscilando a las 24 horas entre rangos de 50 a 130 g/m².

Esto generaría en la LAM durante su aplicación, que el vapor de agua generando en ciertos climas no facilite su difusión entre los poros. En cuanto al crecimiento a través del tiempo de las curvas presentadas en el Grafico 13, se observa respecto a la LAM 1, que los valores se llegan a reducir hasta una tercera parte del rango. Estadísticamente para el diseño LAM 2, no existió influencia por la interacción entre los niveles de modificador de pH, ni de aditivo ERR. El comportamiento de las curvas es creciente en todos los experimentos como se presenta en el ANEXO H.

Como comparación visual del resultado previamente mencionado, durante la prueba, se observó en el primer diseño experimental (LAM 1) el fenómeno de contracción del material apuntando en dirección del agua contenida en el recipiente como se expone en la Imagen 20 (Izquierda). En los otros diseños experimentales (LAM 2 y LAM 3) no se presentó esta situación debido al uso de resinas acrílicas híbridas con poliuretano (Derecha).

La justificación de la contracción mostrado en del diseño LAM 1, radicó en el usó una resina con compuestos de acetato de polivinilo, que la literatura menciona que

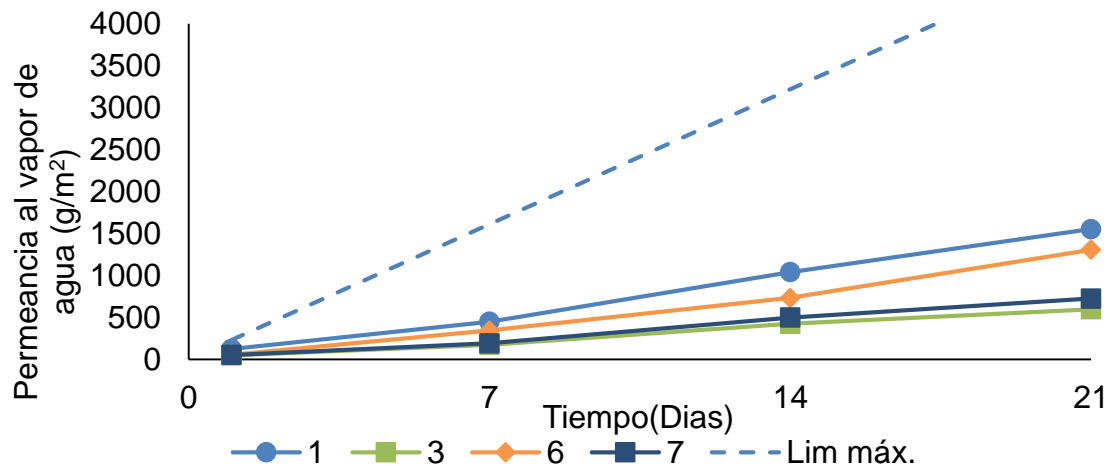
esta contracción, se presenta cuando se disminuye la temperatura después de su secado como se observa en la Imagen 20⁹¹.

Imagen 21. Comparación de resultados visuales de permeabilidad de vapor de agua entre LAM 1,2 y 3



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13. Resultados de permeabilidad vapor de agua de LAM 2



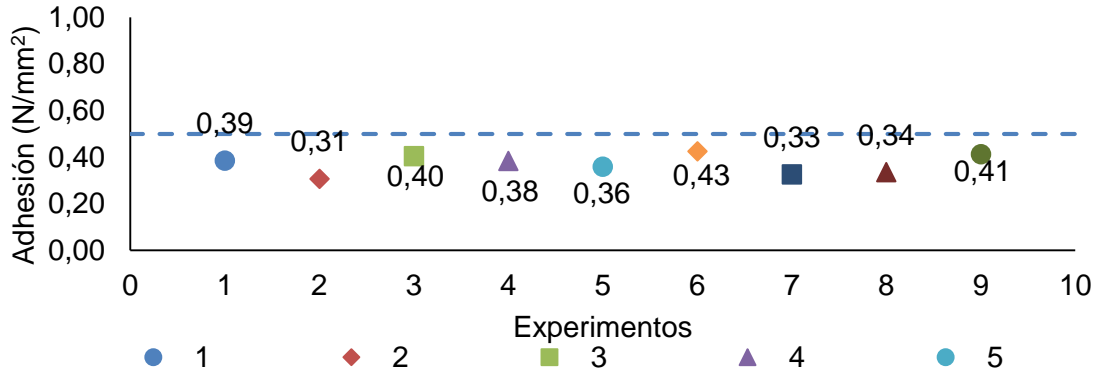
Fuente: Elaboración propia

Para el diseño LAM 2 en la prueba de adhesión, se encontró un comportamiento en el cual los experimentos con menor cantidad de aditivo ERR (1%) tuvieron mejor resistencia al desgarre. Respecto a las cantidades de modificador de pH se encontró que no existe una variación significativa, debido a que oscila en el rango de 0.3 a 0.40 N/mm² como se presenta en el Grafico 14. Estadísticamente y en comparación con el grafico, se encontré que también en el análisis de varianza existió una influencia en el porcentaje de aditivo ERR en el aumento de desempeño de adherencia. Ver Anexo I). Como se mencionó en la LAM 1 ,los resultados del nivel

⁹¹ Universidad Politécnica de Valencia. ESTUDIO DE ADHESIVOS PARA LA CONSOLIDACIÓN Y REFUERZO DE TEJIDOS HISTÓRICOS: MATERIALES Y MÉTODOS Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universidad Politécnica de Valencia. Numero 3.2008

más bajo oscilan entre 0.5 N/mm², donde los valores encontrados son muy cercanos respecto a esta LAM.

Gráfico 14. Resultados de adherencia del diseño LAM 2

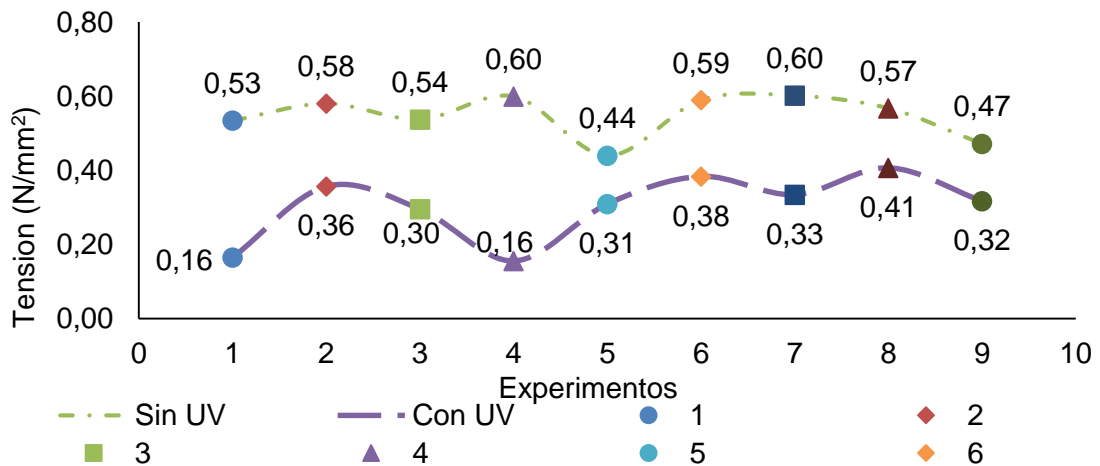


Fuente: Elaboración propia

Para las pruebas mecánicas de tensión en el diseño experimental LAM 2, los resultados arrojaron valores entre 0.4 a 0.6 N/mm², donde los más altos se encontraron entre los experimentos del 1, 2, 3 y 4, mientras que los más bajos en los experimentos del 5, 6, 7, 8 y 9 como se presenta en la Gráfico 15. Al igual que el diseño experimental anterior, con la prueba de envejecimiento UV se llegó a reducir hasta la mitad en su desempeño a excepción de los experimentos 5 y 8, generando una disminución respecto al límite de deformación y ruptura del material.

Estadísticamente en esta prueba de tensión, se encontró el mismo comportamiento que el diseño anterior, donde antes y después de la prueba de envejecimiento, los factores no afectaron los resultados de tensión

Gráfico 15. Resultados de tensión de los experimentos de LAM 2



Fuente: Elaboración propia

En la comparativa visual del envejecimiento UV entre el diseño experimental LAM 1 con los diseños LAM 2 y LAM 3 , se encontró que estos últimos dos no presentaron una afectación del material expuesto en la Imagen 22, debido a la composición polimérica utilizada. En la literatura las resinas de poliuretano y acrílicas presentan mucha mejor resistencia al envejecimiento, además de rigidez⁹².

Imagen 22. Resultados de LAM 2 y LAM 3 luego de envejecimiento en cámara UV



Fuente: Elaboración propia

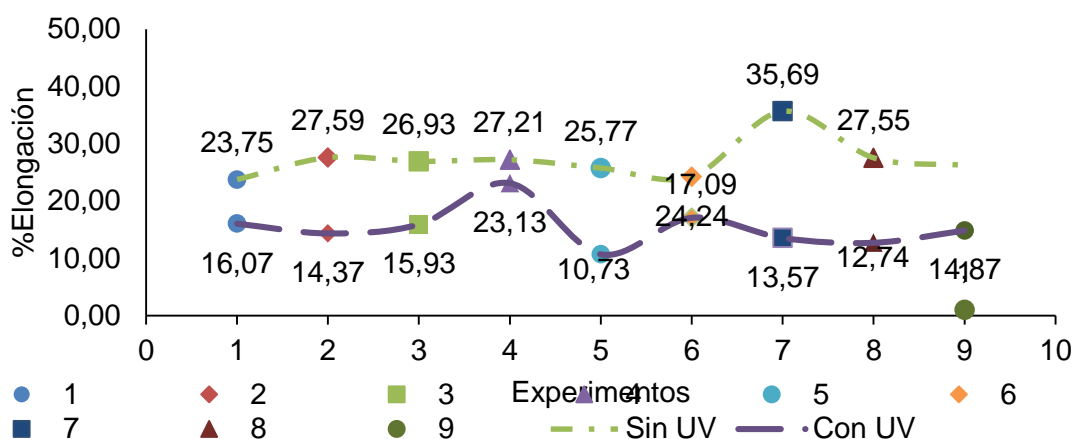
Para los resultados de elongación del diseño LAM 2, se tiene como referente un valor estimado de 115% respecto al producto P2 que corresponde a la formulación base. Otros materiales con poliuretano y acrílicos, pueden llegar a tener valores hasta de 200%⁹³. Se observó que el mejor resultado correspondió al experimento 1 frente a los restantes que estuvieron en rangos entre 13 a 25%, sin la aplicación de la prueba de envejecimiento como se presenta en el Gráfico 16. Luego de la ejecución de esta prueba de envejecimiento, la reducción de elongación fue mínima por lo cual este material posee alta resistencia al desgaste frente a condiciones climáticas como rocío y condensación.

Estadísticamente para esta prueba de elongación, se presentó en el análisis de varianza (Ver Anexo L y M) que estos factores no afectan directamente la elongación con y sin la prueba de envejecimiento. La explicación de este comportamiento fue explicada previamente en el diseño experimental LAM 1.

⁹² Resinas Castro S. L. Polígono Industrial A. Uretano-Acrílicas. [En línea]. [Consultada en: 21 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/es/20-uretano-acrilicas>

⁹³ WEBER SAINT GOBAIN. Webertec hydrolastic- Impermeabilizante. [En línea]. [Consultada en: 23 de Octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.es.weber/impermeabilizacion/impermeabilizacion/webertec-hydrolastic>

Gráfico 16. Resultados de porcentaje de elongación de los experimentos de LAM 2



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Resultados LAM 3. Para el diseño experimental LAM 3 se codificó cada experimento como se observa en la Tabla 9. En la prueba de pH, se presentó un comportamiento similar al de los diseños LAM 1 y LAM 2 ya que los resultados más altos correspondieron nuevamente a los experimentos 2 y 3. En términos numéricos para este diseño experimental, los experimentos presentaron valores cercanos a 10, tal como se observa en el Gráfico 17. Estos experimentos se encontraron dentro del rango de referencia previamente especificados en los resultados de LAM 1.

Este diseño fue el que presentó los valores más altos, lo cual favorece la estabilidad y el desempeño del aditivo ERR.

