



**Evaluación del color de imprimantes epóxicos blancos**

Caterine Andrea Rodríguez Campo

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Química

Asesor

Mauricio Esteban Sánchez, Ingeniero Químico

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Química  
Medellín, Antioquia  
2023

---

<b>Cita</b>	(Rodríguez Campo, 2023)
<b>Referencia</b>	Rodríguez Campo, C. (2023). <i>Evaluación de color de imprimantes epóxicos blancos</i> , [Semestre de Industria]. Universidad de Antioquia, Medellín
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**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.

### **Agradecimientos**

A todo el equipo Técnico del Laboratorio de PPG, especialmente a Diego Pérez que me brindó la oportunidad de hacer parte del equipo y me asesoró en el proceso de prácticas, a David y Daniel por su contribución invaluable en mi proceso de aprendizaje, al resto del personal que siempre estuvo enseñándome con mucha dedicación y me contagiaron de su entusiasmo cada día que fui a la empresa. También quiero dar las gracias al profeso Mauricio, quien me orientó en mi formación académica y en el desarrollo de este proyecto. ¡Esto no sería posible sin ustedes!

---

## Tabla de contenido

Resumen .....	6
Abstract .....	8
Introducción .....	9
1 Objetivos .....	11
1.1 Objetivo general .....	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2 Marco teórico .....	12
2.1 Aspectos sobre la pintura .....	12
2.2 Sistemas de dos componentes .....	12
2.3 Pinturas de poliuretano de dos componentes .....	13
2.4 Pinturas epoxi de dos componentes .....	13
2.5 Mecanismos de reacción del grupo epoxi con las aminas y amidas .....	15
3 Metodología .....	18
3.1 Evaluación de los tiempos de secado de los imprimantes epóxicos .....	18
3.2 Fabricación de la base blanca de recubrimiento epóxico con curado de amina aromática MXDA y poliamida.....	18
3.2 Fabricación del endurecedor a base de poliamida.....	19
3.3 Preparación de muestras de imprimantes epóxicos blancos sin entonar .....	20
3.4 Preparación de muestras de imprimantes epóxicos blancos entonados .....	21
3.5 Preparación de muestras de imprimante epóxico con nonilfenol y fenalcamina .....	22
3.6 Preparación de muestras de imprimante epóxico con cardanol y fenalcamina.....	22
3.7 Preparación de muestras de imprimante epóxico con nonilfenol y poliamida.....	23
3.8 Preparación de muestras de imprimante epóxico con cardanol y poliamida .....	23
4 Resultados .....	25

---

4.1 Resultados de la evaluación de los tiempos de secado de los imprimantes epóxicos.....	25
4.2 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes epóxicos blancos sin entonar.....	26
4.3 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes epóxicos blancos entonados.....	28
4.4 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes con nonilfenol, fenalcamina, fenalcamina y poliamida.....	30
5 Análisis.....	31
6. Conclusiones.....	35
Referencias.....	38

---

## Resumen

Se determinaron los tiempos de secado, variación de color de los imprimantes epóxicos blancos sin tinta blanca y mezclados con tinta blanca, el efecto del cambio de nonilfenol por cardanol en una base epóxica y el cambio de una fenalcamina por una poliamida en el endurecedor de uno de los productos, para ello se realizaron pruebas con variación de temperatura a 40°C, 60°C, radiación en cámara UVA y luz solar, en un lapso de tiempo de 24 horas y 72 horas, por lo cual se realizaron las mediciones de color en el equipo datacolor del laboratorio que trabaja con las coordenadas del espacio *cielab*.

Se usó un aplicador de 38 µm y en algunos casos de 78 µm para medir los tiempos de secado, los cuales fueron leídos en el equipo *Dry Test* del laboratorio, el cual trabaja con la norma ASTM D5895 y se hizo un registro de los resultados.

Para poder realizar las comparaciones de todos los imprimantes blancos, fue necesario la elaboración de la base de uno de los productos, de igual manera fue necesaria la fabricación de un endurecedor a base de poliamida para realizar las comparaciones con un endurecedor a base de fenalcamina al ser combinadas con una base epóxica que contiene nonilfenol y otra base epóxica con cardanol.

