



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**MEJORA EN LA COMPETITIVIDAD DE PRIMERS PARA
ESTRUCTURA DE ALUMINIO DE TRANSPORTE
COMERCIAL REDUCIENDO COSTOS Y TIEMPOS DE
SECADO EN EL ÁREA DE REPINTADO**

Diana Rocio Moreno Duarte

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Medellín, Colombia
2021



Mejora en la competitividad de primers para estructura de aluminio de transporte comercial
reduciendo costos y tiempos de secado en el área de Repintado.

Diana Rocio Moreno Duarte

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:
Ingeniera Química

Asesores (a):
Ingeniero Químico Diego Pérez Mesa
Ingeniero Químico Edwin Alexis Alarcón Durango, PhD

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Medellín, Colombia
2020

Mejora en la competitividad de primers para estructura de aluminio de transporte comercial reduciendo costos y tiempos de secado en el área de Repintado.

RESUMEN

En la industria de recubrimientos y repintado para transporte comercial se ve la necesidad de usar pintura de imprimación o primer como parte del recubrimiento que se hace a la carrocería de la industria automotriz de transporte comercial con el fin de garantizar la protección de esta a la intemperie. Actualmente se usan dos primer para estructura de aluminio que representan un costo elevado por ser productos importados y que contienen sustancias peligrosas, razón por la cual, se desarrolló un nuevo producto, localizado en Colombia, con las mismas propiedades poliméricas de los primer actual pero más económico y con un reducido nivel de peligrosidad. Para llevar a cabo esto, fue necesario ejecutar varios ensayos en el laboratorio y evaluar sus propiedades de forma que fueran comparables con los productos que actualmente son usados. Se logró obtener un producto con un tiempo de secado inferior al de los productos estándar y que funcionara bajo las condiciones de temperatura y humedad de Bogotá, obteniendo una reducción del 62% de los costos y utilizando materias primas no exclusivas y de bajo nivel de peligrosidad.

INTRODUCCIÓN

PPG Industries Colombia Ltda. es una filial PPG Industries, la cual fue fundada en 1883 y opera en más de 60 países de todo el mundo. Es un fabricante del sector químico especializado en la producción y distribución de pinturas y recubrimientos de alto rendimiento para la industria, el transporte, los productos de consumo, y los mercados de construcción. Está conformada por cinco unidades de negocio, divididas en Industria & Motos, Packaging, OEM, PMC y Refinish.[1]

Esta última está enfocada en la pintura de repintado automotriz y cuenta con un amplio portafolio dirigido a los mercados de transporte comercial, colisiones y recubrimiento industrial ligero. PPG Industries es una de las pocas empresas capaces de suministrar cualquier recubrimiento destinado a la carrocería de un coche. Sus productos se utilizan durante toda la vida de los vehículos, desde su fabricación hasta las posteriores reparaciones, lo que convierte a PPG Refinish en el proveedor de referencia de fabricantes y talleres. Esta es una de las áreas donde se ve la necesidad de usar pintura de imprimación o primer como parte del recubrimiento que se hace al transporte comercial, pues estos garantizan la protección a propiedades de larga duración, es decir brindan una alta resistencia a la intemperie.[1]

Actualmente se usan dos primer para estructura de aluminio que representan un costo elevado por ser productos importados y que contienen sustancias peligrosas, razón por la cual se ve la necesidad de desarrollar un nuevo producto localizado en

Colombia, con las mismas propiedades poliméricas de los primer actual pero más económico y con un reducido nivel de peligrosidad.

En muchas ocasiones, el uso de las pinturas de imprimación requiere un posterior proceso de lijado con el fin de mejorar la nivelación de la pintura que se aplicará sobre esta, sin embargo, para poder lijar es necesario que el primer seque completamente y en algunos casos este proceso de secado tarda hasta 2 horas, lo que conlleva a plantearse una optimización en los tiempos de secado de la pintura de imprimación para lograr tener productos más competitivos en el mercado.

Para lograr esto, se partió de la formulación de un producto de imprimación ya existente, que es usado en otra unidad de negocio (PMC) y que otorga excelente protección y adherencia a superficies no ferrosas. Se inicio haciendo un análisis a la formulación de este producto y adecuándola de forma que se obtuvieran parámetros de formulación muy similares a los que posee los productos estándar, buscando tener un tiempo de secado igual o menor al del producto de referencia con un buen acabado y nivelación de la pintura. Una vez se cumplieron estas condiciones, se evaluó el producto en condiciones críticas con el fin de estimar su desempeño y lograr un producto que cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente. Por último y luego de obtener el producto deseado, se diligenció un informe con la información requerida para el escalado del producto y una posterior evaluación de desempeño por el cliente.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Optimizar primers bicomponente para poliuretanos con el fin de reducir costos y tiempos de secado para ser más competitivos en el mercado.

Objetivos específicos:

- Desarrollar un primer para estructura en aluminio sin materiales peligrosos y que sea menos costoso que el actual, manteniendo un buen acabado.
- Evaluar el efecto de las variables críticas sobre el primer desarrollado con el fin de simular el comportamiento del producto en condiciones de exposición reales.
- Optimizar el tiempo de secado de un primer de tal forma que se tenga un producto más competitivo en el mercado.

MARCO TEÓRICO

La pintura es un material capaz de formar una película continua y uniforme sobre la superficie que se aplica (denominado sustrato) básicamente para protegerla y/o decorarla y puede ser o no pigmentada.

Los componentes básicos de las pinturas son el vehículo, formado por el disolvente o diluyente, y el aglutinante o resina, que polimeriza o reacciona formando una capa sólida y retiene los pigmentos y las cargas cuando se seca la pintura. [2]

Las principales etapas de la fabricación de pinturas son:[3]

- El empastado o mezcla del aglutinante y el disolvente, con o sin agregación de aditivos.
- La dispersión propiamente dicha o "molienda" de los pigmentos con el vehículo, aunque no existe rotura de ninguna partícula y se agregan los dispersantes adecuados al sistema.
- El ajuste de la formulación o, más comúnmente, el ajuste de color.
- Control de calidad.
- Filtración.
- Finalmente, el envasado.

