



**Desarrollo y evaluación del endurecedor de un recubrimiento que cura a baja temperatura
para proteger estructuras de aluminio**

Andres Jose Osorio Lozada

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Asesor

Juan Miguel Marín Sepúlveda, Ingeniero Químico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química
Medellín, Antioquia
2022

Cita	(Osorio Lozada, 2020)
Referencia	Osorio Lozada, A. J. (2022). <i>Desarrollo y evaluación del endurecedor de un recubrimiento que cura a baja temperatura para proteger estructuras de aluminio</i> [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín
Estilo APA 7 (2020)	



Créditos a:

Gerente Técnico PMC PPG Industries Colombia Ltda: Diego Pérez Mesa
 Universidad de Antioquia: Departamento de ingeniería química



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
1 Objetivos	8
1.1 Objetivo general	8
1.2 Objetivos específicos	8
2 Marco teórico	9
2.1 Generalidades sobre la pintura	9
2.2 Mecanismos de reacción del grupo epoxi con las aminas y amidas	10
3 Metodología	12
3.1 Fabricación de muestras de recubrimiento bicomponente (endurecedor y base) de referencia rechazados en el pasado	12
3.2 Formulación de nueva alternativa al recubrimiento bicomponente actual (propuesta de prototipos)	13
3.3 Fabricación de recubrimiento bicomponente (endurecedor y base)	15
3.4 Reproducir condiciones del cliente enfocado en fallas	16
4 Resultados	17
4.1 Resultados de la fabricación del recubrimiento bicomponente de referencia rechazado en el pasado.	17
4.2 Resultados de la formulación de nueva alternativa al recubrimiento bicomponente actual.	17
4.3 Resultados de la reproducción de condiciones del cliente enfocado en fallas	19
5 Análisis	21
6 Conclusiones	23
Referencias	24

Lista de tablas

Tabla 1 Composición de la base del problema de referencia	13
Tabla 2 Composición del endurecedor del problema de referencia	13
Tabla 3 Composición de la base del ensayo 1	14
Tabla 4 Composición del endurecedor del ensayo 1	14
Tabla 5 Composición del endurecedor del ensayo 2	15
Tabla 6 Composición del endurecedor del ensayo 3	15
Tabla 7 Pruebas de secado realizadas al recubrimiento problema	17
Tabla 8 Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 1	18
Tabla 9 Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 2	18
Tabla 10 Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 3	19
Tabla 11 Espesores y adherencia critica en frio con poliuretano	19
Tabla 12 Espesores y adherencia critica en frio con poliéster	20

Resumen

El desarrollo y evaluación del endurecedor de un recubrimiento que cura a baja temperatura para proteger estructuras de aluminio se llevó a cabo empleando los métodos de adherencia crítica y secado en frío, pruebas que fueron realizadas con muestras a temperaturas inferiores de 14 °C, y se analizó la metodología, tiempos de secado y materias primas empleadas con los datos obtenidos. Se puede concluir que el cambio del solvente Metoxipropil acetato por Acetato de n-Butilo en la base y, el cambio de la resina poliamida por resina fenalcamina, más la adición de un 2% de resina coreactiva aceleradora en el endurecedor, mejoraron notablemente el tiempo de secado, comparable con los tiempos de secado del producto de la competencia.

Palabras clave: resina poliamida, resina fenalcamina, resina coreactiva, adherencia crítica, secado en frío.

Abstract

The development and evaluation of the hardener of a coating that cures at low temperature to protect aluminum structures was carried out using the critical adhesion and cold drying methods, tests that were carried out with samples at temperatures below 14 °C, and analyzed the methodology, drying times and raw materials used with the data obtained. It can be concluded that the change of the Methoxypropyl acetate solvent for n-Butyl Acetate in the base and, the change of the polyamide resin for phenalcamine resin, plus the addition of 2% of accelerating co-reactive resin in the hardener, notably improved the time of drying, comparable to the drying times of the competitor's product.

Keywords: polyamide resin, phenalcamine resin, coreactive resin, critical adhesion, cold drying.