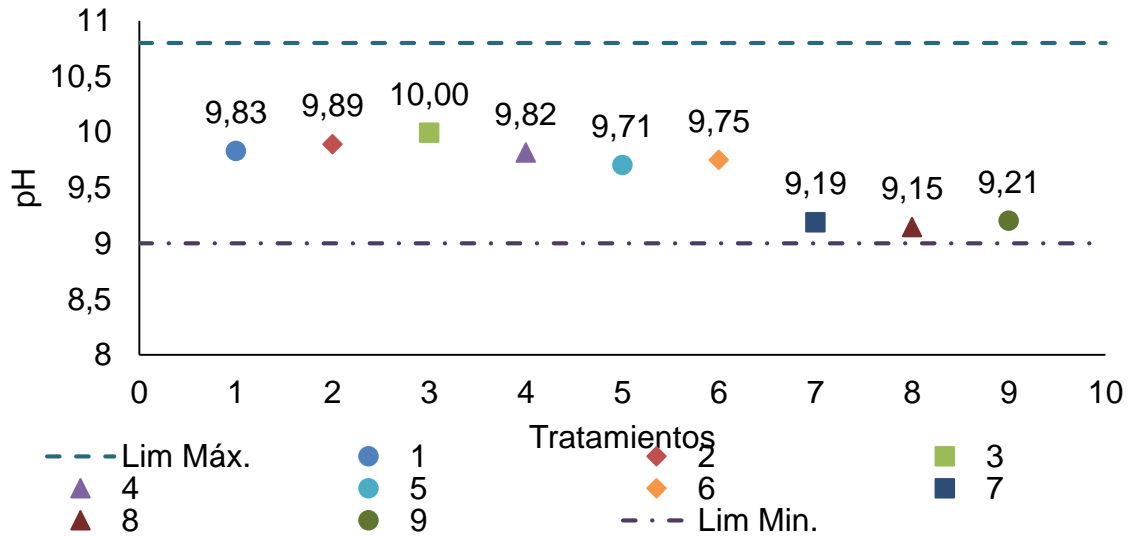
Tabla 9. Leyenda de gráficos de resultados LAM 3

| Experimento | Modificador de pH | Aditivo ERR |
|-------------|-------------------|-------------------------------|
| ● 1 | 1 | 4% |
| ◆ 2 | 2 | 4% |
| ■ 3 | 3 | 4% |
| ▲ 4 | 4 | 3% |
| ● 5 | 5 | 3% |
| ◆ 6 | 6 | 3% |
| ■ 7 | 7 | 1% |
| ▲ 8 | 8 | 1% |
| ● 9 | 9 | 1% |
| - - - Inf | Lim Min. | Límite inferior de referencia |
| - - - Sup | Lim Máx. | Límite superior de referencia |

Fuente: Elaboración propia

En el análisis estadístico, como se expone en el ANEXO B, Tabla 3 se presenta que ni el modificador de pH, ni el aditivo ERR afectan el pH en este diseño experimental.

Gráfico 17. Resultados de pH en el diseño de LAM 3



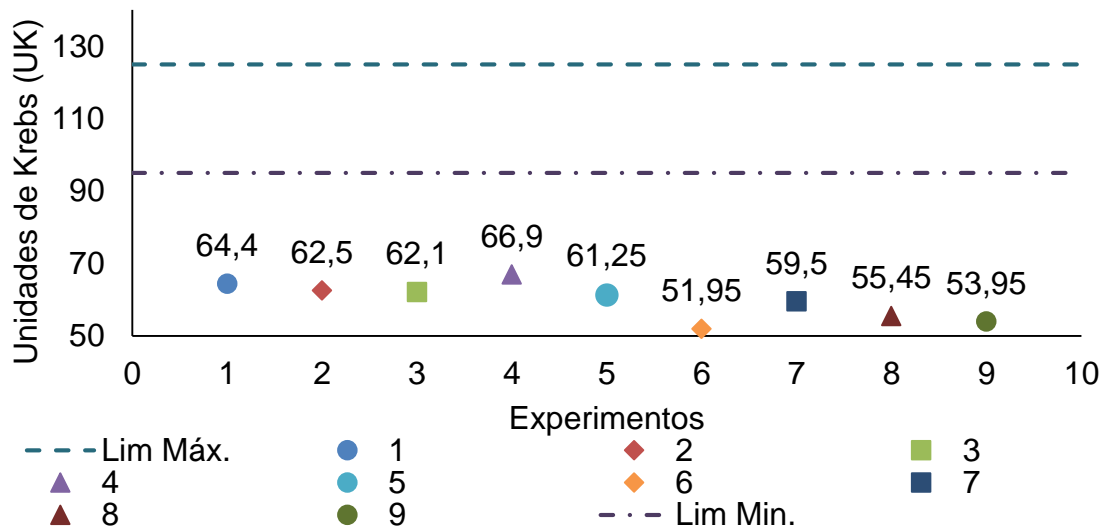
Fuente: Elaboración propia

En los resultados de viscosidad en la LAM 3, el comportamiento obtenido es similar al diseño experimental LAM 2, al estar por debajo del límite inferior esperado por el comportamiento de los aditivos reológicos usados.

El promedio de este diseño se encontró en valores promedios a 60 KU. En comparación con los otros diseños experimentales fue el de menores valores obtenidos en los experimentos, y como se mencionó en el diseño LAM 2, afectaría directamente en las propiedades de resistencia mecánica del impermeabilizante.

Al igual que el diseño LAM 2, los tratamientos 1, 4 y 7 presentaron los más altos valores de esta prueba, nuevamente por la cantidad de aditivo ERR incorporado fue el de mayor valor (2%) incorporación como se presenta en el Gráfico 18. Estadísticamente, los resultados presentados en el ANEXO C, Tabla 3, se halló que la interacción entre las cantidades de modificador de pH y de aditivo ERR no afectaron la viscosidad esto es por la homogeneidad que presentaron entre los experimentos.

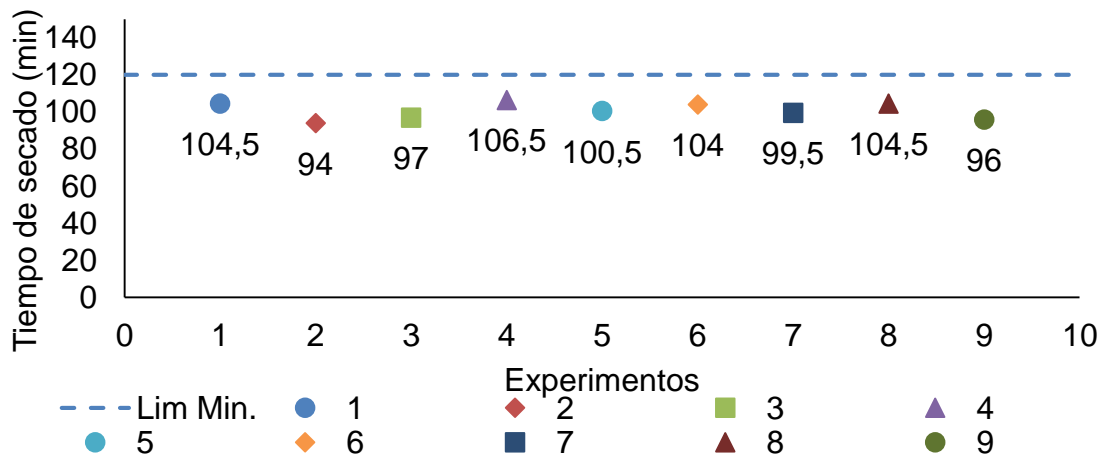
Gráfico 18. Resultados de viscosidad de los experimentos de LAM 3



Fuente: Elaboración propia

En cuanto al desempeño de tiempo de secado en la LAM 3, fue similar al diseño experimental anterior LAM 2. Los valores obtenidos son menores respecto al límite superior correspondiente de dos horas como se presenta en el Gráfico 19. El mejor valor, que corresponde al de menor tiempo de secado es el experimento 2. El mayor tiempo correspondió a 106.5 minutos lo cual se redujo el tiempo aproximadamente 20 a 30 minutos respecto al producto actual P3. En el análisis estadístico expuesto en el ANEXO D presentó el mismo comportamiento analizado previamente en LAM 1 y LAM 2.

Gráfico 19. Resultados tiempo de secado de los experimentos de LAM 3

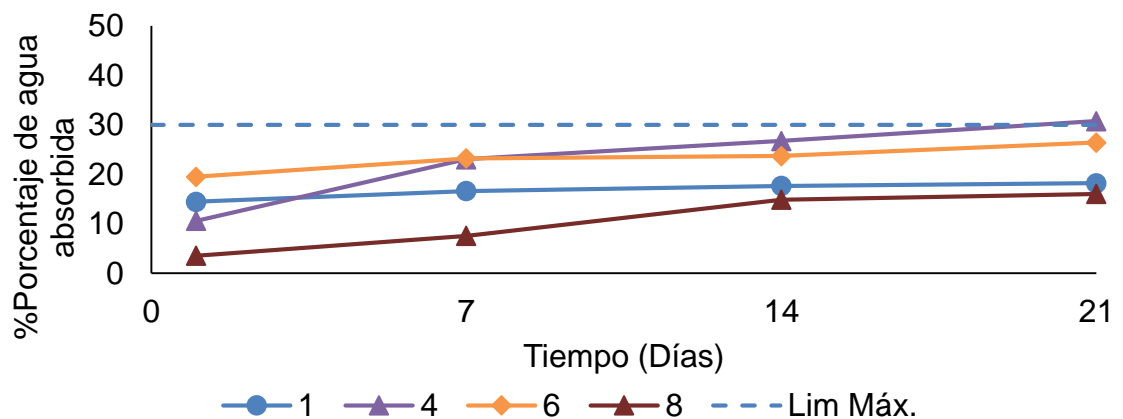


Fuente: Elaboración propia

Para los porcentajes de absorción de agua en este diseño experimental, se encontró un comportamiento muy similar respecto al diseño LAM 2 debido a que los porcentajes de los nueve experimentos oscilan entre el 20% y el 30% como se presenta en el Gráfico 20. Los mejores correspondieron a los experimentos 1 y 8 .

Estos experimentos coincide nuevamente por sus buenas propiedades evaluadas en los diseños anteriores. Los peores experimentos correspondieron a el 4 y al 6 los cuales están en rangos cercanos al 30%, siendo el nivel medio de modificador de pH (3%) descartado por su bajo rendimiento por la alta cantidad de agua retenida respecto a la normativa. Se encontró estadísticamente como se muestra en el ANOVA, en el ANEXO E, Tabla 3, que no existió un cambio significativo ni en los porcentajes de aditivo ERR ni en las cantidades de modificador de pH.

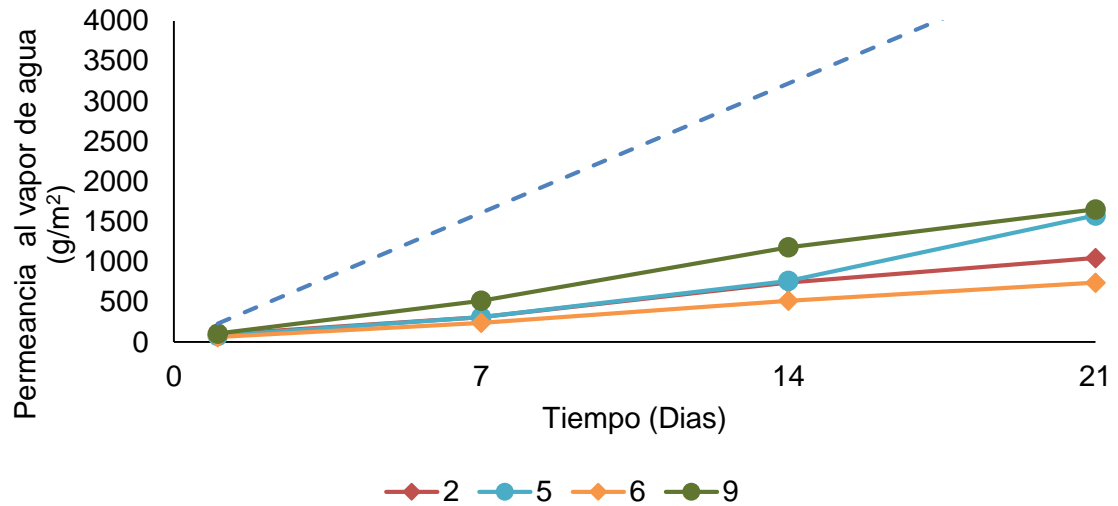
Gráfico 20. Resultados porcentajes de absorción de agua de los experimentos seleccionados de LAM 3



Fuente: Elaboración propia

Para los resultados de permeabilidad al vapor de agua, los resultados obtenidos son similares al diseño experimental anterior LAM 2, debido a que el rango oscila entre 0 a 1600 g/m² como se expone en las Gráfico 21. Los mejores experimentos corresponden a el 2 y 6 debido a que su permeabilidad de agua fue bastante baja con valores de 1046,19 g/m² y 740,52 g/m². Los experimentos 5 y 9 ,fueron los de peor desempeño con valores cercanos a 1500 g/m². Estadísticamente se encontró el mismo comportamiento que el diseño anterior, donde ni los niveles ni factores del diseño experimental, afectan el resultado de esta propiedad (Ver ANEXO G).

Gráfico 21. Resultados permeabilidad vapor de agua LAM 3

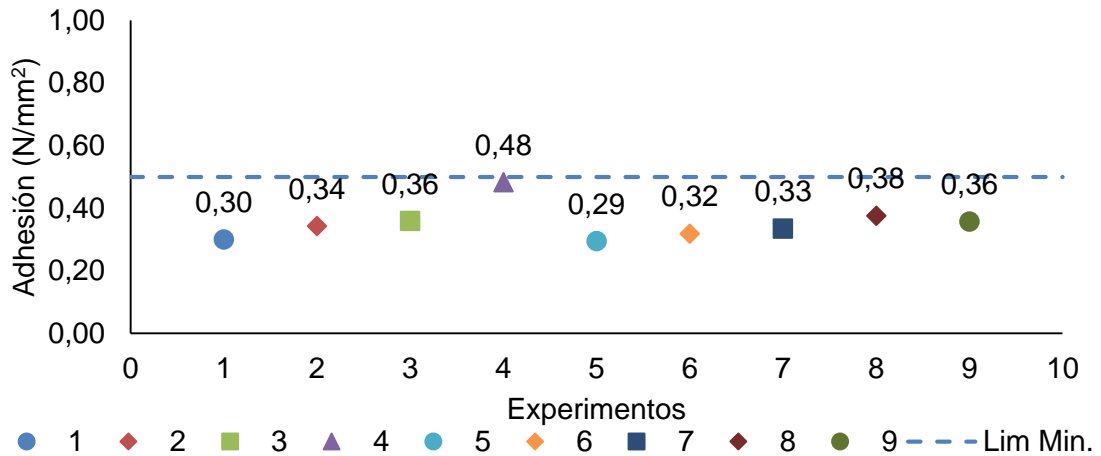


Fuente: Elaboración propia

En la comparación con la literatura a las 24 horas evaluada la prueba anterior, donde los experimentos oscilan en los valores de 60 a 145 g/m² comparado con un valor mínimo de 230 g/m² presentado en la literatura disminuyendo el paso de vapor agua sin afectar la LAM. En otras referencias bibliográficas, también se ha encontrado valores hasta de 150 g/m² lo cual los últimos dos diseños son tienen baja permeabilidad, a diferencia del diseño experimental LAM 1. Esta propiedad es importante no solo por determinar el paso de agua, luego de aplicada la membrana sino la resistencia a ambientes cambiantes como la condensación luego de la lluvia.