La pintura se puede clasificar de varias formas:

1. Según su empleo, las pinturas pueden ser arquitectónicas, industriales o especiales.
2. Según la naturaleza de la resina pueden ser acrílicas, alquídicas, epóxicas, poliuretanos, etc.
3. Según la función de la capa de pintura:

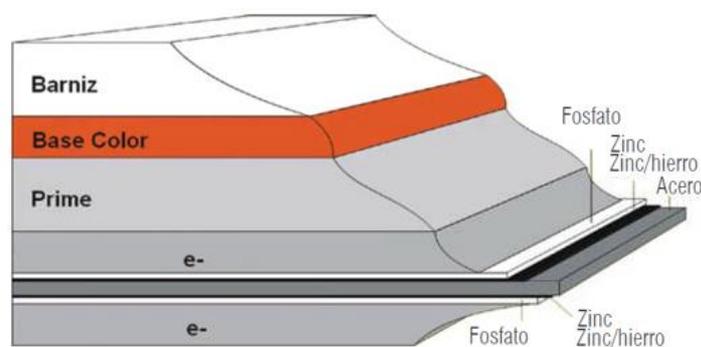


Figura. 1 Esquema de pintado

En la figura 1, se muestra un sistema típico de varias capas en recubrimientos, el fosfato y el e-coat hacen parte del pretratamiento y preparación de la superficie los cuales sirven para remover contaminantes de la superficie y otorga propiedades anticorrosivas. El primer tiene como función principal desactivar o nivelar el sustrato. La capa intermedia o base color es altamente pigmentada y es la responsable del color en la industria automotriz, y, por último, la capa de terminación o barniz la cual otorga el brillo resultante y está expuesta al exterior, tiene baja pigmentación y se busca un máximo de brillo y nivelación.[4]

Conocer las propiedades de las pinturas líquidas es fundamental para formular pinturas con óptima aplicabilidad. A continuación, se detallan algunas de las propiedades más importantes que se tendrán en cuenta a la hora de fabricar el primer: [3][5]

- La viscosidad indica la resistencia que ofrecen los fluidos a cambiar su forma cuando están sometidos a fuerzas.
- El índice de nivelación es el espesor húmedo mínimo para nivelar una vez aplicada la pintura. La nivelación se puede cuantificar de acuerdo con los siguientes parámetros:
 - DOI: Apariencia con rango entre 1-100, siendo valores aceptables mayores a 80.
 - R: Con rango entre 1-10 siendo valores aceptables mayores a 6.
 - LW: Onda larga con valores entre 0-100 dónde 100 es el peor valor posible. Este parámetro hace referencia a la irregularidad de la superficie que puede ser vista a distancias mayores.
 - SW: Onda corta con valores entre 0-100 dónde 100 es el peor valor posible. Este parámetro hace referencia a la irregularidad de la superficie que puede ser vista a corta distancia.
- Resistencia al chorreo o índice de descuelgue es el máximo grosor, en húmedo, que se puede aplicar por capa sin descuelgue.
- El espesor o grosor de la pintura sólida es la cantidad de pintura aplicada por unidad de superficie.
- La adherencia indica la capacidad de enlace pintura-sustrato.
- La adherencia crítica determina cuantitativamente el grado de adhesión entre películas de pintura y sustrato variando espesores.
- El poder cubriente determina la capacidad de cubrimiento de la pintura.
- La estabilidad determina que cambios en las propiedades físicas experimenta un producto luego de un periodo de almacenamiento en condiciones específicas de temperatura y humedad. Algunos criterios para definir si el producto es estable o no son:
 - Presencia de geles: Formación parcial o completa de un gel que no es posible incorporar de nuevo.
 - Formación de piel: capa más o menos gruesa que se forma en la superficie de la pintura.
 - Sedimentación: acumulación de partículas sólidas en el fondo de un recipiente.
 - Sinéresis: separación de fases que componen una suspensión o mezcla
- La resistencia al impacto es la energía necesaria para romper una capa de pintura al proyectar sobre ella un objeto contundente.
- La flexibilidad coincide con la capacidad de una pintura para deformarse elásticamente.
- La resistencia a la corrosión está determinada por la exposición de un sistema de cubrimiento al ser sometido a la acción de una niebla salina. Para

determinar cuantitativamente la variación en apariencia y propiedades físicas, se definen los siguientes criterios:

- Creep: Expansión de la corrosión desde el borde del corte.
- Blistering: Formación de pequeñas ampollas que pueden estar abiertas o no.
- Rusting: Nivel de oxidación en la cara expuesta.
- La Resistencia a la humedad es la dificultad que presenta la pintura sobre algún sustrato a deteriorarse una vez es sometida a una humedad constante por un tiempo determinado. Para determinar cuantitativamente la variación en apariencia y propiedades físicas, se definen los siguientes criterios:
 - Scratch: Expansión del daño causado.
 - Cracking: Agrietamiento.
 - Fraking: Área descamada.
 - Blistering: Formación de pequeñas ampollas que pueden estar abiertas o no.
- La dureza de una pintura se determina mediante el método conocido como dureza persez el cual viene dado por el número de oscilaciones realizadas por un péndulo sobre la superficie pintada. Entre mayor sea el número de oscilaciones, menor será la amortiguación ejercida por la pintura y por lo tanto mayor será la dureza.
- El nivel de finura de la molienda se establece en función del tipo de producto fabricado, siendo valores aceptables 7-8 grados Hegmman.
- El tiempo de vida útil o pot-life es el tiempo durante el cual una pintura de dos componentes, una vez mezclados estos, mantiene sus características y puede ser aplicada con garantía de que las características del film resultante sean las mismas que se obtienen con una mezcla recién preparada.

De igual forma para la industria de pinturas y recubrimientos en general es clara la importancia que tienen los parámetros de formulación dado que son relaciones de formulación que permiten un análisis adecuado del recubrimiento para mejorar su desempeño. Los principales y más importantes parámetros de formulación se describen a continuación: [6]

- Relación pigmento ligante: Concentración de pigmento en la formulación.
- Concentración de pigmento en volumen (PVC): Volumen del pigmento en una capa de pintura.
- Concentración crítica de pigmento en volumen (CPVC): Es el punto donde hay justo la cantidad suficiente de resina para humectar y llenar los espacios entre las partículas del sistema pigmentario.
- Índice de absorción del aceite (OAI): Medida de la resina requerida para llenar sustancialmente los espacios entre las partículas bajo las condiciones particulares de dispersión.

- Lamda: Relación entre PVC y CPVC. De estos parámetros dependen varias propiedades entre las cuales están el brillo, opacidad, permeabilidad, flexibilidad entre otras.
- % Sólidos: Cantidad de sólidos presentes en la pintura.

METODOLOGÍA

Formulación y diseño de experimentos

Inicialmente se analizó la fórmula de un producto de imprimación ya existente en otra unidad de negocio y que otorga excelentes resultados de adherencia y acabado en superficies no ferrosas, adaptándola a las características requeridas por el cliente y asegurando que los parámetros que intervienen en el proceso de formulación sean similares a los de los productos estándar, de forma que se pueda asegurar que el producto desarrollado sea gris como el estándar 1 pero más económico que el estándar 2. Posteriormente y basándonos en una experimentación a prueba y error se formularon 5 ensayos para la base y 2 para el catalizador, buscando como objetivo inicial obtener buena nivelación y menores tiempos de secado.