En los tiempos de secado, se obtuvieron resultados muy diferentes en productos que comparten la misma tecnología de la base de la resina epóxica y endurecedor, mostrando que los tiempos de secado están ligados directamente a la formulación del producto.

En cuanto a la variación de color, los cambios de color más notorios se dieron al someter los productos a la cámara UVA y la luz natural del sol, sin embargo, el producto epóxico hecho a partir de una resina alquídica mostró mejor comportamiento en estos ambientes. También se evidenció la pobre resistencia a la radiación UV de los productos hechos a partir de resina bisfenol A y el efecto negativo a los incrementos de temperatura de algunos productos, pero al ser mezclados con tinta blanca presentan una mejor retención del color.

Se mostró que el cambio del cardanol por nonilfenol en una base epóxica genera inestabilidad de color ya que el cardanol le concede a las bases epóxicas blanca un tono rojizo que incrementa con el paso del tiempo debido a la contaminación con cardol, también se pudo ver que el cambio del endurecedor a base de fenalcamina por una poliamida disminuye el amarilleo.

---

*Palabras clave:* tiempo de secado, aminas, cardanol, nonilfenol, endurecedor, resina epóxica, amarilleamiento, oscurecimiento, tinta blanca

---

### Abstract

The drying times and color variation of the white epoxy primers without white ink and mixed with white ink, the effect of the change of nonylphenol by cardanol in an epoxy base and the change of a phenalkamine by a polyamide in the hardener of one of the products were determined, for this purpose, tests were carried out with temperature variation at 40°C and 60°C by radiation via a UVA chamber and sunlight, in a time span of 24 hours and 72 hours, for which the color measurements were made in the laboratory's datacolor equipment that works with the coordinates of the cielab space.

An applicator of 38 µm and in some cases of 78 µm was used to measure the drying times, which were read in the laboratory's Dry Test equipment, which works with the ASTM D5895 standard, and a record of the results was made.

In order to make the comparisons of all the white primers, it was necessary to make the base of one of the products, as well as the manufacture of a polyamide-based hardener to make the comparisons with a phenalkamine-based hardener when combined with an epoxy base containing nonylphenol and another epoxy base containing cardanol.

Comparing drying times, very different results were obtained in products sharing the same epoxy resin base technology and hardener, showing that drying times are directly linked to product formulation.

As for color variation, the most noticeable color changes occurred when the products were subjected to the UVA chamber and natural sunlight; however, the epoxy product made from an alkyd resin showed better behavior in these environments. The poor resistance to UV radiation of the products made from bisphenol A resin and the negative effect to temperature increases of some products were also evidenced, but when mixed with white ink, they showed better color retention.

*Keywords: drying time, amines, cardanol, nonylphenol, hardener, epoxy resin, yellowing, darkening, white ink.*

---

## Introducción

PPG Industries Colombia es la subsidiaria local de PPG Industries con sede principal en Pittsburgh, Pennsylvania, siendo un gran proveedor mundial de recubrimientos de alto rendimiento para la industria aeroespacial, automotriz, repintado automotriz, protección marino y minero, petróleo y gas. En 2012, PPG adquirió Colpisa, firma colombiana de revestimientos fundada en 1973. PPG Colombia tiene su centro de manufactura en Itagüi donde también se ubica el laboratorio de investigación y desarrollo.

Una de las motivaciones de realizar este proyecto es contribuir al estudio de las pinturas epóxicas que se manejan diariamente en el laboratorio y que debido a las ocupaciones diarias del personal técnico presentan un factor limitante como el tiempo para el desarrollo de la evaluación del color y secado, por lo cual esta es una oportunidad que puede ofrecer más erudición en el ámbito de los imprimantes epóxicos y de esta manera se puedan partir de bases que en un futuro ofrezcan mejoras a la calidad de los productos.

El proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de investigación y desarrollo en el área de división Técnica PMC (Protective and Marine Coatings). Este proyecto consistió en comparar cuantitativamente los productos epóxicos blancos contra estos mismos entonados con tinta blanca, también se comparó el efecto del cambio del endurecedor a base de fenalcamina por una poliamida y el nonilfenol por cardanol en una base, para esto se hicieron aplicaciones con un espesor de 10 mils en seco y se llevaron a condiciones de 40°C, 60°C, cámara UVA y luz solar; para determinar dichos efectos se registró la variación de color a las 24 horas y 72 horas.