Para la prueba de adhesión, se obtuvo un comportamiento similar al diseño LAM 1, donde el experimento de mejor desempeño fue el experimento 4, con un valor cercano al registrado en LAM 1. Los otros experimentos analizados por cantidad de modificador de pH (1,2,3) y (7,8,9) presentaron un comportamiento creciente conforme se disminuyó la cantidad del aditivo ERR como son presentados a continuación en el Gráfico 22.

Gráfico 22. Resultados de adherencia del diseño LAM 3



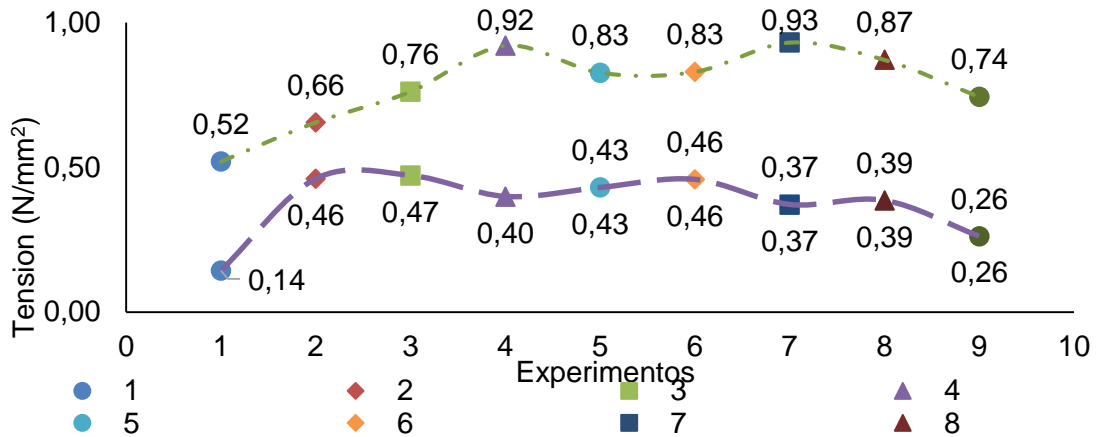
Fuente: Elaboración propia

Estadísticamente en este diseño experimental, al igual que las pruebas anteriormente evaluadas la variación entre los niveles del aditivo ERR y el modificador de pH no influyeron directamente en los resultados de adherencia. Como resultado, se analizó que la adherencia no solo depende de la LAM, sino la manera en cómo se aplique y se cure previo a la medición en el equipo.

Para la prueba de tensión se visualizó un comportamiento creciente en los primeros 4 experimentos sin aplicación de la prueba de envejecimiento. En tanto para los últimos experimentos, (7, 8 y 9) se observó un comportamiento decreciente. En este caso los mejores resultados correspondieron al experimento 4 y el 7 sin aplicación de la prueba de envejecimiento. Este diseño experimental, tuvo los mejores desempeños en cuanto al valor establecido como referente, donde el valor más alto correspondió a 0.93N/mm². El promedio de valores de este diseño experimental osciló entre 0.5 a 0.9/mm² sin la prueba de envejecimiento, como se presenta en el Gráfico 23.

Luego de aplicar la prueba de envejecimiento, el valor de tensión calculados se encontró que los experimentos 2 y 3 tuvieron los valores más altos. Estadísticamente para la prueba de tensión del diseño LAM 3, se presentó en el análisis de varianza con las pruebas antes y después de envejecimiento acelerado, donde se encontró que los factores no influyen en el resultado de tensión como se ha presentado en los diseños experimentales LAM1 y LAM 2 (Ver ANEXO L y M).

Gráfico 23.Resultados de tensión de los experimentos de LAM 3

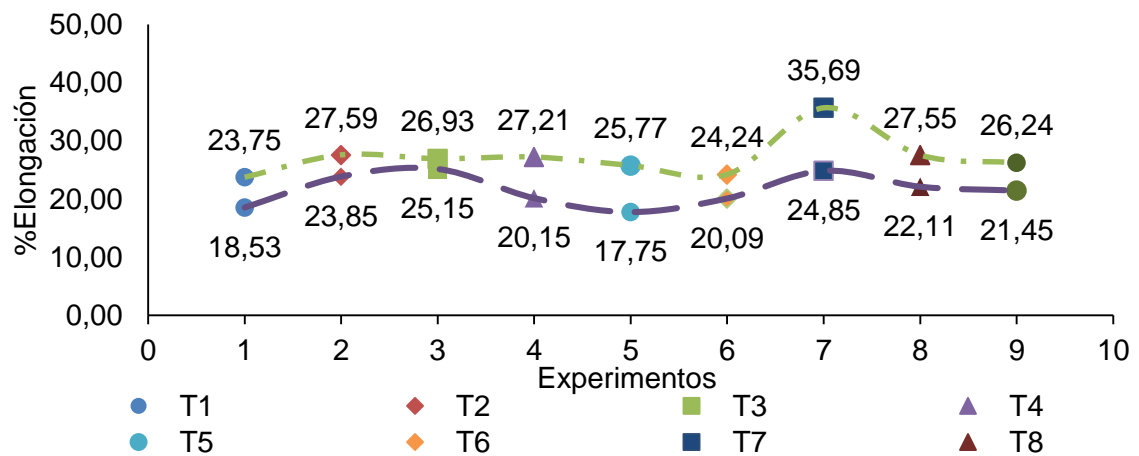


Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojados para la prueba elongación del diseño LAM 3 observados en la Gráfico 24, se encontró que los valores de los experimentos con mejor desempeño fueron 2, 7 y 8. El rango promedio de estos experimentos sin prueba de envejecimiento, se encontró entre los valores de 20 y 36%. Estos experimentos no alcanzaron la elongación esperada, respecto a las resinas poliuretanos y acrílicas que tiene valores más elevados.

A diferencia del diseño anterior la formulación varió, en cantidades de resinas poliméricas y aditivos aumentando el desempeño de esta propiedad en el impermeabilizante. Estadísticamente en esta prueba de elongación, al igual que las pruebas anteriores el análisis de varianza no presentó una influencia de los factores en los resultados elongación (Ver ANEXO L y M).

Gráfico 24.Resultados prueba de elongación de los experimentos de LAM 3

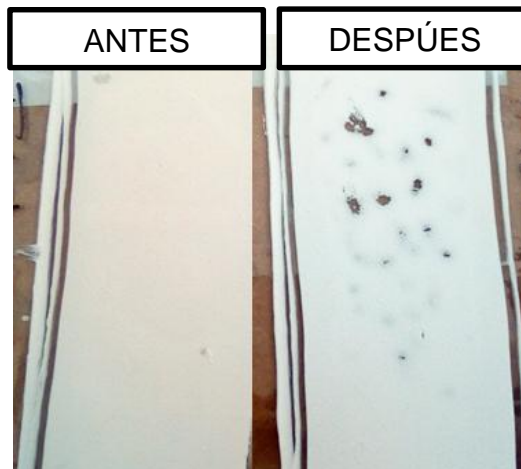


Fuente: Elaboración propia

3.3.2.8 **Resultados de resistencia temprana a la lluvia.** Para los resultados de esta prueba se definió condiciones constantes de **caudal** (1 Gal/min) y temperatura (19 ° C). La definición de la evaluación numérica de esta propiedad se realizó con 3 repeticiones de cada experimento preparado, con el fin de hacer pruebas a 90 min, 120 min y el último dato se registró según el secado al tacto como se presenta en la Imagen 25, con la comparativa entre dos tiempos distintos. Previo al sometimiento de la prueba dentro del equipo de lluvia, se estableció variable respuesta de como el tiempo mínimo de resistencia de cada LAM frente al desprendimiento de la superficie donde se aplicó.

Para la comparativa se tomó el blanco producido por el proveedor del aditivo con tecnología LAM en el cual se obtuvo un tiempo estimados de 120 minutos como el tiempo mínimo de resistencia a la lluvia. Este rango es similar a los resultados obtenidos por cada experimento como lo expone el proveedor del aditivo ERR. Estos resultados se ven afectados por el espesor aplicado.

Imagen 23. Aplicación de la prueba de resistencia temprana a la lluvia



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en cuanto al tiempo mínimo previo al desprendimiento de la película se presenta en la Tabla 8. Estos valores al no tener una medición exacta debido a que no se realizó con un instrumento de medición, el análisis se tomó en referencia respecto al proveedor y a la literatura actual. En la ficha técnica del aditivo ERR, se menciona que luego de 30 min de curado y aplicada la prueba, se observa visualmente que no se cae el sistema impermeabilizante.

En la patente existente del aditivo de resistencia temprana a la lluvia, menciona que conforme aumenta la temperatura el tiempo de resistencia temprana a la lluvia disminuye. En este archivo se menciona la composición de la dispersión acrílica y los compuestos químicos adicionados, pero no se conoce con exactitud si esta formulación corresponde al proveedor del aditivo ERR. Los resultados encontrados

a 25 ° C oscilan en 28 minutos sin aditivos y con aditivo se redujo casi a la tercera parte con 7.5 minutos¹¹⁰.

En el caso de los experimentos preparados al tener el aditivo ERR, resinas, compuestos minerales, pigmentos y agua puede verse afectado el tiempo de secado, además del modo de aplicación en la superficie.

Los valores más bajos para el diseño experimental LAM 1, se observaron en los experimentos 2, 3, 8 y 9 con tiempos entre 110 y 115 minutos, como se presenta en la Tabla 10. Para el diseño LAM 2 el tiempo fue mucho menor respecto a los otros diseños con tiempos entre 80 y 90 minutos, entre los experimentos 1,3,4,7 y 9. Finalmente para el último producto los mejores tiempos oscilaron entre los experimentos 1, 2 y 3. En la literatura se encuentran otros valores, pero no se especifica el comportamiento del aditivo en la formulación del impermeabilizante y la influencia del solvente como el agua, afectando el resultado de resistencia a la lluvia en la LAM.

Tabla 10. Resultados de tiempos en minutos frente a la resistencia temprana a la lluvia

| Experimentos | LAM 1(Min) | LAM 2 (Min) | LAM 3(Min) |
|--------------|------------|-------------|------------|
| 1 | 120 | 80 | 90 |
| 2 | 110 | 110 | 110 |
| 3 | 115 | 90 | 100 |
| 4 | 130 | 80 | 130 |
| 5 | 150 | 110 | 145 |
| 6 | 140 | 120 | 130 |
| 7 | 120 | 90 | 135 |
| 8 | 110 | 110 | 130 |
| 9 | 110 | 90 | 130 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Selección de los mejores productos de cada diseño experimental según su desempeño. Para determinar un solo experimento por cada diseño experimental correspondientes a LAM 1, LAM 2 y LAM 3 se realizó la selección de acuerdo al desempeño de las pruebas ejecutadas en el literal 3.3.2 con el fin de determinar numéricamente el de mayor calificación en cada prueba. Para el diseño experimental LAM 1, se encontró que el mejor producto corresponde a el experimento 3 que posee cantidad de aditivo de 1% y de modificador de pH al 4%. Este resultado favorece en su preparación no solo a nivel laboratorio sino durante su producción escalada disminuyendo costos, ya que usa una menor cantidad de aditivo ERR con respecto al total de la formulación recomendada por el proveedor

¹¹⁰ HILTI AG.Op.cit.,p.4.

del aditivo. El aporte para el consumidor será un ahorro significativo en el costo como se ahondará en el capítulo 4.

Para el diseño experimental LAM 2, se encontró que el mejor experimento corresponde al 7 con porcentajes de aditivo ERR de 2% y de modificador de pH el 1% lo cual incrementaría un porcentaje del costo, pero favorecería al consumidor en el ahorro en consumo.

Finalmente, para el diseño experimental LAM 3, se encontró que el mejor experimento corresponde al 2, con valores de 4% de modificador de pH y 1.5% de aditivo ERR. Estos valores presentan similitud con la formulación recomendada por el proveedor del aditivo ERR. A continuación en la Tabla 11 se presentará la codificación de cada experimento seleccionado según el diseño experimental.

Tabla 11. Tabla resumen de selección de experimentos

| Diseño experimental | Experimento seleccionado | Nomenclatura |
|----------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| LAM 1 | 3 | LAM1-3 |
| LAM 2 | 7 | LAM2-7 |
| LAM 3 | 2 | LAM 3-2 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Resultados físicos, químicos y mecánicos de los productos de la competencia en mercado actual. Para la evaluación de estos productos se tuvo en cuenta la misma metodología que se utilizó para evaluar los diseños experimentales (LAM1, LAM 2 y LAM 3) con distintas formulaciones. Para los tres productos se tuvo en cuenta su ficha técnica y sus posibles variaciones que existieron durante las mediciones como equipos y procedimientos que cada empresa de la competencia maneja. A continuación, se presentan los resultados de cada prueba correspondiente a los productos X1, X2 y X3.

En la Tabla 12 se presenta los resultados de las pruebas físicas y químicas como es tiempo de secado, pH y viscosidad.