Desarrollo y registro de ensayos:

Una vez hecho el proceso de formulación de los ensayos, estos se fabricaron asegurando las buenas prácticas en cada etapa de fabricación (empastado, molienda y dilución), posterior a esto, las muestras fabricadas fueron chequeadas asegurando que las propiedades medidas tuvieran congruencia con respecto a las propiedades de los productos estándar. Por último, se aplicó el sistema completo (primer + acabado) en láminas estándar de forma que se pudiera cuantificar la nivelación y el poder cubriente para compararla con la de los productos estándar.

Validación comparativa contra el primer utilizado actualmente:

Una vez se obtuvo el ensayo con mejores resultados en nivelación y tiempos de secado se procedió realizar pruebas de intemperismo con el fin de evaluar si el producto desarrollado cumple con las características requeridas por el cliente. Algunos de los chequeos que se llevaron a cabo son: resistencia a la corrosión y a la humedad, impacto y flexibilidad, dureza perzoz, pot life y adherencia crítica en condiciones estándar y en condiciones de Bogotá siendo esta última la prueba más crítica, pues simula las condiciones reales de aplicación del producto y por tanto su efectividad.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

PARTE 1

Formulación:

Inicialmente se plantearon dos fórmulas para la base (ensayo A y C) y una para el endurecedor (ensayo B) tomando como referencia un producto de imprimación ya existente en otra unidad de negocio y asegurando que los parámetros de formulación sean similares a los de los productos estándar. En los ensayos A y C se reemplazó uno de los pigmentos del producto original por el pigmento 3 y 6 respectivamente (tabla 1), los cuales tienen menor tamaño de partícula y contribuyen a un mejor acabado y nivel de finura de la molienda. Una vez se fabricaron, se evaluó la nivelación y el tiempo de secado de cada ensayo, siendo el ensayo C el que mejores resultados otorgó, por lo que es a partir de este que se formularon los ensayos D y E.

En el ensayo D se incrementó la cantidad de dióxido de titanio con el fin de hacerlo más claro y mejorar problemas de sombra, se agregó un pigmento adicional (pigmento 5) que gracias a su bajo índice de refracción ayudó a mejorar el poder cubriente y, por último, se eliminó en un 13% la cantidad del pigmento 4, pues este presenta un tamaño de partícula mayor a 5 micras, lo que ocasionaba un mal acabado. El ensayo E se formuló con las mismas características del ensayo D con la diferencia que el aditivo 2 se reemplazó por el aditivo 3, el cual ayudó a aumentar la estabilidad del producto y a obtener una viscosidad más alta. Al evaluar la nivelación y tiempos de secado de estos dos últimos ensayos, se concluyó que es el ensayo D el que mejor apariencia otorgó, sin embargo, aún no era comparable con el producto estándar por lo que se hizo necesario realizar una última formulación (ensayo G) en la que se eliminó por completo el pigmento 4 y se reemplazó el solvente 1 por el solvente 4 de forma que se minimizaran los tiempos de secado. Adicionalmente se realizó una nueva formulación del endurecedor (ensayo F) con el fin de aumentar la relación equivalente amina epoxi haciéndola más comparable con la de los productos estándar.

Tabla 1. Formulación PARTE I: Primer bicomponente para transporte comercial

Materia prima	% Volumen Ensayo						
	A	B	C	D	E	F	G
Solvente 1	14,56%		14,55%	16,24%	16,24%		
Solvente 2	33,19%	44,71%	33,17%	29,96%	29,96%	30,20%	33,00%
Solvente 3		46,86%				58,64%	
Solvente 4							17,09%
Resina 1	31,33%	2,19%	31,31%	33,47%	33,47%	4,33%	30,93%
Resina 2	2,44%		2,44%	2,53%	2,53%		2,52%
Resina 3	2,64%		2,64%	3,15%	3,15%		3,13%

Resina 4		5,26%				5,75%	
Resina 5		0,99%				1,08%	
Aditivo 1	0,15%		0,15%	0,16%	0,16%		0,16%
Aditivo 2	1,25%		1,24%	1,29%			1,29%
Aditivo 3					1,29%		
Aditivo 4	0,29%		0,29%	0,30%	0,30%		0,30%
Pigmento 1	2,40%		2,40%	2,83%	2,83%		3,87%
Pigmento 2	0,03%		0,03%	0,03%	0,03%		0,03%
Pigmento 4	7,19%		8,14%	1,99%	1,99%		
Pigmento 5				3,32%	3,32%		3,29%
Pigmento 3	4,52%						
Pigmento 6			3,64%	4,73%	4,73%		4,38%
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Desarrollo y registro de ensayos:

En las tablas 2 y 3 se pueden evidenciar los resultados de las propiedades chequeadas para cada ensayo una vez estos fueron fabricados. Cada ensayo presenta concordancia en sus propiedades con respecto a los productos estándar, a excepción de la viscosidad KU de la base, la cual es inferior en los ensayos con respecto a la de los productos estándar, sin embargo, esta diferencia solo es visible en el aspecto físico del producto pues al momento de mezclar los dos componentes (base + endurecedor) para ser aplicados, estos presentan una viscosidad de aplicación muy similar a la de los productos estándar.

Tabla 2. Propiedades obtenidas para cada ensayo de la base.

Propiedad								Unidades
	Estándar 1	Estándar 2	A	C	D	E	G	
Viscosidad KU	101,4	93	60,6	59,1	64,3	61,6	59,9	KU
Sólidos	66,97	68,49	59,3	57,5	61,41	60,93	59,07	%
Molienda	7	6,5	6	6,5	8	8	8	Hegmman
Densidad	4,95	5,28	4,83	4,77	4,99	4,99	4,98	kg/gal
Viscosidad de aplicación	13	12	12	11	12	12	12,47	s
Secado al tacto	30	30	35	35	25	35	35	min
Resistencia al chorreo	508	304,8	457,2	355,6	457,2	635	304,8	µm
Sólidos bicomponente	38,46	37,09	35	35	35,12	37,41	35,79	%

Tabla 3. Propiedades obtenidas para cada ensayo del endurecedor.

Propiedad	Endurecedor			Unidades
	estándar	B	F	
Viscosidad KU	40.2	59.9	43	KU
Densidad	3.18	3.24	3.21	kg/gal
Valor amino	39.38	30.61	29.27	

Con el fin de poder cuantificar el tiempo necesario para obtener las características finales de la pintura se determinaron los tiempos de secado de todos los ensayos formulados con el fin de obtener valores comparables durante el proceso de formulación.

En la figura 2 se evidencia que el ensayo G+F presenta tiempos de secado similares e inferiores a los de los productos estándar.