Introducción

PPG Colombia Ltda es una filial PPG Industries, la cual fue fundada en 1883, tiene sede central en Pittsburgh, Pennsylvania y opera en más de 60 países de todo el mundo, con la producción y distribución de recubrimientos de alto rendimiento para la industria aeroespacial, arquitectónica, repintado automotriz, recubrimiento protector marino, automotriz OEM, recubrimiento de embalajes, productos ópticos, sílices, cloro alcalino y derivados, fibra de vidrio y vidrio plano. El 17 de enero de 2012 PPG Colombia Ltda. firma la adquisición de Colpisa Colombiana de Pinturas S.A. Con la adquisición de Colpisa, PPG se convierte en el principal proveedor de recubrimientos OEM en Colombia y uno de los principales proveedores de una línea completa de productos para repintada automotriz con una red de distribución en las principales ciudades del país (PPG, 2021). Actualmente, la planta de producción se encuentra en el municipio de Itagüí y cuenta con zonas de almacenamiento, producción, servicios y distribución.

El proyecto se desarrolló en el laboratorio del área de división técnica, el cual se encarga de verificar que se cumplan los estándares de calidad, investigar y desarrollar nuevos productos; uno de los procesos más importantes en laboratorio es el desarrollo de nuevas materias primas que permitan la reducción de costos en la elaboración de productos. Este proyecto consistió en el desarrollo y evaluación del endurecedor de un recubrimiento que cure a baja temperatura para proteger estructuras de aluminio, con el fin de analizar la viabilidad de producto y su impacto en el mercado local. Para la ejecución del proyecto se utilizó una metodología cuantitativa que permitió tomar los datos existentes y con los ensayos realizados, se estudió si hay reproducibilidad y repetitividad en el método.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar un endurecedor que mejore el secado de un recubrimiento que proteja estructuras de aluminio y cure en condiciones de baja temperatura.

1.2 Objetivos específicos

- Formular un endurecedor para curado a baja temperatura (0-15°C).
- Determinar un proceso de validación de curado y adherencia a baja temperatura.
- Evaluar la estabilidad del endurecedor desarrollado.

2 Marco teórico

2.1 Generalidades sobre la pintura

La pintura es una dispersión generalmente líquida que, al aplicarse, adquiere consistencia por evaporación o por reacción con el oxígeno del aire o con los reticulantes. Los componentes básicos de las pinturas son el vehículo, formado por el disolvente o diluyente, y el aglutinante, que polimeriza o reacciona formando una capa sólida y retiene los pigmentos y las cargas cuando se seca la pintura. En resumen, la pintura convencional líquida (también existe pintura en polvo) consta de vehículo y pigmento. El vehículo está formado por el aglutinante (vehículo no volátil) y el disolvente o vehículo volátil. Una vez seca, se forma la capa de película protectora o decorativa (Martin & J, 1993). El endurecedor (componente B de una mezcla de pinturas o bicomponente) es un agente o promotor de reacción que contienen grupos afines al componente A.

La propiedad de la pintura es la respuesta de ésta a una serie de condiciones físicas, químicas, mecánicas y tecnológicas, tanto si se trata de pintura líquida como de pintura seca. Las propiedades comúnmente usadas para la evaluación de los productos en estudio son:

- La **finura de molienda** expresa el diámetro aproximado de la mayoría de partículas (pigmentos y cargas) e indica el grado de dispersión de una pintura.
- La **viscosidad** indica la resistencia que ofrecen los fluidos a cambiar su forma cuando están sometidos a fuerzas.
- El **peso específico** se define como el peso de la unidad de volumen: el peso en kilogramos de un litro de producto.
- La **adherencia** indica la capacidad de enlace pintura-sustrato o capa de pintura-capa de pintura.
- El **brillo** es la respuesta de una superficie pintada a la reflexión de la luz que recibe.
- El **color** es la claridad, la tonalidad y la saturación que presentan los objetos al ser iluminados. (Martin & J, 1993).

En la actualidad, existe una gran variedad de pinturas, ya que, debido a la tecnología, se puede proporcionar la pintura más adecuada para cualquier tipo de sustrato. Por este motivo, es muy importante establecer unos criterios para clasificar las pinturas. Éstos son algunos de ellos:

- La función a la que va destinada

Las pinturas cumplen varias funciones, que van desde proteger contra la corrosión hasta la aportación estética como, por ejemplo, las utilizadas en bellas artes. Este amplio abanico incluye funciones decorativas, de señalización, de modificación de propiedades como la conductividad o la ignifugidad, de descontaminación nuclear, etc. Existen pinturas anticorrosivas y decorativas para distintos sustratos: superficies férreas, de aluminio, madera, cemento, ladrillo, piedra, yeso, fibrocemento y polímeros sintéticos. (Molera & P, 1989).