En la prueba de tiempo de secado, los resultados arrojados son relativamente cercanos para los productos X1 y X2 respecto a los preparados previamente en el literal 3.3.2. El producto X3 aumentó su valor hasta en una tercera parte respecto a los otros dos productos bajando su desempeño en el tiempo de secado.

En la ficha técnica se encuentra que el producto X2 posee un tiempo de secado de 4 a 6 horas, pero especifica el espesor de la película aplicada durante la evaluación de esta propiedad. Para el producto X1 presentó un valor menor entre los tres productos evaluados, con menor tiempo de secado el cual presenta 3 horas siendo el valor más cercano respecto a los experimentos estudiados. Finalmente, en la ficha técnica del producto X3 menciona un tiempo de secado a condiciones

ambientales con un valor de 60 minutos lo cual no estuvo cercano a las especificaciones esperadas. Se realizó una verificación de la fecha de fabricación de este producto , para evaluar la vida útil que tenía debido a que presenta cierta inestabilidad durante su aplicación.

Tabla 12. Resultados obtenidos de pruebas fisicoquímicas de la competencia

| Producto | Tiempo de secado (min) | pH | Viscosidad (KU) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|----------------------------|
| X1 | 115.0 | 7.98 | 61.5 |
| X2 | 132.5 | 8.29 | 104.3 |
| X3 | 180.0 | 8.59 | 83.4 |

Fuente: Elaboración propia

La comparación entre los productos de la competencia con los tres productos seleccionados de los diseños experimentales evaluados, el experimento LAM1-3 arrojó un valor similar de tiempo de secado al producto X2. El experimento LAM2-7 tiene un valor menor del tiempo de secado frente a los tres productos de la competencia, mientras que el experimento LAM 3-2 tuvo un tiempo cercano al de producto X1. Los valores de estos experimentos preparados fueron mucho menores a excepción el producto X1, que dentro de su formulación posiblemente poseía resinas acrílicas de última generación.

Respecto a la propiedad de pH, los tres experimentos seleccionados están por encima de un valor de 9 lo cual favorece en alargar su vida útil además de presentar mayor estabilidad con el aditivo ERR como se mencionó en el capítulo 2, que en contacto con el modificador de pH aumentará el desempeño tanto físico, químico como mecánico. Los rangos de pH encontrados en las fichas técnicas de cada uno de los productos de la competencia oscilan entre 8 a 9 lo que corresponde a lo obtenido previamente en la Tabla 9.

En la propiedad de viscosidad, que es una variable importante dentro de las LAM, se encontró que el producto X2 presentó un valor similar al de los experimentos del diseño LAM 1. Los productos X1 y X3 tuvieron similitud con los diseños LAM 2 y LAM 3, lo cual permite asociar su formulación de resinas respectivamente.

Visualmente se verificó en apariencia que el producto X2 tiene aspecto cremoso indicando alta viscosidad y difícil manejo del producto mientras en los otros dos productos no presenta específicamente este comportamiento.

Para las pruebas mecánicas y químicas que evalúan la calidad del impermeabilizante se obtuvo los resultados expuestos en la Tabla 13. En estos productos de la competencia se encontró que el tiempo de resistencia temprana a la lluvia fueron similares al tiempo de secado donde esta propiedad está relacionada con la unión de todos los reactivos del producto y posiblemente la influencia de composiciones de solventes y resinas. Se ha llegado encontrar que en esta clase de productos ,que el uso de resinas siliconadas tienen 45 minutos de resistencia

temprana a la lluvia¹¹¹. Así mismo propiedades de adherencia, tensión y elongación están ligadas directamente al comportamiento polimérico que posean los compuestos dentro del producto.

En comparación con los experimentos de mejor desempeño con el aditivo ERR, los valores de resistencia temprana a la lluvia se encuentran entre 90 y 115 minutos lo cual tienen un mejor tiempo en dos de los tres productos de la competencia.

Para la prueba de Tensión se obtuvieron valores iguales o superiores respecto a los elegidos en cada experimento mencionados en el literal 3.3.3. Para el experimento LAM1-3 los valores de esta prueba son cercanos al producto X1, pero superados por los otros dos. En cuanto al experimento LAM2-7 el valor se encuentra por debajo de los tres productos de la competencia, generando desventaja en esta propiedad mecánica. Para el ultimo experimento LAM3-2, se encontró un estimado por encima del producto X1 y con un valor cercano a X3. El mejor producto respecto a esta propiedad corresponde a X2, que posee el valor más alto, además de acercarse al referente mencionado en la literatura.

Tabla 13. Resultados propiedades mecánicas de la competencia

| Producto | Adherencia (N/mm ²) | Tension (N/mm ²) | Elongación (%) | Resistencia temprana a la lluvia (min) |
|----------|---------------------------------|------------------------------|----------------|--|
| X1 | 0,77 | 0,717 | 67.02 | 125 |
| X2 | 0,56 | 1,010 | 164.35 | 110 |
| X3 | 0,46 | 0,823 | 48.36 | 130 |

Fuente: Elaboración propia

Para la propiedad de elongación el experimento LAM1-3 alcanzó el doble del valor respecto al producto X2. Esto implica que las resinas vinílicas como se ha mencionado anteriormente, poseen muy buenas propiedades de flexibilidad.

Respecto a los experimentos LAM2-7 y LAM3-2 poseen valores cercanos a 20 % lo cual indica que estas resinas tienen menor flexibilidad que otras. Esto se comprueba de manera que el desempeño de las resinas de poliuretano y acrílicas tienen menor flexibilidad, pero poseen mejor estabilidad en otras pruebas como el envejecimiento UV presentado en el literal 3.3.2.6.

En cuanto a la propiedad adherencia en comparativa con los experimentos seleccionados arrojaron valores menores y similares a X2 y X3 con el valor de 0.35 N/mm². El producto X1 poseía bastante adherencia como lo presenta su ficha técnica.

¹¹¹ ZHANG, Haimei. Building Materials in Civil Engineering Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. ISBN 1845699564.2011.Pg 248

Tabla 14. Resultados pruebas mecánicas con envejecimiento UV

| PRODUCTO | Tensión (N/mm²) | Elongación (mm) |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------|
| X1 | 0.309 | 92.650 |
| X2 | 0.222 | 21.313 |
| X3 | 0.323 | 12.800 |

Fuente: Elaboración propia

Los productos de la competencia presentaron más bajo desempeño en la prueba de tensión respecto a los experimentos seleccionados. El resultado de LAM 1-3 con un valor de 0.08 N/mm² fue el de menor valor en la comparativa, mientras los experimentos LAM2-7 y LAM3-2 con valores de 0.33 N/mm² y 0.46 N/mm² respectivamente, estando por encima de los 3 productos de la competencia como se presenta en la Tabla 14. El producto X2 no tiene un buen desempeño frente a esta prueba ejecutada.

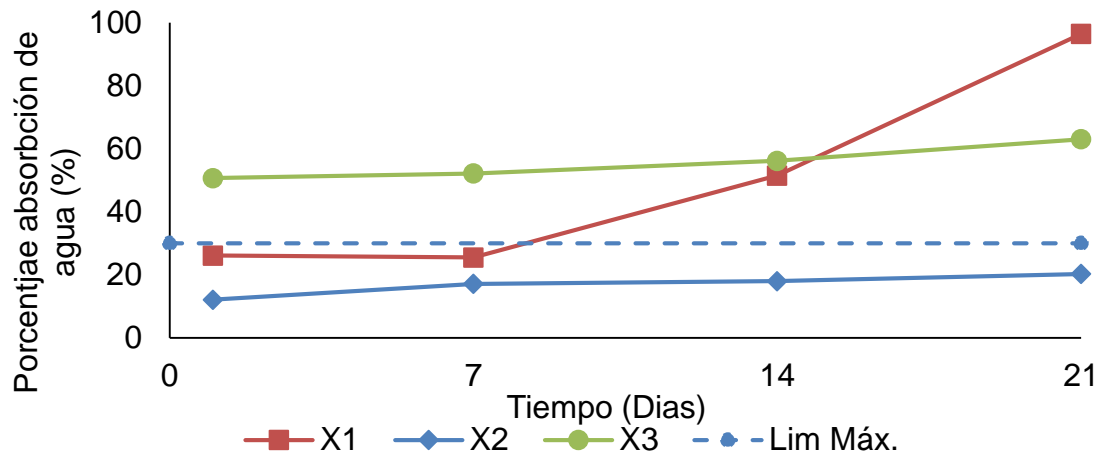
En cuanto a la prueba de elongación el producto X2 tuvo mayor similitud química a el diseño experimental LAM1 por los valores obtenidos en la Tabla 12, mientras X2 y X3 tienen mayor similitud a los diseños LAM2 Y LAM3 en esta prueba. Esta relación es importante debido a que la flexibilidad de las LAM afecta el desempeño del impermeabilizante.

Para ambas propiedades previamente mencionadas y luego de la ejecución de la prueba de envejecimiento en los experimentos seleccionados, arrojaron valores cercanos frente a la comparación entre la prueba del antes y después. En la comparativa de los resultados con los productos de la competencia se redujeron entre la mitad o la tercera parte, lo cual se tuvo mayor ventaja numérica de los experimentos seleccionados.

En las propiedades de absorción de agua los productos X2 y X3, el comportamiento observado es casi constante expuesto en el Grafico 25, debido a que el sistema impermeabilizante a largos periodos de agua retendrá la misma cantidad en peso según el material. En cuanto al producto X1 se encontró que su comportamiento fue creciente lo cual no es favorable en una LAM, llegando a valores casi del 100% respecto a su peso inicial como se presenta en el Gráfico 25.

Los resultados anteriores comparados con los experimentos seleccionados que poseen rangos entre 20 al 30% de absorción de agua únicamente presentan un comportamiento cercano al producto X2. Tanto para los productos X1 y X3 tuvieron valores mayores al 40% conforme aumentó el tiempo, generando una disminución de su vida útil como se evaluó previamente en el literal 3.3.2.5

Gráfico 25. Resultados de porcentajes de absorción en productos de la competencia

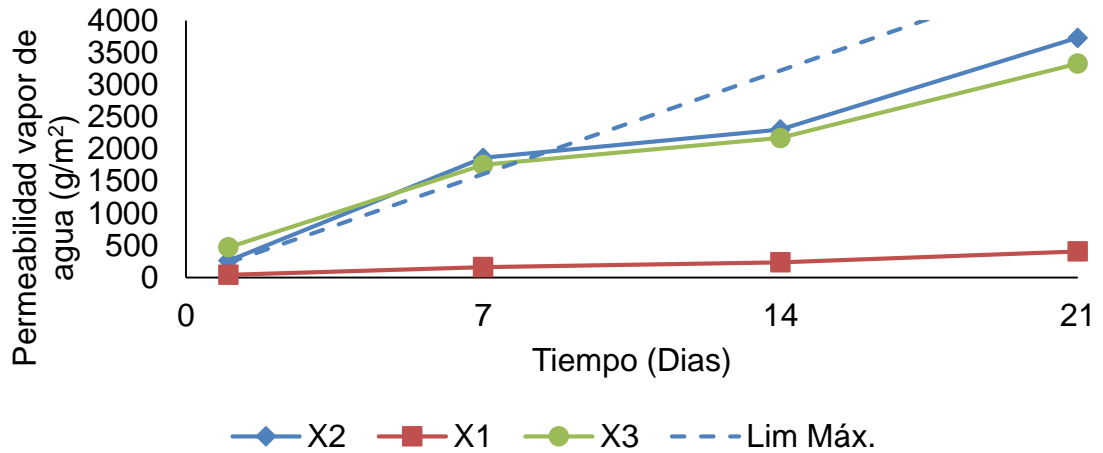


Fuente: Elaboración propia

Para la prueba de permeabilidad de vapor de agua, se encontró que el producto con menor permeabilidad vapor de agua es el producto X1 como se presenta en la Gráfica 26. Se analizó que el experimento LAM2-7 tiene un valor cercano a 500 g/m^2 cercano a este producto y lejano a los otros dos productos de la competencia, lo cual evita el fenómeno de flujo de vapor sea menor en condiciones climáticas de condensación o rocío mencionadas anteriormente. Para el experimento LAM3-2 se encontró un valor cercano a 1000 g/m^2 , lo cual su desempeño estuvo por encima de los productos de la competencia anteriormente mencionados a excepción de X1.

Los productos X2 y X3 que arrojaron valores más altos de permeabilidad se justifican por la porosidad del material generando alta filtración de agua, que si se llegase aplicar en una superficie da paso a grandes cantidades de vapor de agua y baja el desempeño de permeancia disminuyendo la función de impermeabilizante.

Gráfico 26.Resultados de permeabilidad vapor de agua de la competencia



Fuente: Elaboración propia

A partir de las pruebas anteriormente evaluadas tanto de la competencia como la selección correspondiente de los tres diseños experimentales, se encontró que las propiedades mecánicas, absorción y permeabilidad de vapor de agua tendrán mejor desempeño respecto a los productos de la competencia, además del cumplimiento de cada normativa. En los experimentos preparados y seleccionados, se presentaron mayores ventajas que desventajas, lo cual permite determinar el uso de cada uno de ellos, según el valor en el mercado. Así mismo se recomendaría el uso de la LAM 3 debido a su alta estabilidad frente a condiciones climáticas extremas. La literatura respecto a la explicación de estos comportamientos es un tanto escasa, ya que se presenta como secretos industriales en la mayoría de compañías productoras de impermeabilizantes. Las LAM seleccionadas mejoraron el desempeño de cada producto actual en las pruebas de tiempos de secado y resistencia a fenómenos climáticos como la lluvia y el sol. Esto, sin disminuir las propiedades mecánicas lo cual favorece la vida útil y disminución del mantenimiento del producto.