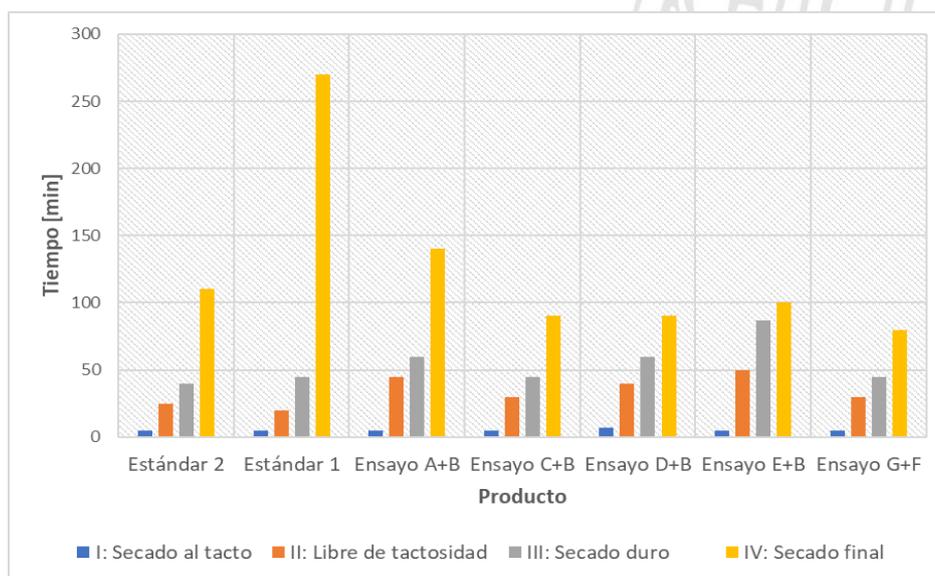
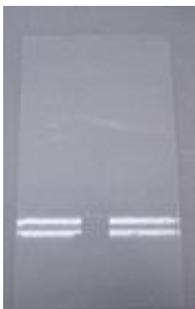
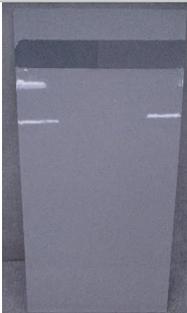
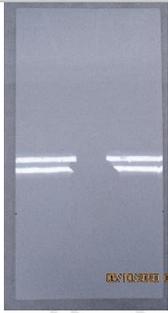


Figura. 2 Tiempos de secado de los ensayos fabricados PARTE I.

En la tabla 4 se presentan los valores obtenidos de la nivelación con acabado en poliuretano para los 5 ensayos formulados y los dos productos estándar. Logrando evidenciar que el único ensayo con apariencia (DOI) mayor a 80 y comparable con los estándares es el ensayo G+F, el cual también presenta valores de onda corta y onda larga inferiores a los de los productos estándar.

Tabla 4. Resultados de nivelación para los ensayos formulados.

	Estándar 1		Estándar 2		Ensayo A + Ensayo B		Ensayo C + Ensayo B	
								
Espesor	7 μm	18.9 μm	5 μm	13 μm	9 μm	23 μm	6 μm	16 μm
R	5.1	5.2	5.9	6.5	3.9	4.1	4.3	4.4
SW	44.4	42.2	28.2	23.5	55.7	59	50.9	51.7
LW	22.3	21.2	15.7	12	34.5	32.9	30	29.2
DOI	80.2	81.8	87.7	89.6	75.6	75.9	77.5	79.5

	Ensayo D + Ensayo B		Ensayo E + Ensayo B		Ensayo G + Ensayo F	
						
Espesor	6 μm	17 μm	3 μm	12 μm	4 μm	18 μm
R	6.7	5.6	6.0	6.3	7.2	7.5
SW	37.6	38	48.7	41.9	25.4	29
LW	11.2	18.2	15.9	13.7	8.7	7.6
DOI	82.3	79.4	77.8	78.9	83.1	79.5

La capacidad de cubrimiento de la pintura se determinó aplicando el producto con tres espesores diferentes y comparándolos entre sí. En la tabla 5 se puede evidenciar que los ensayos D y E presentan mejor poder cubriente incluso que los productos estándar. El ensayo G con un tono más claro queda con poder cubriente similar al estándar 2 pero un poco más bajo.

Tabla 5. Poder cubriente de los ensayos formulados.

	Estándar 1	Estándar 2	Ensayo A + Ensayo B	Ensayo C + Ensayo B	Ensayo D + Ensayo B	Ensayo E + Ensayo B	Ensayo G + Ensayo F
Cubrimiento	16.5 μm	16 μm	25.5 μm	25 μm	14 μm	13 μm	18.5 μm

Validación comparativa contra el primer utilizado actualmente:

De acuerdo con los resultados de nivelación y tiempos de secado, se elige la alternativa G+F para realizar los chequeos especiales.

En la tabla 3 se detallan los cambios en las propiedades físicas que experimentaron los ensayos y el producto estándar una vez fueron sometidos a un periodo de almacenamiento de 120 h a 60°C. En la figura 3 se muestra que el ensayo G presenta sinéresis un poco mayor a la del producto estándar, sin embargo, no supera los 3 cm por lo que la estabilidad es aceptada.

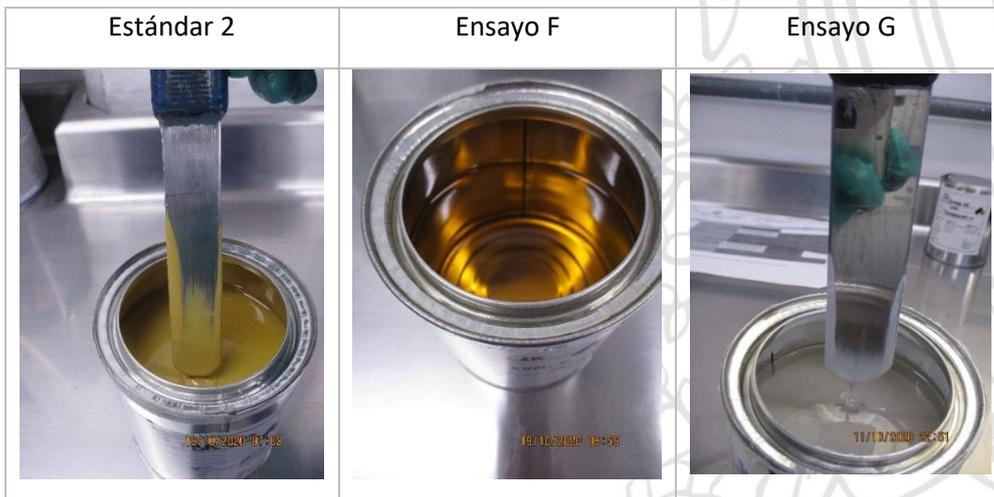


Figura. 3. Resultados de la estabilidad al almacenamiento.