- El procedimiento de aplicación utilizado

Las pinturas se pueden aplicar convencionalmente (a brocha, a rodillo, a pistola aerográfica o a pistola sin aire), por inmersión (convencional o en lecho fluidizado), por electroforesis, por secado al aire o al horno, por radiación, en continuo, en discontinuo, etc. (García & J, 1996).

- La naturaleza de la pintura según sus componentes:

La naturaleza de la pintura viene determinada por su estado (líquido o en polvo) y por sus componentes. (Molera & P, 1989).

2.2 Mecanismos de reacción del grupo epoxi con las aminas y amidas

Las resinas epóxicas son éteres cíclicos, se obtienen comúnmente por polimerización y reacción del bifenoil A, son compuestos de mucha resistencia mecánica al endurecerse. Por su naturaleza y estructura química las resinas epóxicas no reaccionan con el oxígeno del aire, es por eso que necesitan un agente curador o endurecedor a la hora de su aplicación para activar sus propiedades físicas. Para realizar el proceso de curación o endurecimiento de este tipo de resinas se utiliza comúnmente el grupo funcional de las aminas o las amidas. Las aminas y amidas se utilizan como agente endurecedor para este tipo de resinas ya que poseen un átomo de hidrógeno reactivo, estas pueden ser alifáticas, primarias, secundarias o terciarias. Las más utilizadas son aminas alifáticas que son líquidos de baja viscosidad con un olor característico o irritante (Henry Lee, 1967). La reacción de curación del grupo epoxi con las aminas se caracteriza por el mecanismo que se explica a continuación:

- Los electrones de la amina atacan y rompen el enlace del carbono próximo al oxígeno del grupo epoxi, este oxígeno gana dos electrones y al mismo tiempo se forma un nuevo enlace entre el carbono y el nitrógeno de la amina.
- Luego el par de electrones de más del oxígeno del grupo epoxi se unen con el hidrógeno del grupo de la amina para formar un alcohol con la amina.
- Por último, el hidrógeno reactivo que le queda al grupo funcional de la amina vuelve a reaccionar con el grupo epoxi de la misma manera este mecanismo de reacción se repite hasta tantos átomos de hidrógeno y grupos epoxi estén disponibles para reaccionar obteniéndose una gran red molecular estable químicamente.

3 Metodología

La metodología siguiente se implementó para solucionar el problema de referencia presentado en el pasado, donde se plantea cambiar la resina epóxica usada actualmente, cambiar los solventes usados en la base y probar un acelerante coreactivo en el endurecedor con el fin de que se cumpla con los requerimientos de secado exigidos por el cliente. Dicho problema se basa en el alto tiempo que le toma al recubrimiento para secar a baja temperatura cuando se aplica en estructuras de aluminio.

3.1 Fabricación de muestras de recubrimiento bicomponente (endurecedor y base) de referencia rechazados en el pasado

Inicialmente se reprodujo en planta piloto el problema de referencia usando las mismas materias primas empleadas en el pasado, estas materias primas se enlistan en la tabla 1. En planta piloto se pesaron las cantidades necesarias de cada componente para preparar 1 kilogramo de mezcla. En un recipiente de $\frac{1}{2}$ galón se adicionó cada materia prima con agitación constante a 500 rpm para después dejar agitando por 30 minutos a 900 rpm. Luego, la mezcla se sometió a molienda haciendo uso de un molino vertical durante 1 hora. Este molino viene cargado con 1,2 kilogramos de perlas de Zirconio de 1 mm de diámetro. Posterior a la molienda se realizó una dilución con xileno para ajustar el porcentaje de sólidos reales a los teóricos. Una vez terminado el procedimiento anterior se midieron las propiedades de la base. Las propiedades medidas son el porcentaje de sólidos, la viscosidad KU, la molienda y la densidad.