4. EVALUACIÓN DE COSTOS

En este capítulo evaluó actuales de los tres productos de las LAM de SIKA, respecto a la incorporación del aditivo ERR en los experimentos de mejor desempeño, donde se tuvo en cuenta el costo unitario del aditivo según su porcentaje además de materias primas, costos operativos, costos variables y envase. Para observar la ventaja de los experimentos con el aditivo ERR respecto a los actuales se evaluó el ahorro respecto al tiempo de secado con la aplicación de una segunda capa de LAM si se llegara a presentar un desprendimiento en la superficie.

En la Tabla 15, se presentará el costo actual de los tres productos de las LAM. En estos, se tuvo en cuenta el costo de todas las materias primas para 1 kg, como el costo según el consumo energético que lleva la preparación en kW, que se calculó a partir de la agitación durante 1 hora, para la preparación de 1kg¹¹³ y el costo de una hora de trabajo de un operario de producción que debe estar vigilando y controlando la agitación¹¹⁴. Así mismo, se adicionó el costo del envase del experimento final para obtener un costo aproximado que se expondrá a continuación.

Tabla 15. Costos unitarios para la producción de 1 kg de LAM

| Costos Unitarios | P1 | P2 | P3 |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|
| Costos del producto(\$/kg) | \$ 5.119 | \$4.179 | \$ 2.402 |
| Costos variables (\$kW/h) | \$ 440,80 | \$ 440,80 | \$ 440,80 |
| Costos operativos (\$/Hora de trabajo) | \$3.255 | \$3.255 | \$3.255 |
| Costo de envase(\$/Unidad) | \$1.500 | \$1.500 | \$1.500 |
| TOTAL COSTOS | \$ 10.314,80 | \$9.374,80 | \$7.597,80 |

Fuente: Elaboración propia

Para la comparación con experimentos de mejor desempeño explicados en el literal 3.3.3, se tuvo en cuenta que el costo del aditivo ERR que es de 6 dólares por kg, donde la conversión en pesos colombianos equivale a aproximadamente \$18.000 y según cada experimento se calculó el costo según el porcentaje utilizado dentro de la formulación.

A partir de la Tabla 15, se tomó estos costos y se incrementó el costo respectivo del aditivo ERR en el costo final según la formulación seleccionada, mientras que la cantidad de modificador de pH proporcionado por SIKA se encuentra dentro del costo unitario de materia prima y no tiene un cambio tan significativo como el aditivo. En la tabla 16 se presentará el incremento del costo total de cada LAM.

¹¹³ ENEL CODENSA. Nuevos valores del kilovatio en Colombia. [En línea] [Revisado 11 de Noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia-disminuye>

¹¹⁴ SYMPLIFICA. Salario mínimo 2018. [En línea] [Revisado 11 de Noviembre de 2018]. Disponible en: <https://symplifica.com/salario-minimo-2017>

Tabla 16. Resultados de costos de la selección de los experimentos con mejor desempeño

| Costos Unitarios | LAM1-3 | LAM2-7 | LAM3-2 |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|
| Costos del producto(\$/kg) | \$ 5.119 | \$4.177 | \$2.402 |
| Costo del aditivo ERR (\$/kg) | \$90 | \$180 | \$135 |
| Costos variables (\$kW/h) | \$440,80 | \$440,80 | \$440,80 |
| Costos operativos (\$/Hora de trabajo) | \$3.255 | \$3.255 | \$3.255 |
| Costo de envase(\$/Unidad) | \$1.500 | \$1.500,00 | \$1.500,00 |
| TOTAL COSTOS | \$10.404,80 | \$9.554,80 | \$7.732,80 |

Fuente: Elaboración propia

A partir del cálculo de incremento de costos en la tabla 13, con la incorporación del aditivo ERR se encontró que en el producto actual P1 existiría un incremento del 0,87% .Mientras que para el producto P2 existiría un incremento de 1,92%, el más alto respecto al incremento del valor actual. Finalmente, para el producto P3 existiría un incremento de 1,78% respecto al valor actual.

Aunque se presente un incremento en el costo de preparación y claramente para el consumidor, se puede observar una cantidad de ahorro respecto al desempeño en cuanto a tiempo de secado y resistencia a la lluvia como se detallara a continuación.

Debido a la temporada de lluvias de los últimos años, los consumidores presentan problemas respecto a el desprendimiento de las LAM luego de la aplicación si se presenta este fenómeno climático. Esto genera pérdidas tanto de producto como de mano de obra aumentando el costo de la impermeabilización en la superficie.

El precio puede inclusive incrementarse al doble del costo actual tanto del producto como la mano de obra y con la incorporación del aditivo ERR, podría presentar un ahorro que se apreciará en la Tabla 17. Estos costos se basan en la aplicación de una sola capa del impermeabilizante, además de la incorporación el aditivo ERR, se utilizaría una cantidad de 1 kg en una superficie, mientras que cuando existe un daño debe aplicarse nuevamente otra capa usando 2 kg. Los costos de mano de obra para cada aplicación se evaluaron según el tiempo de 90 minutos que corresponde al tiempo de secado para los experimentos realizados donde se adicionó el aditivo ERR, mientras que para el daño de las LAM se tomó el tiempo actual de cada producto con un mínimo que es de 120 minutos.

Como resultado se encontró que si se usa las LAM con el aditivo ERR para el producto P1 existe un ahorro de 75.53%, para P2 el ahorro es de 74.96% y para P3 es de 72.05%.Se considera un buen resultado para el costo de aplicación por 1 kg ,generando un ahorro de más de la mitad en costo del producto y mano de obra si se usa el aditivo ERR frente a las LAM del portafolio actual si se llegara a presentar lluvia durante la aplicación del producto.

Tabla 17. Comparación de costos entre la aplicación de los experimentos ERR y el daño de las LAM actuales

| | P1 | | P2 | | P3 | |
|--|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Costos de aplicación | Daño en la LAM | Con el aditivo ERR | Daño en la LAM | Con el aditivo ERR | Daño en la LAM | Con el aditivo ERR |
| Costo del producto(\$/kg) | \$ 20.629 | \$ 10.404 | \$ 18.749 | \$ 9.554 | \$ 15.195 | \$ 7.732 |
| Mano de obra para la aplicación (\$/hora de trabajo según el tiempo de secado) | \$ 6.510 | \$ 4.882 | \$ 6.510 | \$ 4.882 | \$ 6.510 | \$ 4.882 |
| TOTAL COSTO PARA LA APLICACIÓN DE 1 kg | \$ 27.139 | \$ 15.287 | \$25.259 | \$ 14.437 | \$ 21.705 | \$ 12.615 |
| AHORRO POR 1 kg | \$ 11.852 | | \$ 10.822,30 | | \$ 9.090,30 | |

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

- Se encontró en la caracterización de los dos modificadores de pH (MPA y MPH3) y del aditivo ERR, que las propiedades de pH y viscosidad presentaron valores similares, con rangos entre 10-11, siendo valores básicos y similares al agua respectivamente, asegurando amplia vida útil y alta fluidez. Para el aditivo ERR se encontró con las pruebas de DSC, TGA y porcentaje de sólidos, que su naturaleza polimérica aproximada fue confirmada como vinil acrílica .
- Durante la preparación de cada experimento se encontró que el modificador de pH MPH3, no presentó compatibilidad con el aditivo ERR, descartando los diseños experimentales planeados para la implementación de este aditivo en las LAM actuales de SIKA.
- La LAM de mejor desempeño fue la 3 debido a que los valores de todas las pruebas evaluadas cumplen con la normativa según lo estipulado en la literatura.
- Comparando los resultados frente a los tres productos de la competencia evaluados se encontró que X1,X2 y X3 tienen valores más bajos en las propiedades mecánicas, resistencia la lluvia, tiempo de secado , absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua.
- A partir de cada experimento seleccionado se aumentó los costos debido a la implementación del aditivo ERR en la preparación de las LAM, pero generaría un beneficio de ahorro de un 70% aproximado en cada producto si se presenta un daño de las LAM por condiciones de lluvia.

6. RECOMENDACIONES

Para futuros trabajos se recomienda:

- Evaluar otros modificadores de pH más ecológicos y compatibles con el aditivo ERR para implementar en las LAM.
- Analizar otros aditivos que resistan la lluvia y disminuyan el tiempo de secado dentro de las LAM.
- Evaluar porcentajes más altos del ADITIVO ERR que los propuestos en el diseño experimental para evaluar si se efectúa en el cambio del desempeño.
- Escalar la preparación de las LAM con el aditivo ERR y el porcentaje de modificador de pH recomendado.
- Analizar el uso de nuevas resinas acrílicas o de poliuretano en el desempeño de las LAM para mejorar la resistencia a la lluvia.

BIBLIOGRAFIA

ACCENT OF AMERICA. Impermeabilizante H-24 para piscinas. [En línea]. [Consultado el 21 de Octubre 2018]. Disponible en: <http://accentofamerica.es/desarrollo/wp-content/uploads/2016/05/FICHA-TECNICA-IMPERMEABILIZANTE-HF-24.pdf>

ACRYLICOS VALLEJO, S. L. Tierras y Óxidos de Hierro. [En línea] [Consultado el 9 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.daxmagic.nl/downloads/vallejo-pigments-rev04.pdf>

ALONSO, José Felipe. RESINAS VINILICAS. PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización. [En línea]. [Consultado el 12 de agosto 2018]. Disponible en: <http://oa.upm.es/39501/1/ControlCalidadPinturas.pdf>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Terminology of Adhesives. ASTM D903. [En línea]. 2014. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM G154. [En línea]. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for No-Pick-Up Time of Traffic Paint. ASTM D711. PA: ASTM. 2014. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Nonvolatile Content of Varnishes. ASTM D1644. [En línea]. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer. ASTM D2196. [En línea]. 2014. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings. ASTM D2370. [En línea]. Disponible en: www.astm.org

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. Test method for consistency of Paints Measurements Krebs Units (KU) Viscosity using a Stormer-Type Viscosimeter. ASTM D562. [En línea]. 2014. Disponible en: www.astm.org

Análisis de los gases desprendidos (EGA). Técnicas acopladas. Descomposición de CaC_2O_4 por TGA. [En línea]. [Consultado el 20 de Agosto 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2MQP2hv>

ANTIHUMEDADES. Membrana Híbrida Acrílica +Poliuretano [En línea] [Consultado el 10 de Junio 2018]. Disponible en: <https://antihumedades.es/humedades-enterrazas-cubiertas-planas-y-suelos/275-1069-membrana-hibrida.html>

APLICACIONES TECNICAS DE PROCESOS PRODUCTIVOS. Tablas de viscosidad. [En línea].[Consultado el 19 de Agosto2018]. Disponible en: www.atpplleal.com/userfiles/files/VISCOSIDAD.pdf

AZNAR, Alberto C. Permeabilidad de películas de pinturas y su relación con su capacidad protectora. Valoración por difusión de vapor de agua. [En línea]. Centro de investigación y Desarrollo en tecnología en Pinturas (CIDEPINT)

AZYCHEM. Membrana elastomérica impermeabilizante poliúrica. [En línea] [Consultado el 27 de Junio2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2oBzqju>

BASF Corporation. Dispersions and Resins. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto 2018]. Disponible en: <https://on.basf.com/2RGyHdb>

BASF Corporation. Análisis instrumental: algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al espacio europeo de educación superior. [En línea]. [Consultado el 19 de Agosto 2018]. Disponible en: https://worldaccount.basf.com/wa/NAFTA~en_US/Catalog/Dispersions/doc4/BASF/PRD/30578050/.pdf?asset_type=msds/pdf&language=ES&validArea=CO&urn=urn:documentum:ProductBase_EU:09007af8803a6929.pdf

BETTS, John. Montmorillonite Mineral Data. General Montmorillonite Information. [En línea]. [Consultado el 10 de Junio2018]. Disponible en: <http://www.webmineral.com/data/Montmorillonite.shtml#.W9sh-JNKjIX>

CARBUROS METALICOS. Grupo Air Products. Amoníaco: Datos técnicos, formas de suministro y especificaciones de producto. [En línea]. [Consultado el 19 de Agosto 2018]. Disponible en: http://www.refrigerantes.mobi/PDF/Amoniaco-brochure_ES.pdf

CARRERA-GALLISSÀ, E. Caracterización de tejidos. Principales ensayos físicos para evaluar la calidad de los tejidos textiles. 1st ed. Universitat Politècnica de Catalunya: 2015. 238 p.

CASAS, Diego. Polimetilmetracrilato (PMMA). [En línea].[Consultado el 9 de Junio 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2Q3yPDJ>

CHAVERRA, Duván. Nano-recubrimientos para automóviles. [En línea]. [Consultado el 9 de Octubre2018]. Disponible en: shorturl.at/fDMU3

COREÑO ALONSO, Juan. Relación estructura-propiedades de polímeros. Universidad Nacional Autónoma de México: 2010. ISBN 0187-893-X

CORREA, Marcela. IMPORTANCIA DE COALESCENTES EN PINTURAS BASE AGUA. [En línea]. 8 de Julio de 2016. [Consultado el 11 de Junio 2018]. Disponible en: <http://apexperteam.blogspot.com/2016/07/importancia-de-coalescentes-en.html>

CYPE INGENIEROS S.A.S. Tecnología de Sika y Conceptos para Cubiertas. Catálogo de producto. [En línea]. [Consultado el 27 de Junio 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2NL0M1q>

DSC CONSUMABLES INCORPORATED. Sample cup/lid set (90uL for Q600) TA Instruments. [En línea]. [Consultado el 27 de Junio 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2NPDmYU>

DULEEKA K.P. Study on waterproofing methods of roof top slabs. Tesis de grado para optar por el título de ingeniería de diseño. University of Moratuwa, 2016. p. 3.