Tabla 6. Resultados de estabilidad.

Ensayo	Piel o Nata	Sinéresis	Geles	Sedimentación	Viscosidad	Resultado
Ensayo F	No	No	No	No	Sin cambios	Aceptada
Ensayo G	No	Menos a 3 cm	No	No	Sin cambios	Aceptada
Estándar 2	No	Menos a 2 cm	No	No	Sin cambios	Aceptada

La dureza es una característica que no solo indica el nivel de amortiguación ejercida por la pintura sino también la resistencia a la abrasión y al rayado. [5]

En la figura 4 se evidencia que los dos productos estándar alcanzan su dureza máxima a las 4 y 24 horas respectivamente, sin embargo, a pesar de que el ensayo G+F no alcanza la dureza máxima a las 48 horas, este presenta un mayor número de oscilaciones por lo que pasadas las 48 horas tendrá mayor dureza que la de los productos estándar.

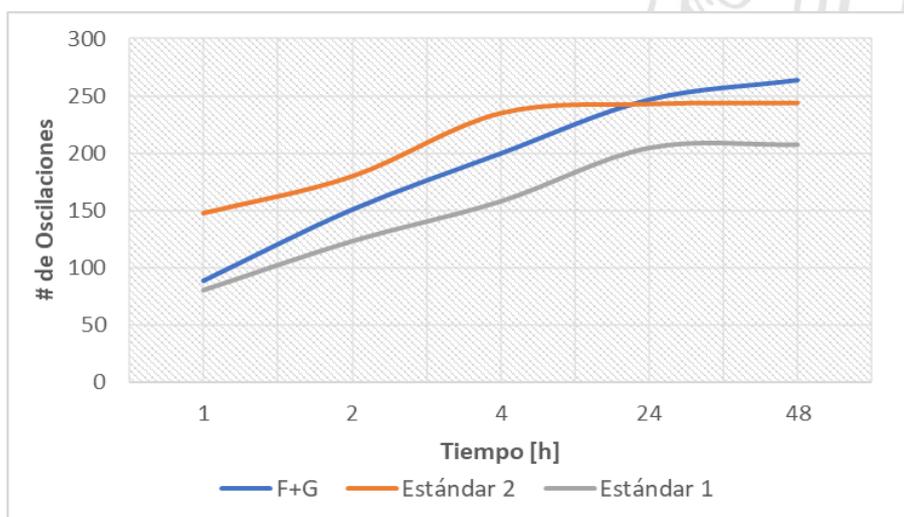


Figura. 4 Resultados de dureza.

En la figura 5 se exhibe el cambio de viscosidad de la mezcla F+G y de los productos estándar después de varios intervalos de tiempo evidenciando que el ensayo G+F mantiene sus características de aplicación por más de 3,5 horas mientras que los productos estándar la mantienen por un poco más de 2 horas.

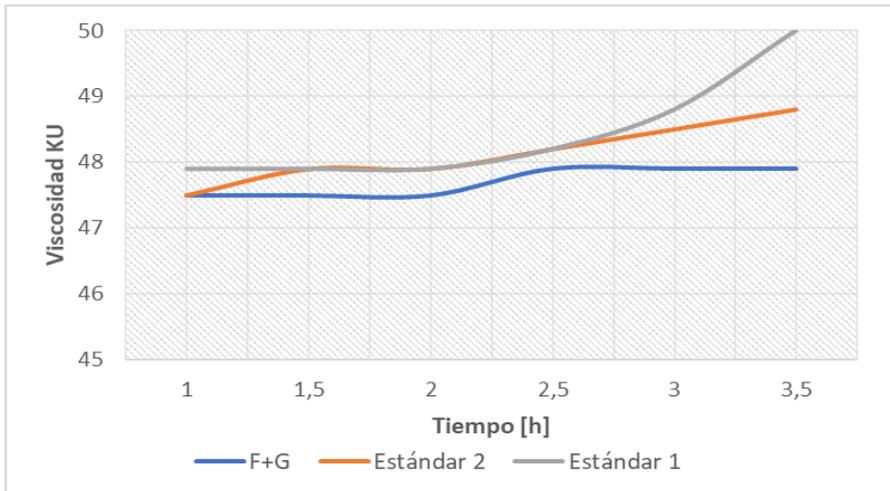


Figura. 5 Pot-Life PARTE I

En las tablas 7 y 8 se evidencia el resultado de la evaluación de flexibilidad de la alternativa y los dos productos estándar, obteniendo excelente capacidad de deformación para la alternativa G+F pues no presenta fisuras en ninguna parte del recubrimiento.

Tabla 7. Resistencia al doblado con acabado en barniz.

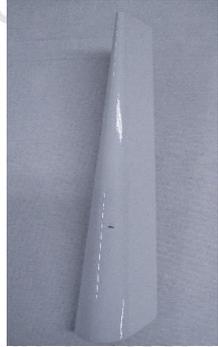
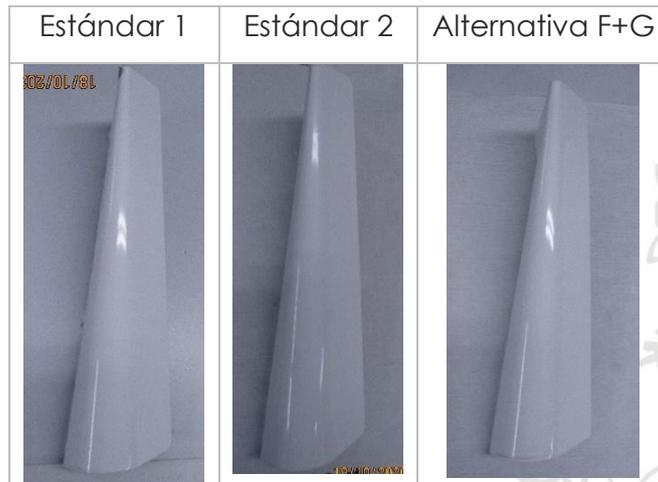
Estándar 1	Estándar 2	Alternativa F+G
		

Tabla 8. Resistencia al doblado con acabado en poliuretano.



En las tablas 9 y 10 se aprecia la nula variación en apariencia y propiedades físicas que experimentó el ensayo G+F al ser sometido a la acción de un impacto de una masa desde diferentes alturas, obteniendo una energía final de fallo mayor a 7.91 J que corresponde a la altura máxima desde donde es lanzada la masa.

Tabla 9. Resistencia al impacto con acabado en barniz.