Adicionalmente se midió el tiempo de secado al tacto, secado para el manejo y secado final de los imprimantes a un espesor de película de 38  $\mu\text{m}$  y 76  $\mu\text{m}$  para identificar los de más rápido secado a temperatura ambiente.

Con el desarrollo de este proyecto se busca conocer más a fondo el comportamiento del color de los productos epóxicos y definir cuáles son mejores a los cambios de temperatura y radiación, así mismo precisar los productos de más rápido secado.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

- Determinar la variación de color de los imprimantes epóxicos blancos en diferentes ambientes con un espesor de 10 mils y secados con un espesor de película de 38  $\mu\text{m}$

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar los tiempos de secado de los imprimantes a temperatura ambiente
- Determinar la variación de color de los productos blancos epóxicos a 40°C, 60°C, cámara UVA, luz solar a 24 horas y 72 horas
- Determinar la variación de color de los productos blancos epóxicos entonados con tinta blanca a 40°C, 60°C, cámara UVA, luz solar a 24 horas y 72 horas
- Comparar los productos entonados con tinta blanca con respecto a los no entonados al ser expuestos a diferentes condiciones
- Determinar el efecto en el color el cambio del nonilfenol por cardanol en una base epóxica y el cambio de una fenalcamina por una poliamida en el endurecedor

---

## 2 Marco teórico

### 2.1 Aspectos sobre la pintura

La pintura (componente A) puede definirse como una dispersión que consta de aglutinante(s), componentes volátiles, pigmentos y aditivos. 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.

- El aglutinante (polímero o resina) es el componente que forma la película continua, se adhiere al sustrato y mantiene los pigmentos y cargas en la película sólida.
- El componente volátil es el disolvente que disuelve los aglutinantes sin reacción química, se utiliza para ajustar la viscosidad de la formulación y facilitar su aplicación (Ghosh, 2006).
- Los pigmentos son partículas prácticamente insolubles en la composición de la pintura o el revestimiento. Los pigmentos se utilizan decorativamente como colorantes o funcionalmente como pigmentos anticorrosión o magnéticos.
- Los aditivos son sustancias que se añaden en pequeñas proporciones a las composiciones de recubrimiento para modificar o mejorar las propiedades de la pintura líquida (por ejemplo, la reología) o del recubrimiento sólido (por ejemplo, propiedades ópticas como el brillo) (Bodo Müller, 1.4 Definitions, 2011).

### 2.2 Sistemas de dos componentes

La mayoría de los sistemas de recubrimiento que curan por reacciones químicas tienen dos componentes, pero solo los sistemas cuyos dos componentes de reacción deben mezclarse inmediatamente antes de la aplicación satisfacen la definición de un sistema de dos componentes. Los ejemplos más conocidos de tales sistemas son las pinturas de poliuretano de dos componentes y las pinturas epoxi de dos componentes. La mayor parte de un sistema de este tipo, que también contiene principalmente los pigmentos, se define como el componente base (o componente A). La parte más pequeña, en su mayoría sin pigmento, se llama endurecedor (o componente B). Una vez mezclados ambos componentes, el tiempo de aplicación es limitado; esta restricción de tiempo se denomina vida útil. El *pot-life* es el período

---

de tiempo durante el cual se puede aplicar el sistema mixto sin ningún problema (Bodo Müller, 1.3 Two-component systems, 2011).

### **2.3 Pinturas de poliuretano de dos componentes**

Los isocianatos son muy reactivos. A temperatura ambiente (temperatura ambiente e incluso por debajo), pueden reaccionar con compuestos asociados que contienen átomos de hidrógeno activos, como aminas (primarias y secundarias) y alcoholes. Esta propiedad se aprovecha en la formulación de sistemas de pintura en la medida en que, en particular, los polímeros que llevan grupos hidroxilo reactivos se combinan con isocianatos, que actúan como endurecedores. Debido a que la reacción de reticulación produce grupos de uretano, los sistemas se denominan pinturas de poliuretano de dos componentes.