DURAN, José Antonio. Nissan prueba tecnología de nano-pintura que repele la suciedad. [En línea]. 28 de abril de 2014. [Consultado el 9 de Octubre 2018]. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/nissan-prueba-tecnologia-de-nano-pintura-que-repele-la-suciedad>

EL TIEMPO. Este mayo ha sido el cuarto más lluvioso en los últimos 28 años. [En línea]. [Consultado el 10 de Octubre 2018]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/este-mayo-el-cuarto-mas-lluvioso-de-los-ultimos-28-anos-216616>

ENEL CODENSA. ENEL CODENSA. Nuevos valores del kilovatio en Colombia. <https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia-disminuye>. [En línea]. [Consultado el 11 de Noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.codensa.com.co/hogar/valor-del-kilovatio-en-colombia-disminuye>

ETERNIT. Placa de fibrocemento Eterboard®. [En línea]. [Consultado el 7 de Julio 2018]. Disponible en: <http://www. eternit.com.co/web/eternit/navegador-productos/-/navegador/buscar/placa-de-fibrocemento-autoclavada-eterboard->

FERROALEACIONES Y MINERALES INDUSTRIALES S.A DE CV. MINERALES PARA PINTURAS. [En línea]. [Consultado el 10 de Junio 2018]. Disponible en: <http://www.mpxilo.com/pinturas>

FRANCO, Néstor. Caudal del Río Bogotá aumentó por fuertes lluvias. [En línea]. 24 de Marzo de 2018. [Consultado el 26 de Marzo 2018]. Disponible en: <http://soachailustrada.com/2017/03/caudal-del-rio-bogota-aumento-por-fuertes-lluvias/>

GARRIGA MAESTRO, Alicia. Reología de los espesantes celulósicos para pinturas de agua: Modelización y mecanismo de espesamiento asociativo. España.: Universidad de Barcelona, 2009.

GIRON RODRÌGUEZ, Andrés Felipe. Impermeabilización de superficies en la construcción de edificios. Universidad Distrital Francisco José de Caldas., 2016. p. 3.

GIUDICE, Carlos A. *et.al.* TECNOLOGÍA DE PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS COMPONENTES, FORMULACIÓN, MANUFACTURA Y CONTROL DE CALIDAD. 1st ed. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional-Argentina, 2009. 250 p. ISBN 978-987-25360-2-2

GONZÁLEZ, Montse Bosch *.et.al.* PARAMENTOS: NUEVOS REVESTIMIENTOS. Volumen 46 de Aula 'Arquitectura. Universidad Politécnica de Cataluña, 2002. p.155.

GRANADOS CRISTANCHO, Yenny Alejandra. Importancia De Los Ensayos TGA y DSC en el Estudio de las Propiedades Térmicas de Mezclas Asfálticas. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Facultad Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales, 2015.

GUZMÁN, G. A.; PARDINIA, O. R. AZNAR, C.A. and AMALVY, J. I. DISPERSIONES ACUOSAS POLIURETÁNICAS E HÍBRIDOS ACRÍLICO-POLIURETÁNICAS PARA LA TERMINACIÓN DE PRODUCTOS DEL CUERO. En: XVI Congreso Latinoamericano de Químicos y técnicos de la Industria del Cuero. Argentina.: 2004.

Hilti AG. ADDITIVE FOR IMPROVING THE EARLY RESISTANCE TO DRIVING RAIN OF COATING COMPOSITIONS AND THE USE THEREOF. Inventor(es): FOERG, Christian, *et al.* Estados Unidos, US7897669B2. 14 enero 2010.

IMAZ COLOR. Viscosidad de la pintura. [En línea]. [Consultado el 10 de Octubre 2018]. Disponible en: <http://imazcolor.com/viscosidad-de-la-pintura/>

IMPERMEABILIZANTES SIGMA. IMPERMEABILIZACIÓN DE CASA CON IMPERMEABILIZANTE ACRÍLICO. [En línea]. [Consultado el 29 de Marzo 2018]. Disponible en: <http://impermeabilizantes-mexico.com/acrilico-casa.html>

IMTECO. Impermeabilizar con membranas líquidas. [En línea]. [Consultado el 27 de Junio 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2wEJoFc>

INPRA LATINA. Consideraciones sobre el tiempo de secado y curado. [En línea] 13 de Septiembre de 2012 [Consultada en: 20 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.inpralatina.com/201209132538/articulos/pinturas-y-recubrimientos/consideraciones-sobre-secado-y-curado-i.html>

INPRA LATINA. RESINAS ACRILICAS. [En línea]. [Consultado el 9 de Junio 2018]. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201411061108/productos/pinturas-y-recubrimientos/resinas-acrilicas.html>

INPRA LATINA. Modificador reológico. [En línea]. 23 de Abril del 2016. [Consultado el 10 de Junio 2018]. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201605232705/productos/pinturas-y-recubrimientos/modificador-reologico.html>

INPRA LATINA. Importancia del balance de pH en pinturas acuosas. [En línea]. [Consultado el 10 de Junio 2018]. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/201705086918/articulos/pinturas-y-recubrimientos/importancia-del-balance-de-ph-en-pinturas-acuosas.html>

INPRA LATINA. Biocidas: Protección en envase. [En línea]. 25 de Marzo del 2009. [Consultado el 11 de Junio 2018]. Disponible en: <http://www.inpralatina.com/200903251299/articulos/pinturas-y-recubrimientos/biocidas-proteccion-en-envase.html>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas de trabajos escrito. NTC 148-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

KRYPTON CHEMICAL. Impermeabilización. [En línea]. [Consultado el 27 de Julio 2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2NKYdMO>

LABORATORIO NACIONAL DE PROTECCIÓN AL CONSUMIDOR DE MEXICO. Impermeabilizantes 5ª. [En línea]. [Consultado el 8 de Septiembre 2018]. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/100338/Impermeabilizantes.pdf>

Lagoi 98 S.L Material de Construcción. IMPERMEABILIZANTES. [En línea]. [Consultado el 14 de Octubre 2018]. Disponible en: http://www.lagoi98.com/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=271

LAJO PÉREZ, Rosina. LÉXICO DE ARTE. Madrid, España: AKAL, 1995. 224-163 p. ISBN 8446009242

MARC Ros. LA NUEVA TECNOLOGÍA DE COPOLÍMERO MEJORA LA RESISTENCIA A LA LUZ UV DEL POLICARBONATO. Eliminación de recubrimientos UV. [En línea]. [Consultado el 20 de Agosto 2018]. Disponible en: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/17042-La-nueva-tecnologia-de-copolimero-mejora-la-resistencia-a-la-luz-UV-del-policarbonato.html>

MANO, Joao F. Propiedades térmicas de los polímeros en la enseñanza de la ciencia de materiales e Ingeniería Estudios DSC sobre Poli (tereftalato de Etileno). Journal of Materials Education. Universidad Autónoma del Estado de México/University of North Texas. Toluca, México. Pg. 155-170

MASSCHELEIN KLEINER, Liliane. Los solventes. Centro Nacional de Conservación y Restauración. Chile.: 2004. 142 ISBN 956-244-166-0.

MASSISIMO PIRRACCINI TREATMENT. Diferencia entre los productos base solvente y los con base agua. [En línea] [Consultada en:20 de Agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.mptreatment.com/es/f-a-q-es/descubre-la-diferencia-entre-los-productos-base-solvente-y-los-con-base-agua.html>

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS. Método para la determinación del secado, curado, formación de película de recubrimientos orgánicos a temperatura ambiente. NTC 598. Disponible en: www.icontec.org

PAREDES, Sergio. Síntesis de Poliuretano. [En línea]. [Consultado el 27 de Marzo2018]. Disponible en: <https://bit.ly/2Cfze3b>

PAT, Francisco. Impermeabilizantes – Algunos Aspectos que omitimos al momento de decidir cuál usar. [En línea]. [Consultado el 14 de Octubre2018]. Disponible en: <https://revitalizatemexico.wordpress.com/2012/09/07/impermeabilizantes-como-seleccionar-el-mas-adecuado>

PÉREZ GARCÍA, Antonio Jesús. Aplicación de pinturas e imprimaciones protectoras. 1st ed. IC, 2014. 266 p. ISBN 8415848196

PHENIX, E. Solubility parameters and the cleaning of paintings: an update and review. 2 de Enero. vol. 12, p. 387

PIMENTEL MAMANI, Ángela del Carmen. Problemática en la etapa de acabados de edificios multifamiliares y recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación. Perú.: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016. p. 2.

PINTURAS ESPECIALES MADRID, TOLEDO. Efecto del óxido: Proceso de aplicación. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto 2018]. Disponible en: <https://pinturasespeciales.es/producto/efecto-oxido-2/>

POCHTEC A S.A.B. PINTURAS BASE AGUA: VINILICAS, ACRILICAS Y VINIL ACRILICAS.[En línea]. [Consultado el 9 de Junio 2018]. Disponible en: <https://www.pochteca.com.mx/pinturas-base-agua-vinilicas-acrilicas-y-vinil-acrilicas/>

QUIMINET. Las múltiples características de una resina acrílica. [En línea]. 31 de Agosto 2012. [Consultado el 9 de Junio 2018]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/las-multiples-caracteristicas-de-una-resina-acrilica-2840008.htm>

RAMÍREZ SUAZO, Eduardo Víctor. ESTUDIO PARA LA OBTENCION DE PINTURAS LATEX EN EL LABORATORIO EN LA REGION JUNIN. Perú.: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2016. p. 60.

Resinas Castro S. L. Polígono Industrial A. Uretano-Acrílicas. [En línea]. [Consultado el 21 de Octubre 2018]. Disponible en: <https://www.castrocompositesshop.com/es/20-uretano-acrilicas>

RODRIGUEZ, Carlos. Eficiencia de aditivos impermeabilizantes por cristalización para el hormigón en Guayaquil. Universidad Espíritu Santo, 2015. p. 11.

RUBIO ELIAS. PRUEBAS MÉCICAS DE ADHERENCIA. [En línea]. [Consultado el 21 de Octubre 2018]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/mateorubio5/pruebas-mecnicas-de-adherencia>

SCHWEIGGER, Enrique. Manual de pinturas y recubrimientos plásticos. Díaz de Santos, 2005. 288 p. ISBN 8479787074

SIERRA ALONSO, Isabel, *et al.* Análisis instrumental : algunas herramientas de enseñanza-aprendizaje adaptadas al espacio europeo de educación superior. 1st ed. 2016.

SIKA AG. Introducción a los sistemas impermeabilizantes. [Sitio Web] [Revisado 29 de Marzo de 2018]. Disponible en: <https://col.sika.com/content/colombia/main/es/roofing-redirect/sika-roofing-solutions/sistemas-de-impermeabilizacion/introduccion-sistemas.html>

SIKA PERU. MEMBRANAS LIQUIDAS APLICADAS,2014. [En línea] 2014[Revisado el 8 de Junio de 2018].Disponible en: <https://docplayer.es/10945848-Membranas-liquidadas-aplicadas-sika-julio-2014-arq-jim-calle-sika-peru-tm-roofing.html>

STREITBERGER , Hans-Joachim y DÖSSEL, Karl-Friedrich. Automotive Paints and Coatings. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2008. 187 p.

SYMPLIFICA. SYMPLIFICA. Salario mínimo 2018. [En línea]. [Consultado el 11 de Noviembre2018]. Disponible en: <https://symplifica.com/salario-minimo-2017>

SYNTHEON. Membrana acústica impermeable respirable. [En línea]. [Consultado el 14 de Octubre2018]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/5500/Ficha_T_cnica_RevealShield.pdf

TA INSTRUMENTS. THERMAL ANALYSIS. SDT Q600 SPECIFICATIONS. [En línea]. [Consultado el 19 de Agosto 2018]. Disponible en: <http://www.tainstruments.com/pdf/brochure/sdt.pdf>

TECNOPOL. TECNOPOL. La prueba de tensión. [En línea]. [Consultado el 21 de Octubre 2018]. Disponible en: <https://tecnopol.es/actualidad/la-prueba-de-tension>

TECNOLOGIA DE PLASTICOS. PROPIEDADES MECANICAS. [En línea]. [Consultado el 1 de Octubre 2018]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

TOLSA T.A GROUP. SOLUCIONES. ADITIVOS DE CONSTRUCCIÓN, PINTURAS Y ASFALTOS. Reducción de sinéresis. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto 2018]. Disponible en: http://www.tolsa.com/aditivos/productos_soluciones/reduccion-de-sineresis/

U.S. Environmental Protection Agency. GUÍA PARA EL CONTROL DE LA HUMEDAD EN EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE EDIFICACIONES. [En línea] [Consultado el 26 de Marzo 2018]. Disponible en: https://espanol.epa.gov/sites/production-es/files/2016-07/documents/moisture_control_guidance_spanish_april_2016_508_final.pdf

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA. Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales. Materiales Poliméricos y Compuestos. Temperaturas de fusión y de transición vítrea de algunos termoplásticos y elastómeros. [En línea]. [Consultado el 20 de Agosto 2018]. Disponible en: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_4.html

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. ESTUDIO DE ADHESIVOS PARA LA CONSOLIDACIÓN Y REFUERZO DE TEJIDOS HISTÓRICOS: MATERIALES Y MÉTODOS. 3rd ed. Universidad Politécnica de Valencia: 2008.