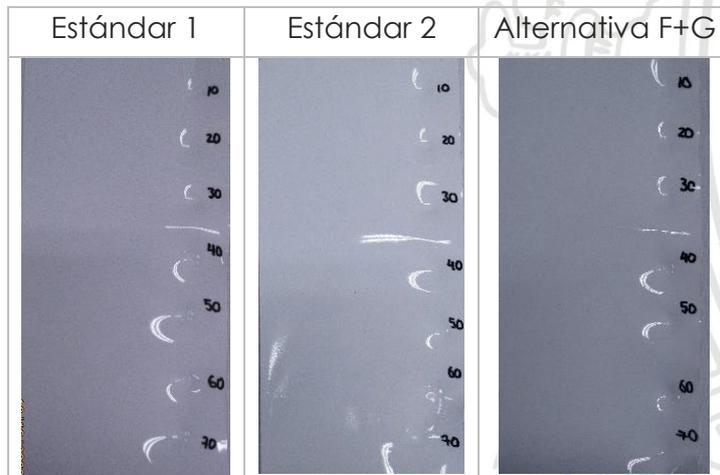
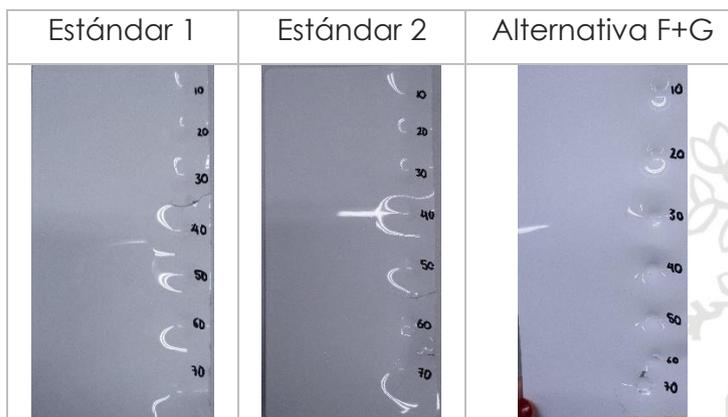


Tabla 10. Resistencia al impacto con acabado en poliuretano.



Con fin de evaluar la resistencia a la corrosión, se sometieron a la acción de una niebla salina varias laminas aplicadas con el ensayo G+F y un acabado en poliuretano durante periodos de tiempo definidos de acuerdo con la norma ISO 12944. Una vez transcurrido los tiempos de chequeo se compararon los resultados con respecto a los del producto estándar.

En las tablas 11,12 y 13 se muestran los resultados de las láminas expuestas a corrosión durante 3 intervalos de tiempo. Se puede concluir a partir de esto que, en comparación con los estándares, la alternativa G+F presenta mayor resistencia a la formación de ampollas en la superficie, de igual forma al evaluar la adherencia en cada lamina, es el estándar 1 el que peores resultados arroja.

Tabla 11. Resistencia a la corrosión ensayo G+F

	240h	480h	720h
	Ensayo F + Ensayo G		
	86 μm	92 μm	80μm
Blistering	No hay presencia	No hay presencia	Presencia leve
Rusting	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Creep	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion	100%	100%	100%

Tabla 12. Resistencia a la corrosión Estándar 2.

Estándar 2	240h	480h	720h
			
	118 μm	78 μm	82 μm
Blistering	Presencia leve	No hay presencia	Presencia leve
Rusting	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Creep	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion	100%	100%	100%

Tabla 13. Resistencia a la corrosión Estándar 1.

Estándar 1	240h	480h	720h
			
	90 μm	90 μm	90 μm
Blistering	No hay presencia	Presencia leve	Presencia leve
Rusting	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Creep	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion	95.7%	90%	99%

La corrosión por vía húmeda se evaluó sometiendo varias láminas aplicadas con el ensayo G+F y acabado en poliuretano a humedad constante por intervalos de tiempo definidos de acuerdo con la norma ISO 12944 y se compararon los resultados con los del producto estándar.

En las tablas 14,15 y 16 se evidencian los resultados en apariencia física para los tres productos (alternativa G+F, estándar 1, estándar2) evidenciando alta resistencia al Blistering por parte de la alternativa G+F y mejores resultados en adherencia con respecto a los estándares. A pesar de que el ensayo G+F presenta Scratch, este tiene valores muy bajos.

Tabla 14. Resistencia a la humedad ensayo G+F

Ensayo F + Ensayo G	120h	240h	480h	720h
				
	64µm	88 µm	88µm	84µm
Scratch [mm]	0	0.29	0.08	0.04
Blistering	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Rusting	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Flaking	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Cracking	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion	100%	100%	100%	100%

Tabla 15. Resistencia a la humedad Estándar 2.

	Estándar 2	120h	240h	480h	720h
					
		62µm	80 µm	114µm	104µm
Scratch [mm]		0	0	0	0.46
Blistering		No hay presencia	No hay presencia	Presencia leve	Presencia leve
Rusting		No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Flaking		No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Cracking		No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion		100%	87.85%	100%	100%

Tabla 16. Resistencia a la humedad Estándar 1.

	Estándar 1	120h	240h	480h	720h
					
		72µm	88 µm	88µm	106µm
Scratch [mm]		0	0.92	0.08	0.17
Blistering		No hay presencia	No hay presencia	Presencia leve	Presencia leve
Rusting		No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Flaking		No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia

Cracking	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia
Adhesion	100%	81.4%	0%	100%

En las tablas 17,18 y 19 se determinó cuantitativamente el nivel de fragilidad y el grado de adhesión de la alternativa G+F y los estándares variando el espesor del barniz.

La alternativa presentó buena adherencia con alto y bajo barniz, sin embargo, con espesor medio de barniz se obtuvo un leve desprendimiento de la pintura sobre el sustrato, calificando en 96% el porcentaje de adherencia, el cual sigue siendo alto.

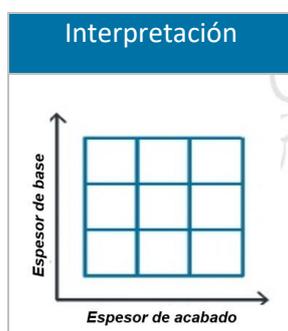


Tabla 17. Adherencia crítica de la alternativa G+F con acabado en barniz y a condiciones estándar.

		Alto Barniz (59 μm)			Medio Barniz (48 μm)			Alto Barniz (59 μm)				
F+G	17 μm				15 μm				16 μm			
	11 μm				9 μm				12 μm			
	3 μm				4 μm				3 μm			
		8 μm	22 μm	27 μm		7 μm	12 μm	27 μm		11 μm	22 μm	29 μm
	Adherencia - 72 horas		100%	Adherencia - 72 horas		96%	Adherencia - 72 horas		100%			

Tabla 18. Adherencia crítica del estándar 1 con acabado en barniz y a condiciones estándar.