Para el caso del endurecedor se pesaron las cantidades necesarias de materia prima (tabla 2) para preparar 1 kilogramo de muestra. Se adicionó con agitación constante cada material a 300 rpm para luego someter la mezcla a agitación por 30 min a 500 rpm. La mezcla se dejó reposar por 72 horas para que ocurriera la reacción entre la resina epóxica y la resina amida. Posterior al reposo se realizó una dilución con xileno para ajustar el porcentaje de sólidos reales a los teóricos. Una vez terminado el procedimiento anterior se midieron las propiedades del endurecedor. Las propiedades medidas son el porcentaje de sólidos, la viscosidad KU, el valor amino y la densidad.

Tabla 1*Composición de la base del problema de referencia*

Componente	Función	%(w/w)
Resina Epóxica	Resina	26,00%
Metoxipropil acetato	Solvente	12,80%
Xileno	Solvente	20,74%
Pigmentos	Pigmento	32,76%
Aditivos	Aditivo	7,70%

Tabla 2*Composición del endurecedor del problema de referencia*

Componente	Función	%(w/w)
Resina Epóxica	Resina	5,54%
Poliamida	Resina	6,61%
Tridimetilaminometil fenol	Resina	1,24%
Isobutanol	Solvente	55,69%
Xileno	Solvente	30,92%

3.2 Formulación de nueva alternativa al recubrimiento bicomponente actual (propuesta de prototipos)

ENSAYO 1: Cambio de Metoxipropil acetato por Acetato de n-Butilo en la base y cambio de resina poliamida por resina Fenalcamina en el endurecedor

En el ensayo 1 se utilizaron las materias primas enlistadas en la tabla 3. En planta piloto se pesaron las cantidades necesarias de cada componente para preparar 1 kilogramo de mezcla. En un recipiente de ½ galón se adicionó cada materia prima con agitación constante a 500 rpm para después dejar agitando por 30 minutos a 900 rpm. Luego, la mezcla se sometió a molienda haciendo uso de un molino vertical durante 1 hora. Este molino viene cargado con 1,2 kilogramos de perlas de Zirconio de 1 mm de diámetro. Posterior a la molienda se realizó una dilución con xileno para ajustar el porcentaje de sólidos reales a los teóricos. Una vez terminado el procedimiento anterior se midieron las propiedades de la base. Las propiedades medidas son el porcentaje de sólidos, la viscosidad KU, la molienda y la densidad.

Para el caso del endurecedor se pesaron las cantidades necesarias de materia prima (tabla 4) para preparar 1 kilogramo de muestra. Se adicionó con agitación constante cada material a 300 rpm para luego someter la mezcla a agitación por 30 min a 500 rpm. La mezcla se dejó reposar por 72 horas para que ocurriera la reacción entre la resina epóxica y la resina amida. Posterior al reposo se realizó una dilución con xileno para ajustar el porcentaje de sólidos reales a los teóricos. Una vez terminado el procedimiento anterior se midieron las propiedades del endurecedor. Las propiedades medidas son el porcentaje de sólidos, la viscosidad KU, el valor amino y la densidad.

Tabla 3

Composición de la base del ensayo 1.

Componente	Función	%(w/w)
Resina Epóxica	Resina	26,10%
Acetato de n-Butilo Uretano	Solvente	19,41%
Xileno	Solvente	13,86%
Pigmentos	Pigmento	32,89%
Aditivos	Aditivo	7,73%

Tabla 4

Composición del endurecedor del ensayo 1.

Componente	Función	%(w/w)
Resina Epóxica	Resina	11,43%
Fenalcamina	Resina	10,07%
Acelerador	Resina	4,74%
Isobutanol	Solvente	44,66%
Xileno	Solvente	29,10%

ENSAYO 2: Base del ensayo 1 y nueva formulación de endurecedor basados en el endurecedor usado por la competencia.

En el ensayo 2 se utilizó la misma base del ensayo 1. Para el caso del endurecedor se empleó el endurecedor usado por la competencia con el fin de evaluar la afinidad de la base preparada en el ensayo 1 con el endurecedor en cuestión. En la tabla 5 se muestran las materias primas que componen el endurecedor de la competencia.