VANDEZANDE, Gerald. Improved Dirt Pickup Resistance Critical to Future Coating Innovation. [En línea]. [Consultado el 12 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.pcimag.com/articles/87720-improved-dirt-pickup-resistance-critical-to-future-coating-innovation-1>

VIGNOLI VARGAS, Sofía .*et.al.* Membranas para la impermeabilización de losas de concreto de puentes. Universidad de Costa Rica. Programa de Ingeniería Estructural, N° 1, Volumen 3, Año 2018 · ISSN: 2215-4566

WEBER SAINT GOBAIN. Webertec hydrolastic- Impermeabilizante. [En línea]. [Consultado el 23 de Octubre 2018]. Disponible en: <https://www.es.weber/impermeabilizacion/impermeabilizacion/webertec-hydrolastic>

YOUN, Sul. Bubble development in a polymeric resin under vacuum. Polymer Engineering & Science. 2012.vol. 52, no. 4, p. 1733–1739

YUAN, Caideng. Preparation and properties of UV-curable waterborne polyurethane–acrylate emulsion. En: JOURNAL OF APPLIED POLYMER SCIENCE. p. 3

ZHANG, Haimei. Building Materials in Civil Engineering Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. ISBN 1845699564.2011.p. 248

ANEXOS

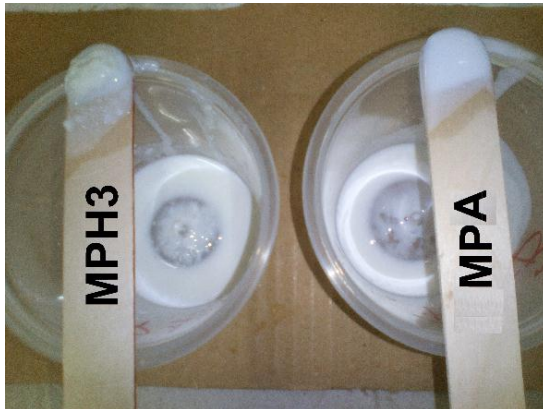
ANEXO A.

RESULTADOS DE COMPATIBILIDAD ENTRE RESINAS, ADITIVO ERR Y MODIFICADOR DE PH DE LAS LAM 1, LAM 2 Y LAM 3

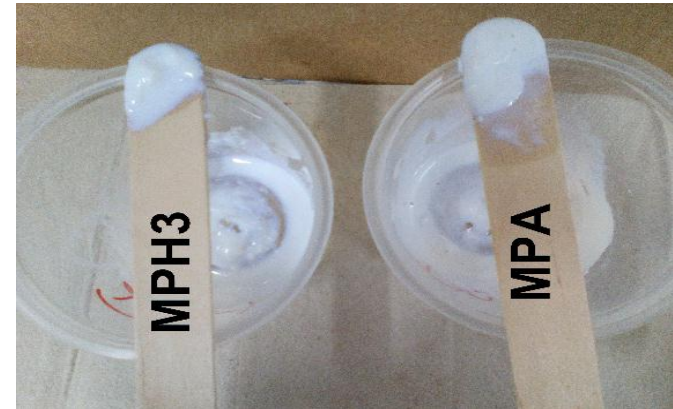
Incompatibilidad del aditivo ERR y el modificador de pH MPH3 de las LAM preparadas



Experimento de compatibilidad de P1



Experimento de compatibilidad de P2 y P3



Fuente:Elaboracion propia

ANEXO B.
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS PROMEDIO DE pH

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 1,499 | 2 | 0,749 | 77,918 | 0,000626 | 6,944 |
| Columnas | 0,00167 | 2 | 0,000836 | 0,0868 | 0,918 | 6,944 |
| Error | 0,0385 | 4 | 0,00962 | | | |
| Total | 1,539 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,731 | 2 | 0,365 | 420,367 | 2,242E-05 | 6,944 |
| Columnas | 0,0140 | 2 | 0,007019 | 8,0734 | 0,0394 | 6,944 |
| Error | 0,00347 | 4 | 0,0008694 | | | |
| Total | 0,748 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,8801 | 2 | 0,440 | 120,205 | 0,00026784 | 6,94427191 |
| Columnas | 0,00737 | 2 | 0,00368 | 1,00682 | 0,44242806 | 6,94427191 |
| Error | 0,0146 | 4 | 0,00366 | | | |
| Total | 0,902 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%

ANEXO C.
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS PROMEDIO DE VISCOSIDAD

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 245,394 | 2 | 122,697 | 28,902 | 0,00419 | 6,944 |
| Columnas | 9,384 | 2 | 4,692 | 1,105 | 0,41484 | 6,944 |
| Error | 16,981 | 4 | 4,245 | | | |
| Total | 271,759 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 45,287 | 2 | 22,644 | 12,785 | 0,0183 | 6,944 |
| Columnas | 116,354 | 2 | 58,177 | 32,848 | 0,0033 | 6,944 |
| Error | 7,084 | 4 | 1,771 | | | |
| Total | 168,726 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 67,629 | 2 | 33,814 | 2,888 | 0,167 | 6,944 |
| Columnas | 86,649 | 2 | 43,324 | 3,701 | 0,123 | 6,944 |
| Error | 46,828 | 4 | 11,707 | | | |
| Total | 201,106 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO D.

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS PROMEDIO PARA TIEMPOS DE SECADO

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 106,889 | 2 | 53,444 | 1,105 | 0,415 | 6,944 |
| Columnas | 48,722 | 2 | 24,361 | 0,504 | 0,638 | 6,944 |
| Error | 193,444 | 4 | 48,361 | | | |
| Total | 349,056 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 25,722 | 2 | 12,861 | 0,425 | 0,680 | 6,944 |
| Columnas | 68,722 | 2 | 34,361 | 1,135 | 0,407 | 6,944 |
| Error | 121,111 | 4 | 30,278 | | | |
| Total | 215,556 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 260,722 | 2 | 130,361 | 1,651 | 0,300 | 6,944 |
| Columnas | 200,056 | 2 | 100,028 | 1,267 | 0,375 | 6,944 |
| Error | 315,778 | 4 | 78,944 | | | |
| Total | 776,556 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%

ANEXO E.
RESULTADOS PROMEDIO DE ANÁLISIS DE VARIANZA DE ABSORCIÓN DE AGUA

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 219,086 | 2 | 109,543 | 0,766 | 0,523 | 6,944 |
| Columnas | 246,739 | 2 | 123,369 | 0,863 | 0,488 | 6,944 |
| Error | 571,972 | 4 | 142,993 | | | |
| Total | 1037,797 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANALISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 179,728 | 2 | 89,864 | 8,224 | 0,038 | 6,944 |
| Columnas | 5,786 | 2 | 2,893 | 0,265 | 0,780 | 6,944 |
| Error | 43,710 | 4 | 10,927 | | | |
| Total | 229,224 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

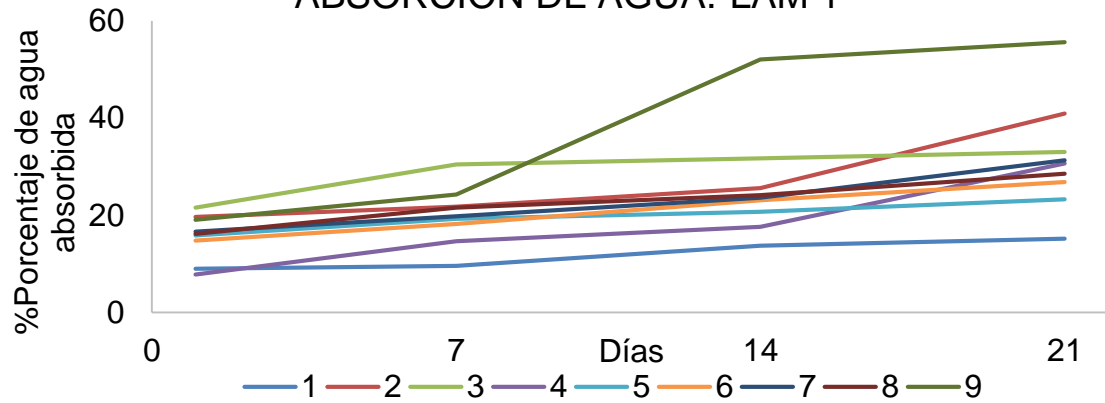
ANALISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 92,284 | 2 | 46,142 | 3,247 | 0,145 | 6,944 |
| Columnas | 30,223 | 2 | 15,112 | 1,063 | 0,426 | 6,944 |
| Error | 56,839 | 4 | 14,210 | | | |
| Total | 179,346 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%

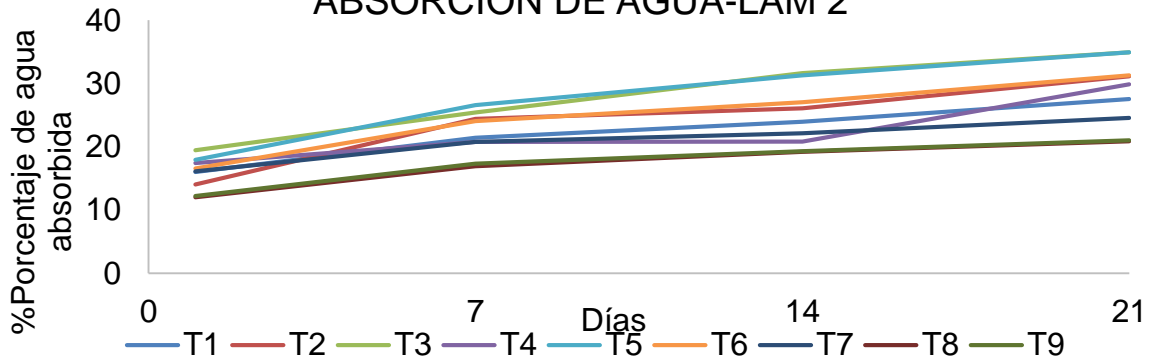
**ANEXO F.
GRÁFICAS PORCENTAJES DE ABSORCIÓN DE AGUA**

ABSORCIÓN DE AGUA.-LAM 1



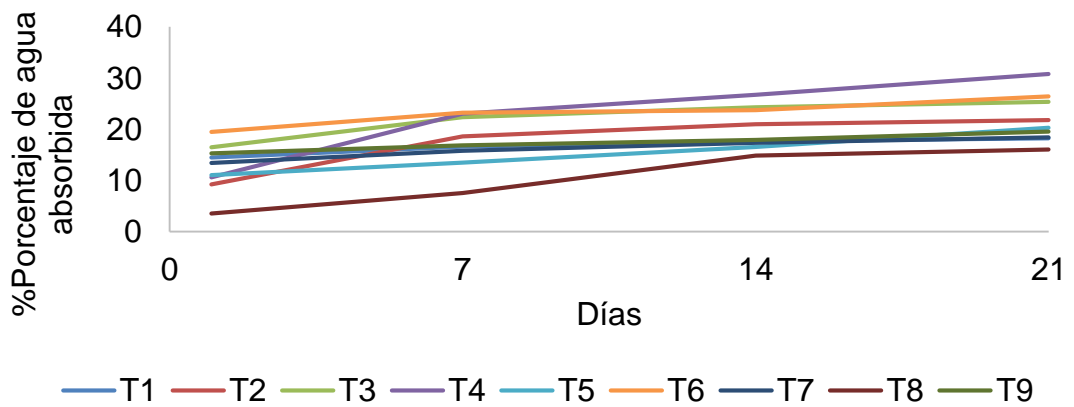
Fuente: Elaboración propia

ABSORCIÓN DE AGUA-LAM 2



Fuente: Elaboración propia

ABSORCIÓN DE AGUA-LAM 3



Fuente: Elaboración propia

ANEXO G.