La reacción de isocianatos con resinas que contienen grupos hidroxilo transcurre suficientemente rápido a temperatura ambiente. Además, la velocidad de reacción depende del tipo de grupo isocianato. Los isocianatos aromáticos reaccionan mucho más rápido que los alifáticos, que a su vez reaccionan más rápido que los isocianatos cicloalifáticos (Bodo Müller, 1.3 Two-component systems, 2011).

### **2.4 Pinturas epoxi de dos componentes**

Los recubrimientos a base de resinas epoxi se caracterizan por su dureza, resistencia a la abrasión, resistencia química y excelente adherencia. Una aplicación de los recubrimientos epoxi de dos componentes es la protección contra la corrosión. Una desventaja puede ser su resistencia a la intemperie reducida causada por la estructura aromática de las resinas de bisfenol A. La pintura discutida en este proyecto consta de un componente base (componente A: resina epoxi, pigmentos, aditivos, solventes) y un endurecedor (componente B: poliaminas o derivados de poliaminas) que se mezclan justo antes de la aplicación. Las pinturas epoxi de dos componentes curan por poliadición a temperatura ambiente.

---

### **2.4.1 Componente base: resinas epoxi**

Las resinas epoxi más importantes se basan en bisfenol A que se sintetiza a partir de 2 moles de fenol y 1 mol de acetona.

A diferencia del bisfenol A, el bisfenol F es una mezcla de isómeros (a veces también con oligómeros-resinas de novolaca-). Esto tiene la ventaja de que las resinas epoxi a base de bisfenol F tienen una viscosidad más baja y una menor tendencia a cristalizar que las a base de bisfenol A.

### **2.4.2 Endurecedores: poliaminas y derivados**

Como es común en los sistemas de dos componentes, el endurecedor aminofuncional y el componente base (resina epoxi) se mezclan justo antes de la aplicación. El curado (reticulación) de los recubrimientos epoxi de dos componentes tiene lugar mediante una reacción de adición entre el endurecedor aminofuncional y los grupos oxirano de las resinas epoxi.

Durante la reacción de curado, la temperatura de transición vítrea del recubrimiento,  $T_g$ , aumenta rápidamente; la adición de un solvente, el cual actúa como plastificante, disminuye la  $T_g$  lo cual puede verse unos minutos después de la mezcla.

#### **2.4.2.1 Poliaminoamidas**

Debido a su mayor masa molar, las poliaminoamidas reaccionan más lentamente que las poliaminas. Producen recubrimientos más hidrofóbicos debido a sus partes estructurales de ácidos grasos. Por esta razón, las poliaminoamidas se usan comúnmente en recubrimientos anticorrosivos.

#### **2.4.2.2 Aductos de poliamina**

La reacción entre poliaminas (en exceso) y resinas epoxi produce aductos de resina epoxi de poliamina (aductos de poliamina). Los aductos de resina epoxi de poliamina son menos reactivos que las poliaminas debido a su mayor masa molar (Bodo Müller, 1.3 Two-component systems, 2011).