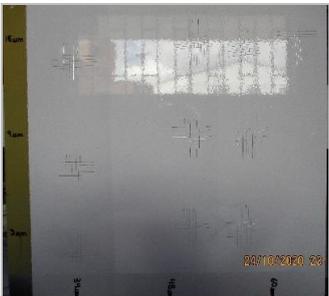
Estándar 1	Alto Barniz (59 μm)			Medio Barniz (48 μm)			Alto Barniz (59 μm)					
	18 μm				14 μm				14 μm			
	7 μm				7 μm				7 μm			
	3 μm				3 μm				3 μm			
	10 μm	17 μm	23 μm		10 μm	17 μm	23 μm		10 μm	17 μm	23 μm	
	Adherencia - 72 horas		91%		Adherencia - 72 horas		100%		Adherencia - 72 horas		100%	

Tabla 19. Adherencia crítica del estándar 2 con acabado en barniz y a condiciones estándar

Estándar 2	Alto Barniz (59 μm)			Medio Barniz (48 μm)			Bajo Barniz (24 μm)					
	12 μm				11 μm				16 μm			
	7 μm				6 μm				9 μm			
	3 μm				4 μm				5 μm			
	11 μm	22 μm	23 μm		16 μm	20 μm	32 μm		12 μm	21 μm	30 μm	
	Adherencia - 72 horas		100%		Adherencia - 72 horas		100%		Adherencia - 72 horas		100%	

En la tabla 20 se determinó el grado de adhesión de la pintura al sustrato con acabado en poliuretano obteniendo excelente adherencia para la alternativa y los estándares.

Tabla 20. Adherencia crítica con acabado en poliuretano y a condiciones estándar

Condiciones estándar sustrato genérico	Estándar 1			Estándar 2			F+G					
	16 μm				16 μm				17 μm			
	9 μm				10 μm				11 μm			
	3 μm				18.4 μm				3 μm			
		34 μm	48 μm	60 μm		33 μm	50 μm	60 μm		31 μm	45 μm	63 μm
	Adherencia - 72 horas		100%		Adherencia - 72 horas		100%		Adherencia - 72 horas		100%	

Por último, se evaluó el grado de adhesión de la alternativa con acabado en poliuretano en el sustrato del cliente (aluminio) y en condiciones de temperatura (5 °C) y humedad relativa (70%) de Bogotá. Para esto fue necesario someter a enfriamiento las laminas y la pintura a aplicar, así como humidificar la cabina hasta lograr la humedad requerida. (Figuras 6 y 7)



Figura. 6. Acondicionamiento de temperatura para evaluación de adherencia.



Figura. 7. Acondicionamiento de humedad para evaluación de adherencia.

Una vez se logran las condiciones requeridas para realizar la aplicación del producto, se aplicó la alternativa y los productos estándar con acabado en poliuretano a diferentes espesores con el fin de evaluar la adherencia a las 24 y 72 horas.

En la tabla 21 se evidencia que la alternativa F+G presentó un grado de adhesión bajo en comparación con los productos estándar concluyendo que el ensayo G+F no es apto para aplicación en esas condiciones.

Tabla 21. Adherencia crítica con acabado en poliuretano, en condiciones de Bogotá y con sustrato del cliente.

Condiciones de Bogotá y sustrato del cliente	Estándar 1			Estándar 2			F+G					
	8 μm				11.4 μm				7 μm			
	20 μm				23.3 μm				18 μm			
	30 μm				35 μm				30 μm			
	60 μm	50 μm	19 μm		18 μm	50 μm	60 μm		60 μm	50 μm	19 μm	
	Adherencia - 24 horas		92%	Adherencia - 24 horas		100%	Adherencia - 24 horas		64%			
	Adherencia - 72 horas		98.8%	Adherencia - 72 horas		100%	Adherencia - 72 horas		51.4%			

PARTE 2

Formulación:

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 21, se hizo necesario realizar una nueva formulación con el fin de mejorar la adherencia del producto en condiciones de aplicación de Bogotá. Para esto se realizaron dos ensayos adicionales: Ensayo I: Adicionando 1.43% del aditivo 4 el cual mejora considerablemente la adherencia del recubrimiento en el sustrato sin afectar otras propiedades; Ensayo J: Que corresponde al endurecedor y se reformula adicionando la resina 6 con el fin de aumentar el porcentaje de amina en la formula.

Tabla 22. Formulación parte II: Primer bicomponente para transporte comercial

Materia prima	% Volumen Ensayo I	% Volumen Ensayo J
Solvente 1		
Solvente 2	31,57%	29,00%
Solvente 3		56,84%
Solvente 4	17,09%	
Resina 1	30,93%	4,33%
Resina 2	2,52%	
Resina 3	3,13%	
Resina 4		5,75%
Resina 5		1,08%
Resina 6		3,00%
Aditivo 1	0,16%	
Aditivo 2	1,29%	
Aditivo 3		
Aditivo 4	1,73%	
Pigmento 1	3,87%	
Pigmento 2	0,03%	
Pigmento 4		
Pigmento 5	3,29%	
Pigmento 3		
Pigmento 6	4,38%	
	100,00%	100,00%

Desarrollo y registro de ensayos:

Teniendo los dos ensayos descritos anteriormente, se propusieron dos alternativas: Ensayo I+F y Ensayo I+J de forma que se lograra determinar cuál de estos dos ensayos presentaba mejor grado de adhesión al sustrato del cliente y en condiciones críticas de Bogotá.

Debido a que la cantidad de aditivo utilizado sigue siendo bajo, solo fue necesario chequear nuevamente el tiempo de vida útil y los tiempos de secado con el fin de validar si se presentó algún cambio considerable.

En las figuras 8 Y 9 se presenta los tiempos de secado y pot life respectivamente. El ensayo I+J presentó tiempos de secado inferiores a los de los productos estándar, mientras que el ensayo I+F arrojó tiempos de secado similares a los obtenidos anteriormente con el ensayo G+F. Al igual que el ensayo G+F, el ensayo I+F mantuvo sus características de aplicación constantes durante más de 3.5 horas, aunque con un rango de viscosidad más bajo.