RESULTADOS PROMEDIO DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 5,384 | 2 | 2,692 | 0,201 | 0,826 | 6,944 |
| Columnas | 10,365 | 2 | 5,182 | 0,387 | 0,702 | 6,944 |
| Error | 53,574 | 4 | 13,393 | | | |
| Total | 69,323 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 36,875 | 2 | 18,438 | 0,986 | 0,449 | 6,944 |
| Columnas | 44,162 | 2 | 22,081 | 1,180 | 0,395 | 6,944 |
| Error | 74,825 | 4 | 18,706 | | | |
| Total | 155,863 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

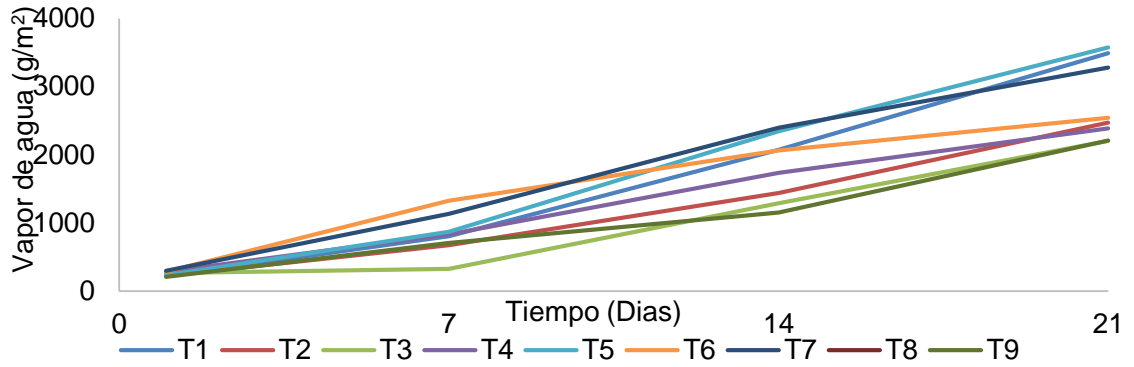
| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 10,596 | 2 | 5,298 | 0,194 | 0,831 | 6,944 |
| Columnas | 0,726 | 2 | 0,363 | 0,013 | 0,987 | 6,944 |
| Error | 109,114 | 4 | 27,279 | | | |
| Total | 120,436 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ERROR DE INCERTIDUMBRE: 10% α : 5%

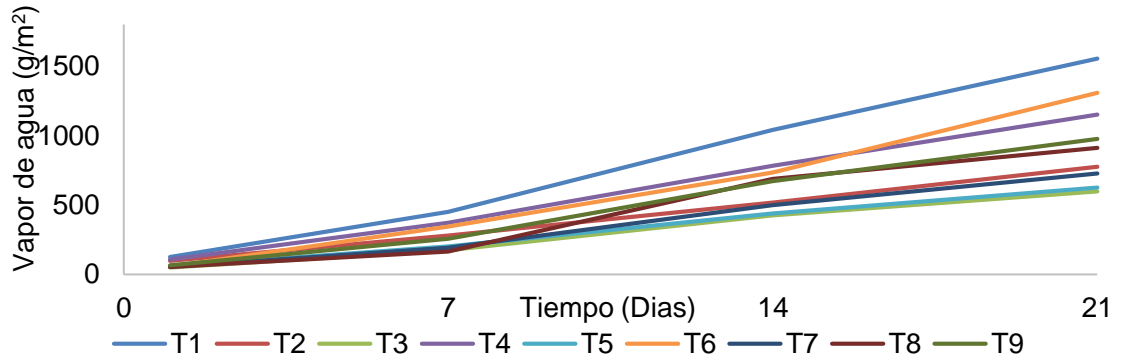
**ANEXO H.
GRÁFICOS DE PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA**

PERMEABILIDAD VAPOR DE AGUA -LAM 1



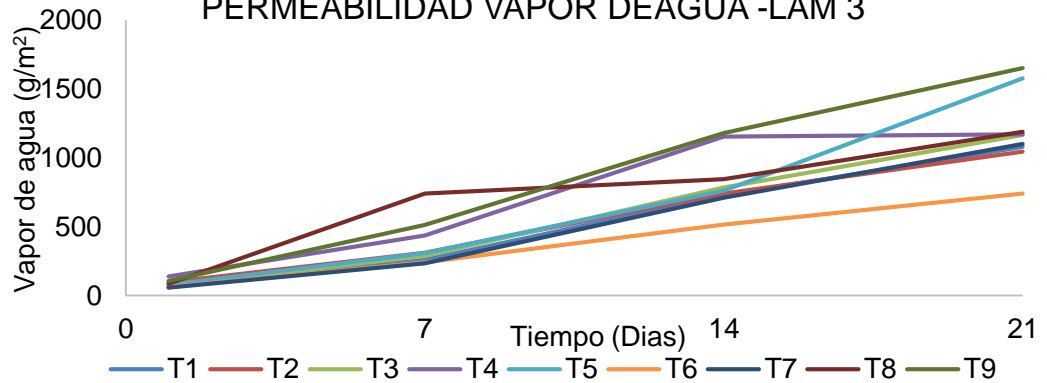
Fuente: Elaboración propia

PERMEABILIDAD VAPOR DE AGUA -LAM 2



Fuente: Elaboración propia

PERMEABILIDAD VAPOR DE AGUA -LAM 3



Fuente: Elaboración propia

ANEXO I.

RESULTADOS PROMEDIO DE ANÁLISIS DE VARIANZA PRUEBA DE ADHERENCIA

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0317 | 2 | 0,0158 | 1,2865 | 0,3703 | 6,9443 |
| Columnas | 40,0278 | 2 | 0,0139 | 1,1306 | 0,4081 | 6,9443 |
| Error | 0,0492 | 2 | 0,0123 | | | |
| Total | 0,1087 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,00159 | 2 | 0,00080 | 1,423 | 0,341 | 6,944 |
| Columnas | 0,00974 | 2 | 0,00487 | 8,696 | 0,035 | 6,944 |
| Error | 0,00224 | 4 | 0,00056 | | | |
| Total | 0,01358 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,00158 | 2 | 0,00079 | 0,146 | 0,869 | 6,944 |
| Columnas | 0,00201 | 2 | 0,00101 | 0,186 | 0,837 | 6,944 |
| Error | 0,02162 | 4 | 0,00541 | | | |
| Total | 0,02521 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%

ANEXO J.

RESULTADOS PROMEDIO ANÁLISIS DE VARIANZA DE TENSIÓN SIN ENVEJECIMIENTO UV
ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0159 | 2 | 0,0079 | 3,7346 | 0,1216 | 6,9443 |
| Columnas | 0,0017 | 2 | 0,0008 | 0,3930 | 0,6985 | 6,9443 |
| Error | 0,0085 | 4 | 0,0021 | | | |
| Total | 0,0261 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|---------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0000855 | 2 | 0,0000428 | 0,00778 | 0,992 | 6,944 |
| Columnas | 0,00453 | 2 | 0,0022650 | 0,412 | 0,687 | 6,944 |
| Error | 0,0220 | 4 | 0,0054950 | | | |
| Total | 0,027 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0871 | 2 | 0,0435 | 3,2789 | 0,1435 | 6,9443 |
| Columnas | 0,0002 | 2 | 0,0001 | 0,0084 | 0,9916 | 6,9443 |
| Error | 0,0531 | 4 | 0,0133 | | | |
| Total | 0,1404 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%

ANEXO K.

RESULTADOS PROMEDIO ANÁLISIS DE VARIANZA DE TENSIÓN CON ENVEJECIMIENTO UV

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,01590 | 2 | 0,00795 | 3,7346 | 0,1216 | 6,944 |
| Columnas | 0,00167 | 2 | 0,00084 | 0,3930 | 0,6985 | 6,944 |
| Error | 0,00851 | 4 | 0,00213 | | | |
| Total | 0,02608 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0114 | 2 | 0,0057 | 1,2837 | 0,3710 | 6,9443 |
| Columnas | 0,0330 | 2 | 0,0165 | 3,7087 | 0,1227 | 6,9443 |
| Error | 0,0178 | 4 | 0,0044 | | | |
| Total | 0,0622 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------|--------------|----------------------|
| Filas | 0,0133 | 2 | 0,0067 | 0,4734 | 0,6538 | 6,9443 |
| Columnas | 0,0239 | 2 | 0,0120 | 0,8486 | 0,4929 | 6,9443 |
| Error | 0,0564 | 4 | 0,0141 | | | |
| Total | 0,0936 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia **ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α: 5%**

ANEXO L.
RESULTADOS ANÁLISIS DE VARIANZA DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN CON ENVEJECIMIENTO ACELERADO

ANÁLISIS VARIANZA LAM 1

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 2993,975 | 2 | 1496,987 | 1,013 | 0,441 | 6,944 |
| Columnas | 95,476 | 2 | 47,738 | 0,032 | 0,968 | 6,944 |
| Error | 5911,328 | 4 | 1477,832 | | | |
| Total | 9000,779 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 2

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 15,918 | 2 | 7,959 | 0,752 | 0,528 | 6,944 |
| Columnas | 38,662 | 2 | 19,331 | 1,827 | 0,273 | 6,944 |
| Error | 42,321 | 4 | 10,580 | | | |
| Total | 96,901 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE VARIANZA LAM 3

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados | F | Probabilidad | Valor crítico para F |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------|--------------|----------------------|
| Filas | 10,871 | 2 | 5,436 | 0,266 | 0,779 | 6,944 |
| Columnas | 33,168 | 2 | 16,584 | 0,811 | 0,506 | 6,944 |
| Error | 81,793 | 4 | 20,448 | | | |
| Total | 125,832 | 8 | | | | |

Fuente: Elaboración propia **ERROR DE INCERTIDUMBRE:10% α : 5%**

ANEXO M.
RESULTADOS DE PROMEDIOS DE 3 RÉPLICAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A LAM 1

| Experimentos | pH | Viscosidad (KU) | Tiempo de secado(min) | Absorción de agua total (%)* | Permeabilidad al vapor de agua(g/m ²)* | Adherencia (N/mm ²) | Elongación con UV (%) | Elongación sin UV (%) | Tensión con UV (N/mm ²) | Tensión sin UV (N/mm ²) |
|--------------|-------|-----------------|-----------------------|------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 9,01 | 101,55 | 131,5 | 15,14 | 14,62 | 0,60 | 66,20 | 226,19 | 0,116 | 0,679 |
| 2 | 9,18 | 102,5 | 121,5 | 40,94 | 10,08 | 0,23 | 135,71 | 212,94 | 0,084 | 0,591 |
| 3 | 9,2 | 101,55 | 125 | 32,98 | 7,27 | 0,32 | 136,38 | 238,18 | 0,085 | 0,710 |
| 4 | 8,995 | 98,7 | 114,5 | 30,66 | 7,39 | 0,23 | 144,12 | 202,82 | 0,074 | 0,646 |
| 5 | 8,99 | 100,95 | 115 | 23,26 | 14,35 | 0,28 | 107,91 | 211,36 | 0,078 | 0,626 |
| 6 | 8,895 | 101,2 | 123,5 | 26,82 | 7,97 | 0,22 | 101,17 | 177,98 | 0,080 | 0,617 |
| 7 | 8,28 | 89,2 | 130,5 | 31,33 | 10,06 | 0,33 | 181,97 | 178,10 | 0,168 | 0,632 |
| 8 | 8,16 | 87,3 | 124,5 | 28,56 | 6,70 | 0,26 | 187,24 | 194,93 | 0,107 | 0,535 |
| 9 | 8,135 | 93,75 | 114 | 55,58 | 9,57 | 0,29 | 136,93 | 210,83 | 0,230 | 0,538 |

*Los datos presentados son acumulativos hasta el día 21

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N.
RESULTADOS DE PROMEDIOS DE 3 RÉPLICAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A LAM 2

| Experimentos | pH | Viscosidad (KU) | Tiempo de secado(min) | Absorción de agua total (%)* | Permeabilidad al vapor de agua(g/m ²)* | Adherencia (N/mm ²) | Elongación con UV (%) | Elongación sin UV (%) | Tensión con UV (N/mm ²) | Tensión sin UV (N/mm ²) |
|--------------|------|-----------------|-----------------------|------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 9,68 | 73,7 | 110 | 27,55 | 11,49 | 0,39 | 66,20 | 226,19 | 0,116 | 0,679 |
| 2 | 9,75 | 66,25 | 94 | 31,10 | 6,99 | 0,31 | 135,71 | 212,94 | 0,084 | 0,591 |
| 3 | 9,77 | 68,45 | 97 | 34,91 | 11,25 | 0,40 | 136,38 | 238,18 | 0,085 | 0,710 |
| 4 | 9,48 | 74,85 | 107 | 29,85 | 9,78 | 0,38 | 144,12 | 202,82 | 0,074 | 0,646 |
| 5 | 9,57 | 63,8 | 101 | 34,91 | 9,99 | 0,36 | 107,91 | 211,36 | 0,078 | 0,626 |
| 6 | 9,60 | 69,9 | 104 | 31,29 | 22,14 | 0,43 | 101,17 | 177,98 | 0,080 | 0,617 |
| 7 | 9,03 | 78,85 | 100 | 24,56 | 12,73 | 0,33 | 181,97 | 178,10 | 0,168 | 0,632 |
| 8 | 9,02 | 71,2 | 105 | 20,86 | 16,20 | 0,34 | 187,24 | 194,93 | 0,107 | 0,535 |
| 9 | 9,12 | 72,7 | 96 | 21,02 | 14,28 | 0,41 | 136,93 | 210,83 | 0,230 | 0,538 |

*Los datos presentados son acumulativos hasta el día 21

Fuente: Elaboración propia

ANEXO O.
RESULTADOS DE PROMEDIOS DE 3 RÉPLICAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A LAM 3

| Experimento | pH | Viscosidad (KU) | Tiempo de secado (min) | Absorción de agua total (%)* | Permeabilidad al vapor de agua (g/m ²)* | Adherencia (N/mm ²) | Elongación con UV (%) | Elongación sin UV (%) | Tensión con UV (N/mm ²) | Tensión sin UV (N/mm ²) |
|-------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 9,83 | 64,4 | 109 | 18,18 | 16,85 | 0,30 | 18,530 | 23,747 | 0,144 | 0,520 |
| 2 | 9,89 | 62,5 | 113 | 21,80 | 9,88 | 0,34 | 23,847 | 27,593 | 0,461 | 0,656 |
| 3 | 10,00 | 62,1 | 112 | 25,35 | 14,59 | 0,36 | 25,153 | 26,930 | 0,472 | 0,762 |
| 4 | 9,82 | 66,9 | 89 | 30,75 | 7,38 | 0,48 | 20,147 | 27,213 | 0,399 | 0,921 |
| 5 | 9,71 | 61,25 | 120 | 20,31 | 19,01 | 0,29 | 17,753 | 25,767 | 0,431 | 0,827 |
| 6 | 9,75 | 51,95 | 115 | 26,40 | 10,96 | 0,32 | 20,093 | 24,240 | 0,458 | 0,830 |
| 7 | 9,19 | 59,5 | 117 | 18,39 | 17,93 | 0,33 | 24,847 | 35,687 | 0,372 | 0,932 |
| 8 | 9,15 | 55,45 | 124 | 16,03 | 12,78 | 0,38 | 22,107 | 27,547 | 0,386 | 0,872 |
| 9 | 9,21 | 53,95 | 123 | 19,51 | 14,61 | 0,36 | 21,220 | 26,240 | 0,262 | 0,744 |

*Los datos presentados son acumulativos hasta el día 21

Fuente: Elaboración propia