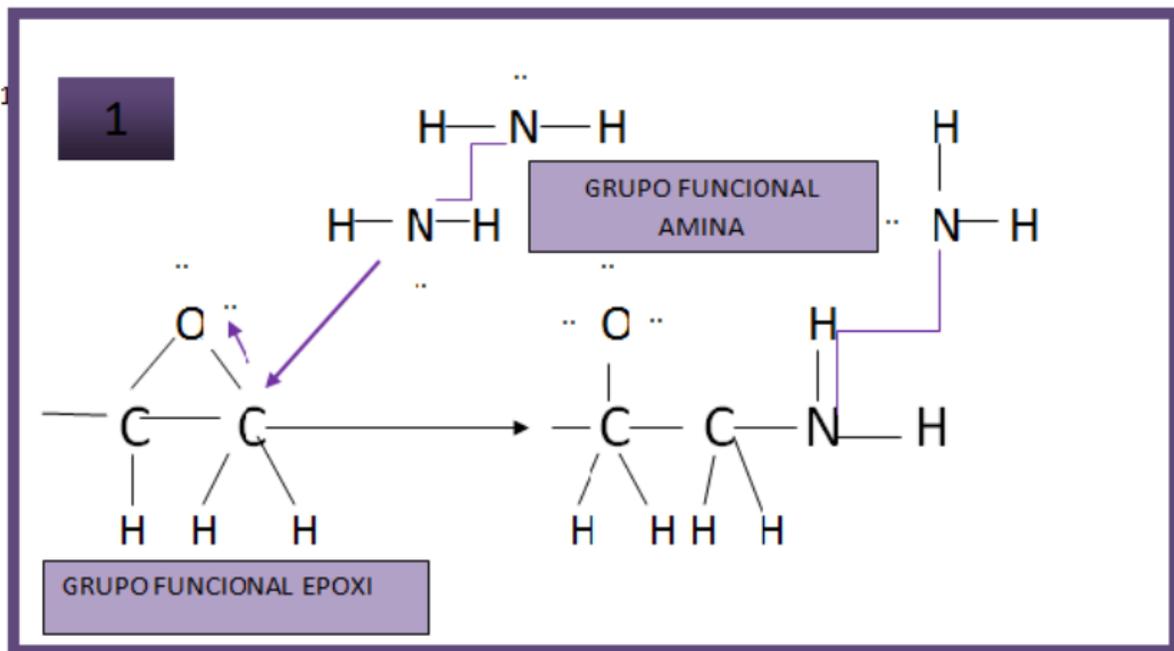
## 2.5 Mecanismos de reacción del grupo epoxi con las aminas y amidas

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.

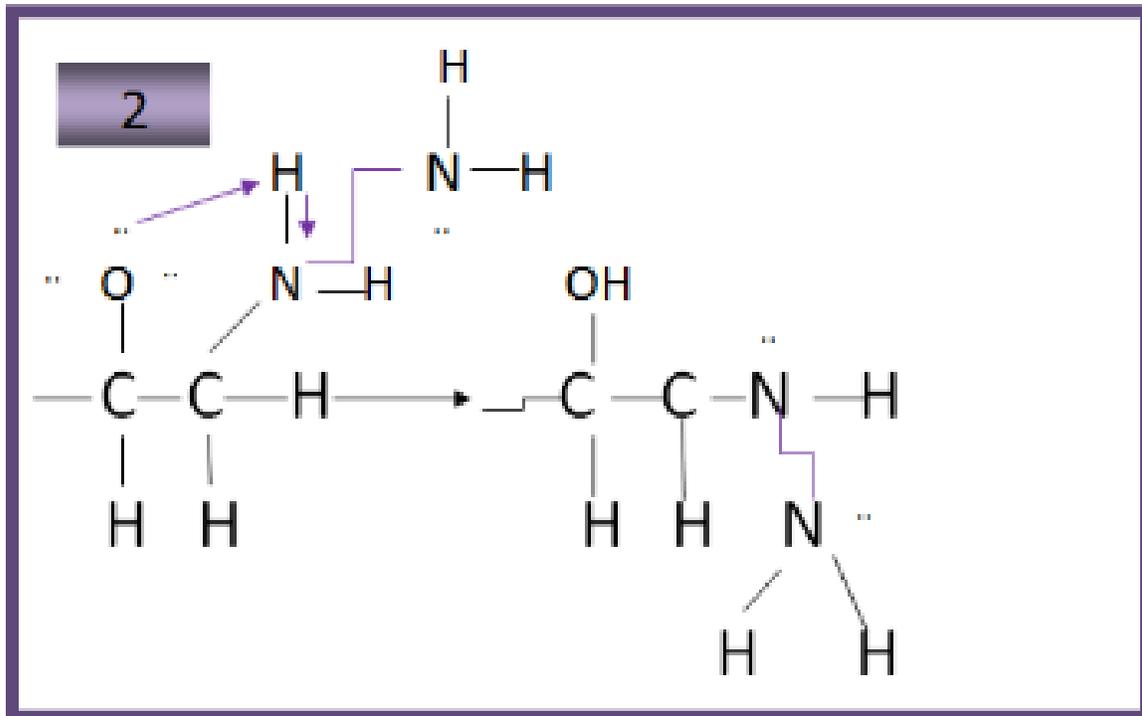
**Figura 1**

*Mecanismo de reacción entre el grupo amino y grupo epoxi*



*Nota.* Fuente <https://steemit.com/stem-espanol/@harlyntvaq/mecanismo-de-reaccion-quimico-de-las-resinas-epoxicas-curadas-con-grupos-funcionales-de-aminas>.