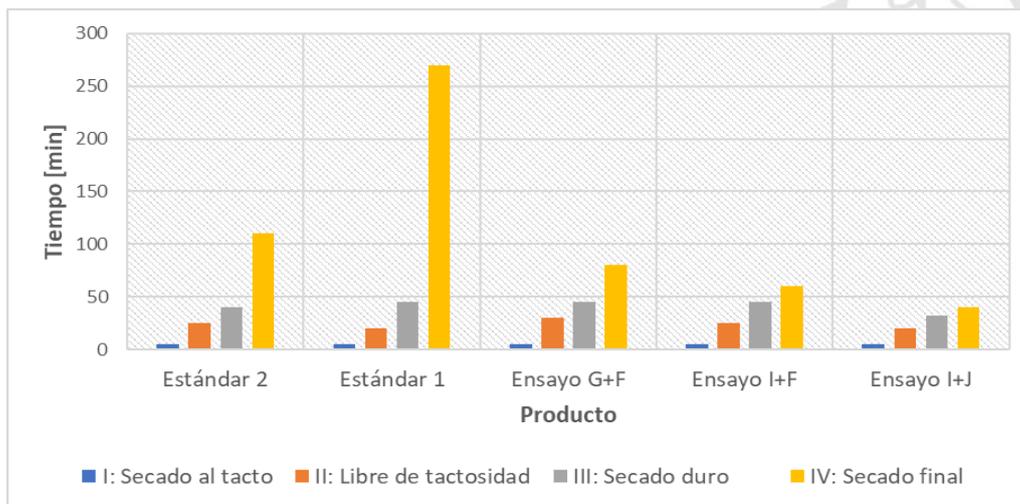


Figura. 8. Tiempos de secado PARTE II

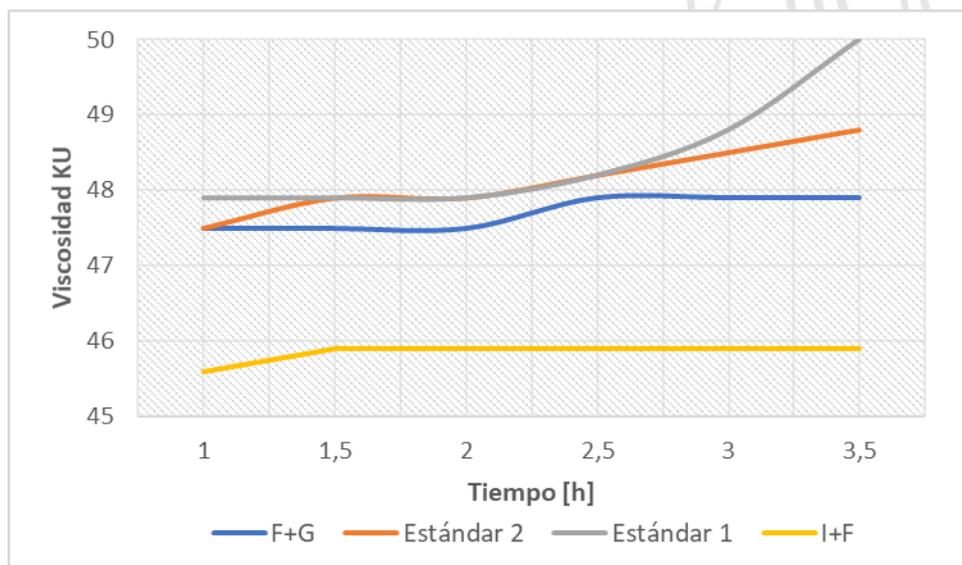
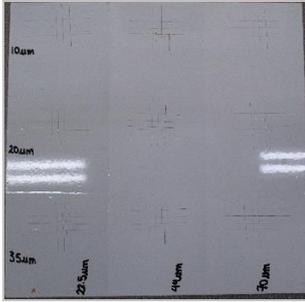
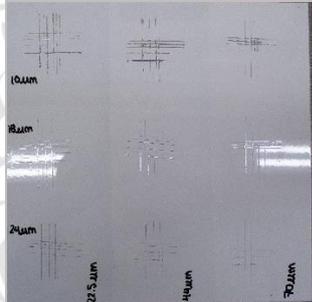


Figura. 9. Pot Life PARTE II

Validación comparativa contra el primer utilizado actualmente:

En la tabla 23 se muestran los resultados de adherencia crítica obtenidos para las dos propuestas mencionadas anteriormente, evidenciando que la propuesta I+F presentó excelentes resultados de adherencia al ser aplicado en condiciones de Bogotá por lo que se concluye que la alternativa I+F es comparable con los productos estándar usados actualmente y genera excelentes resultados de adherencia.

Tabla 23. Adherencia crítica para los ensayos I+F y I+J con acabado en poliuretano, en condiciones de Bogotá y con el sustrato del cliente.

Condiciones de Bogotá y sustrato del cliente	I+F			I+J				
	10 μm				10 μm			
	20 μm				18 μm			
	35 μm				24 μm			
		22.5 μm	49 μm	70 μm	22.5 μm	44 μm	70 μm	
	Adherencia 72 horas			100%	Adherencia 72 horas			57%

A continuación (tabla 24) se presentan de manera general los costos, tanto del producto estándar como de la alternativa I+F, siendo este último un 62% más económico que el producto estándar.

Tabla 24. Comparación de costos por litro de la alternativa y el producto estándar.

Descripción Producto	COP/L SET
Estándar 2	\$ 23.473
Endurecedor estándar.	
Ensayo G	\$ 8.977
Ensayo F	
Reducción	-62%

Conclusiones

La pintura de imprimación además de ser la responsable de la protección al sustrato en que es aplicado, tiene como función principal otorgar una mejor apariencia y nivelación al acabo final, es por esto por lo que inicialmente fue necesario asegurar una buena nivelación del producto desarrollado logrando obtener una apariencia (DOI) por encima de 80.

Evaluar el producto desarrollado en condiciones de exposición reales es de gran importancia al momento de formular una pintura, pues es a partir de estos resultados que se puede concluir si el producto desarrollado funciona o no a las condiciones de aplicación reales. Un claro ejemplo de esto es el ensayo G+F el cual tuvo que ser reformulado debido a que el grado de adhesión falló en un 50% cuando se sometió a las condiciones de aplicación del cliente (25 °C y 70% de humedad relativa). Este resultado lo hizo inviable a pesar de arrojar buenos resultados en los chequeos especiales en condiciones ambientales estándar.

Se logró optimizar el tiempo de secado del producto desarrollado con respecto al estándar obteniendo una reducción de un 50% en el tiempo requerido para llevar a cabo el secado final. De igual forma con el producto desarrollado se logra una reducción de costos en un 62% utilizando materias primas no exclusivas y con bajo nivel de peligrosidad.

Referencias Bibliográficas

- [1] "Acerca de PPG | PPG El Color para tu coche." [Online]. Available: <https://es.ppgrefinish.com/es/acerca-de-ppg/>. [Accessed: 17-Aug-2020].
- [2] D. T. I. Colpisa., "Conceptos básicos de las pinturas." Medellín, 2010.
- [3] A. Generales and D. E. L. A. S. Pinturas, "Les Heures."
- [4] División Técnica I+D PPG., "Parámetros de formulación." Medellín.
- [5] J. Calvo Carbonell, "Pinturas y Barnices." pp. 3–435, 2014.
- [6] A. L. Pvc, C. Y. O. Parametros, and J. A. R. R, "Un acercamiento práctico al pvc, cpvc y otros parametros de formulacion," pp. 1–51.