Tabla 5*Composición del endurecedor del ensayo 2.*

Componente	Función	%(w/w)
Polímero amina funcional	Resina	46,00%
Acelerador	Resina	48,00%
Isobutanol	Resina	2,00%
Xileno	Solvente	4,00%

ENSAYO 3: Base del ensayo 1 y adición de acelerador coreactivo al endurecedor del ensayo 1.

En el ensayo 3 se utilizó la misma base del ensayo 1. Para el caso de este endurecedor se utilizaron las mismas materias primas empleadas para el endurecedor del ensayo 1 pero en este caso se adicionó un acelerador coreactivo. En la tabla 6 se muestran las materias primas utilizadas para preparar el endurecedor en estudio.

Tabla 6*Composición del endurecedor del ensayo 3.*

Componente	Función	%(w/w)
Resina Epóxica	Resina	11,40%
Fenalcamina	Resina	10,04%
Xileno	Solvente	43,09%
Isobutanol	Solvente	28,81%
Acelerador	Resina	6,65%

3.3 Fabricación de recubrimiento bicomponente (endurecedor y base)

Una vez obtenidos los resultados de secado de los ensayos planteados anteriormente se optó por fabricar la alternativa que mejoró los tiempos de secado comparado con el producto de la competencia, para este caso el ensayo 3.

3.4 Reproducir condiciones del cliente enfocado en fallas

Luego de fabricar la alternativa seleccionada se reprodujeron las condiciones del cliente enfocado en fallas. Para esto se hizo el mismo tratamiento realizado por el cliente a las láminas de aluminio y al producto (Base, Endurecedor y color). En el caso de las láminas, se les realizó un lijado con lija de agua 180, se limpió con xileno empleando un paño suave y se llevó a enfriamiento en nevera. Para el caso del producto, luego de la fabricación, se dejó en la nevera entre 1 y 2 horas antes de la aplicación para asegurar una temperatura inferior a 14 °C.

Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de adherencia crítica en frío, la cual consistió en realizar la aplicación del producto en las láminas, dejar curar el recubrimiento por 24 horas para después realizar un corte en cuadrícula y finalmente con una cinta adhesiva se hace presión en la cuadrícula y se jala con fuerza para observar que cantidad de recubrimiento se desprende de la lámina.

4 Resultados

Los datos obtenidos se presentan conforme a la metodología planteada.

4.1 Resultados de la fabricación del recubrimiento bicomponente de referencia rechazado en el pasado.

Para la determinación del tiempo de secado se tomaron 2 láminas de aluminio de 14 cm x 9 cm con un espesor de 1 mm. A cada lámina se le aplicó la mezcla 1:1 en volumen de la base y el endurecedor, esta aplicación se realizó con pistola de aire. Se aseguró que el espesor promedio en seco del recubrimiento fuese de 20 micras. Una vez realizada la aplicación del recubrimiento se efectuaron las pruebas de secado. A continuación, se muestran los datos obtenidos a partir de las pruebas de secado:

Tabla 7

Pruebas de secado realizadas al recubrimiento problema

Prueba de Secado	Tiempo muestra problema (min)	Tiempo producto de la competencia (min)
Secado al tacto	13,00	2,33
Secado libre de polvo	18,00	7,97
Secado al manejo	26,82	10,92

4.2 Resultados de la formulación de nueva alternativa al recubrimiento bicomponente actual.

Para la determinación del tiempo de secado se tomaron 2 láminas de aluminio de 14 cm x 9 cm con un espesor de 1 mm para cada ensayo. A cada lamina se le aplicó la mezcla 1:1 en volumen de la base y el endurecedor, esta aplicación se realizó con pistola de aire. Se aseguró que el espesor promedio en seco del recubrimiento fuese de 20 micras. Una vez realizada la aplicación del recubrimiento se efectuaron las pruebas de secado. A continuación, se muestran los datos obtenidos a partir de las pruebas de secado para cada ensayo:

Ensayo 1. Cambio de Metoxipropil acetato por Acetato de n-Butilo en la base y cambio de resina poliamida por resina Fenalcamina en el endurecedor.

Tabla 8

Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 1.

Prueba de Secado	Tiempo muestra problema (min)	Tiempo producto de la competencia (min)
Secado al tacto	5,50	2,33
Secado libre de polvo	9,67	7,97
Secado al manejo	13,33	10,92

ENSAYO 2: Base del ensayo 1 y nueva formulación de endurecedor basados en el endurecedor usado por la competencia.