- 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.

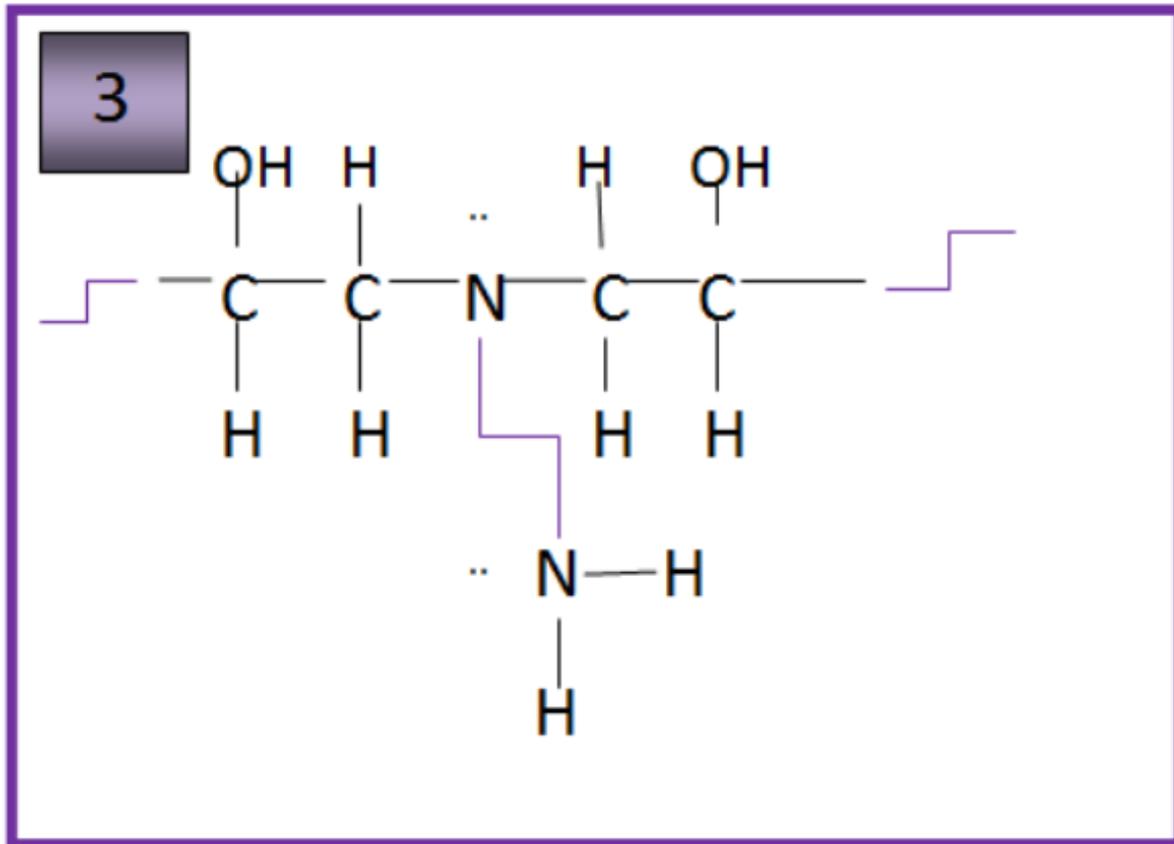
**Figura 2***Mecanismo de reacción entre el grupo amino y grupo epoxi*

*Nota.* Fuente <https://steemit.com/stem-espanol/@harlyntvaq/mecanismo-de-reaccion-quimico-de-las-resinas-epoxicas-curadas-con-grupos-funcionales-de-aminas>.

- 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.

**Figura 3**

*Mecanismo de reacción entre el grupo amino y grupo epoxi*



*Nota.* Fuente <https://steemit.com/stem-espanol/@harlyntvaq/mecanismo-de-reaccion-quimico-de-las-resinas-epoxicas-curadas-con-grupos-funcionales-de-aminas>.

---

### 3 Metodología

La siguiente metodología se implementó para evaluar los tiempos de secado de los imprimantes epóxicos y la variación de color de los imprimantes epóxicos blancos con el fin de caracterizar los productos definidos del área de PMC.

#### 3.1 Evaluación de los tiempos de secado de los imprimantes epóxicos

A los imprimantes del área de Recubrimientos y Protección Marinos, se le midieron los tiempos de secado al tacto, libre de tactosidad, secado al manejo y secado final haciendo uso del equipo *Dry Test* del laboratorio, para ellos se usó un aplicador de 38  $\mu\text{m}$  y en algunos casos de 78  $\mu\text{m}$  para el espesor de película. Se registraron los datos y se hizo un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

#### 3.2 Fabricación de la base blanca de recubrimiento epóxico con curado de amina aromática MXDA y poliamida.

Para poder realizar las comparaciones de todos los imprimantes blancos, fue necesario la elaboración de la base del producto 4; no fue necesario la producción del endurecedor (componente B) puesto que estaba en el inventario del laboratorio. El procedimiento de fabricación se describe a continuación:

En la planta piloto del laboratorio, se pesaron las cantidades necesarias de cada componente para preparar 1 kilogramo de mezcla. En un recipiente de  $\frac{1}{2}$  galón se agregó cada materia prima con agitación constante a 600 rpm, se agitó constantemente hasta alcanzar una temperatura entre el rango de 62°C y 65°C y de esta manera se activará el aditivo del comportamiento reológico, después de alcanzar dicha temperatura se mantuvo la agitación por 30 minutos a 900 rpm. Para garantizar el tamaño de partícula requerido entre el rango de 60-70  $\mu\text{m}$ , 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 cercanos al 90%. Una vez terminado el

procedimiento anterior se midieron las propiedades de la base: porcentaje de sólidos, viscosidad, molienda y densidad a una temperatura de 23°C, como se ejemplifica en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Composición de la base blanca epóxica del problema de referencia*

<b>Componente</b>	<b>Función</b>	<b>%(w/w)</b>
Resina Epóxica 1	Resina	21,0%
Resina Epóxica 2	Resina	6,2%
Resina Epóxica 3	Resina	4,0%
Resina Epóxica 4	Resina	3,3%
Xileno	Solvente	4,6%
Isobutanol	Solvente	2,6%
Pigmentos	Pigmento	15,5%
Aditivos totales	Aditivo	42,8%

### **3.2 Fabricación del endurecedor a base de poliamida**

Para determinar el efecto del cardanol y el nonilfenol, se tomaron dos bases epóxicas blancas del producto 1, una contenía nonilfenol y la otra cardanol en sus fórmulas del componente A, se les agregó un endurecedor (componente B) a base de fenalcamina y otro era una poliamida, por lo cual fue necesario fabricar este último. Se conformaron los siguientes combinaciones para realizar las pruebas de exposición a 40°C, 60°C, luz natural del sol y cámara UVB durante 24 horas y 72 horas:

Base con cardanol + endurecedor con fenalcamina

Base con nonilfenol + endurecedor con fenalcamina

Base con cardanol + endurecedor con poliamida

Base con nonilfenol + endurecedor con poliamida

En la mesa del laboratorio, se pesaron las cantidades necesarias de cada componente para preparar 1 kilogramo de endurecedor. En un recipiente de ½ galón se agregó cada materia prima y se homogenizó con agitación constante por 30 minutos, se le midió el porcentaje de sólidos y luego se dejó reposar la mezcla por tres días asegurando una temperatura mínima de 20 °C. En la tabla se muestra una composición típica de un endurecedor a base de poliamida.

**Tabla 2**

*Composición del endurecedor a base de poliamida*

Componente	Función	%(w/w)
Xileno	Solvente	18,14%
Isobutanol	Solvente	14,39%
Benzyl alcohol	Solvente	6,2%
Resina poliamida	Resina	37,2%
Aditivos	Aditivos	24,07%