Tabla 9

Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 2.

Prueba de Secado	Tiempo muestra problema (min)	Tiempo producto de la competencia (min)
Secado al tacto	20,05	7,50
Secado libre de polvo	25,00	16,52
Secado al manejo	36,08	23,50

ENSAYO 3: Base del ensayo 1 y adición de acelerador coreactivo al endurecedor del ensayo 1.

Tabla 10

Pruebas de secado realizadas al recubrimiento ensayo 3.

Prueba de Secado	Tiempo muestra problema (min)	Tiempo producto de la competencia (min)
Secado al tacto	5,00	3,67
Secado libre de polvo	7,42	7,83
Secado al manejo	10,67	10,50

4.3 Resultados de la reproducción de condiciones del cliente enfocado en fallas

La prueba de adherencia crítica en frío se realizó en degrade, esto es, se aplicó el producto con diferentes espesores de base y color. También se emplearon dos tipos de tecnologías de color que fueran equivalentes para determinar si hay fallos respecto a la naturaleza química del color. Las dos tecnologías elegidas fueron un poliéster blanco y un poliuretano blanco, para el caso del poliéster se requiere aplicar barniz sobre el color para sellar y proteger la superficie ya que, al formar una barrera aislante superficial, permiten un perfecto secado y ofrecen la máxima resistencia química y mecánica. En las tablas 11 y 12 se muestran los espesores finales para cada lámina con las diferentes tecnologías empleadas.

Tabla 11

Espesores y adherencia critica en frio con poliuretano.

Espesores	Base	Color	Total	%Adherencia	
				24 Horas	96 Horas
Lamina 1	16,7	16,3	33,0	99,0	99,0
Lamina 2	16,7	33,4	50,1	100,0	100,0
Lamina 3	30,0	33,4	63,4	99,5	99,5
Lamina 4	30,0	61,0	91,0	99,0	100,0
Lamina 5	60,0	33,4	93,4	99,0	99,5
Lamina 6	60,0	61,0	121,0	99,5	99,5

Tabla 12*Espesores y adherencia critica en frio con poliéster.*

Espesores	Base	Color	Barniz	Total	%Adherencia	
					24 Horas	96 Horas
Lamina 1	16,3	9,6	20,1	46	100,0	100,0
Lamina 2	16,3	20,4	20,1	56,8	100,0	100,0
Lamina 3	31,4	9,6	20,1	61,1	100,0	100,0
Lamina 4	31,4	20,4	20,1	71,9	100,0	100,0
Lamina 5	16,3	9,6	41,6	67,5	100,0	100,0
Lamina 6	16,3	20,4	41,6	78,3	100,0	100,0
Lamina 7	16,3	20,4	41,6	78,3	100,0	100,0
Lamina 8	31,4	20,4	41,6	93,4	100,0	100,0
Lamina 9	9,6	31,4	41,6	82,6	100,0	100,0

5 Análisis

De los resultados obtenidos de las pruebas de secado para cada ensayo se puede evidenciar que al cambiar el solvente en la base se favorece el secado ya que el nuevo solvente (Acetato de n-Butilo) presenta una velocidad de evaporación más grande que el solvente usado en el pasado (Metoxipropil acetato) generando una disipación más rápida del solvente cuando se aplica el recubrimiento sobre las láminas. En el caso del endurecedor el cambio del tipo de resina, poliamida por fenalcamina, mejoró el tiempo de secado en frío debido la estructura química que presenta la fenalcamina, un grupo aromático y un grupo alifático. El grupo alifático proporciona resistencia mecánica a la estructura luego de la reacción con la resina epóxica por polimerización mientras que el grupo aromático proporciona gran estabilidad a la estructura a bajas temperaturas. Por último, la adición de la resina coreactica al endurecedor tuvo la influencia esperada ya que se seleccionó en base a sus propiedades principales, compatibilidad con endurecedores de amina, acelerador de la reacción epoxi-amina y buena para sistemas a bajas temperaturas, donde se logró una reducción de la diferencia de los tiempos de secado promedio de un 243% a un 11%.

La prueba de adherencia crítica a cada lámina permitió observar una adherencia del 100% del recubrimiento sobre el sustrato para el caso del poliéster, lo cual era de esperarse debido a las propiedades extra que le confiere el barniz al recubrimiento en total. En el caso del poliuretano se obtuvo una adherencia crítica promedio del 99.5%. De los resultados obtenidos se puede ver como la alternativa formulada cumple con las condiciones empleadas por el cliente, el cual exige una adherencia superior al 99%, donde también se puede comprobar que la naturaleza química del color no influye significativamente la adherencia en frío del recubrimiento. Este resultado se puede explicar fácilmente con el análisis hecho en las pruebas de secado, ya que el cambio de la resina amina usada en el endurecedor mejora la estabilidad del producto confiriéndole una mayor resistencia mecánica y una mayor compatibilidad con el sustrato de aluminio.

Con el fin de determinar un proceso de validación de curado y adherencia a baja temperatura, se analizó que métodos debían realizarse a las nuevas alternativas propuestas. Para esto, se tomaron en cuenta tanto las pruebas realizadas por el cliente como las pruebas que se realizan actualmente en la empresa, donde se optó por utilizar la prueba de secado al tacto, libre de polvo y manejo como validación inicial para luego emplear la prueba de adherencia crítica en frío. Esta selección se basa en el hecho de que dichas pruebas son las más críticas que se pueden realizar,

lo cual garantiza que se cumplan los estándares exigidos por el cliente para que el producto no falle en condiciones de baja temperatura. El orden del proceso de validación se explica a continuación:

- Luego de aplicar cada ensayo a la lámina de aluminio se lleva a cabo la prueba de secado que consta de tres mediciones cualitativas. Primero se realiza el secado el tacto el cual consiste en pasar el dedo suavemente hasta observar que no quede huella sobre el recubrimiento. Después, se efectúa el secado libre de polvo donde se toman unas motas de algodón muy finas, se dejan caer sobre el recubrimiento y sopla hasta observar que dichas motas caen de la lámina sin prestar resistencia. Por último, se realiza el secado al manejo la cual se basa en tomar y manipular la lámina hasta observar que no se desplace el recubrimiento aun cuando se hace presión sobre este.
- Como paso final en el proceso de validación se realiza la prueba de adherencia crítica en frío al ensayo que haya mostrado mejores resultados. Esta prueba fue explicada en detalle en el ítem 3.4.

6 Conclusiones

- El cambio de Metoxipropil acetato por Acetato de n-Butilo en la base y, el cambio de la resina poliamida por fenalcamina, más la adición de un 2% de resina coreactiva aceleradora en el endurecedor, mejoraron notablemente el tiempo de secado cuando se aplicó el recubrimiento a temperaturas inferiores a 14°C. Esto es de gran importancia ya que el recubrimiento fabricado en el pasado presentó largos tiempos de secado cuando se aplicó sobre estructuras de aluminio generando así, un aumento en los costos por pérdida de tiempo en producción.
- El ensayo 3 tuvo una reducción del 160% para el secado al tacto, 143% para el secado al manejo y 151% para secado al manejo cuando se compara con el producto rechazado en el pasado. Por lo tanto, se seleccionó dicho ensayo como nueva alternativa al recubrimiento bicomponente actual.
- Se encontró que el producto desarrollado en el ensayo 3 es estable ya que, los resultados de las pruebas de adherencia crítica en frío para ambas tecnologías son del 100% después de 24 y 96 horas, donde se reprodujeron todos los ensayos a una temperatura inferior a 14 °C.
- Como proceso de validación de curado y adherencia, se definieron las pruebas de secado al tacto, secado libre de polvo y secado al manejo, y la prueba de adherencia crítica en frío.

Referencias

GARCÍA CASTÁN, J. (1996) Manual de la Pintura en la Construcción. Barcelona: Anspi.

GONZÁLEZ MARTÍN, J. (1993) La pintura como recubrimiento protector. Madrid: A. Madrid Vicente.

LEE, HENRY. Handbook of Epoxy Resins, McGraw-Hill, 1967

MOLERA, P. (1989) Recubrimientos de los metales. Barcelona: Marcombo.

PPG: We Protect & Beautify The World. Paints, Coatings and Materials. (2021). Retrieved 13 October 2021, from <https://www.ppg.com/>