### 3.3 Preparación de muestras de imprimantes epóxicos blancos sin entonar

Se tomaron 7 productos imprimantes blancos, los productos 1 al 6 eran de dos componentes, el componente A correspondía a la base y el componente B al endurecedor, el producto 4 se refiere al fabricado cuyo proceso se mencionó anteriormente, el producto 7 corresponde a un alquídico de un solo componente. Se prepararon 4 muestras de cada producto y en el caso de los de dos componentes, se hicieron con la relación de mezcla según la especificación de la ficha técnica, la primera muestra se usó para aplicar sobre cartas de contraste (leneta) que se expusieron en el horno a 40°C, las segundas muestras se aplicaron sobre cartas de contraste que fueron sometidas al horno de 60°C, las terceras muestras se aplicaron sobre cartas de contraste que fueron expuestas a la luz natural del sol y las últimas muestras se aplicaron sobre láminas, las cuales fueron llevadas a la cámara UVA. Cada aplicación sobre cartas de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils, dejándose curar completamente para ser sometidas a los ambientes mencionados. Se guardó el estándar de cada muestra en el *datacolor*. Equipo con el cual se mide el cambio de color en el espacio *cielab* (coordenadas de color) antes de ser expuestas a cada ambiente y al cabo de 24

horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida. En la tabla 3, se muestran las tecnologías de cada producto y los sólidos en volumen:

**Tabla 3**

*Tecnología de la base y del endurecedor*

<b>Rótulo</b>	<b>Tecnología componente A</b>	<b>Tecnología componente B</b>	<b>Porcentaje de sólidos en volumen</b>
Producto 1	Resina bisfenol A	Fenalcamina	80 ± 2%
Producto 2	Resina bisfenol A	Amina aromática	85 ± 2%
Producto 3	Resina epóxica bisfenol A	Poliamida alifática	72 ± 2%
Producto 4	Bisfenol A	Amina aromática MXDA y poliamina	85 ± 2%
Producto 5	Resina bisfenol A	Poliamida alifática	65 ± 2%
Producto 6	Resina bisfenol A	Amina cicloalifática DMDC	100%
Producto 7	Resina alquídica	No aplica, es de un solo componente	46 ± 2%

### 3.4 Preparación de muestras de imprimantes epóxicos blancos entonados

Se tomaron los mismos 7 productos anteriores. Se prepararon 4 muestras de cada producto entonándolos con tinta blanca, la cual contenía en su mayoría dióxido de titanio. En el caso de los productos de dos componentes, la relación de mezcla se hizo según la especificación de la ficha técnica, la primera muestra se usó para aplicar cartas de contraste que se expusieron en el horno a 40°C, las segundas muestras se aplicaron sobre cartas de contraste que fueron sometidas al horno de 60°C, las terceras muestras se aplicaron sobre cartas de contraste que fueron expuestas a la luz natural del sol y las últimas muestras se aplicaron sobre láminas, las cuales fueron llevadas a la

---

cámara UVA. Cada aplicación sobre carta de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils, dejándose curar completamente para ser sometidas a los ambientes mencionados. Se guardó el estándar de cada muestra en el *datacolor* antes de ser sometidas a cada ambiente al cabo de 24 horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida.

### **3.5 Preparación de muestras de imprimante epóxico con nonilfenol y fenalcamina**

Del inventario del laboratorio, se tomó una muestra del producto 1, cuya base contenía nonilfenol en su fórmula, se mezcló con el endurecedor normalmente usado para dicho producto a base de fenalcamina, esta mezcla fue llamada “Base con nonilfenol + endurecedor con fenalcamina” y se usó para aplicar tres cartas de contraste, una para ponerla al horno de 40°C, otra al horno de 60°C y la restante a la luz solar, también se aplicó una lámina que fue llevada a la cámara UVA. Cada carta de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils y se dejaron curar a temperatura ambiente. Se guardó el estándar de cada muestra en el *datacolor* antes de ser sometidas a cada ambiente al cabo de 24 horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida.

### **3.6 Preparación de muestras de imprimante epóxico con cardanol y fenalcamina**

Del inventario del laboratorio, se tomó una muestra del producto 1, cuya base contenía cardanol en su fórmula, se mezcló con el endurecedor normalmente usado para dicho producto a base de fenalcamina esta mezcla fue llamada “Base con cardanol+ endurecedor con poliamida” y se usó para aplicar tres cartas de contraste, una para ponerla al horno de 40°C, otra al horno de 60°C y la restante a la luz solar, también se aplicó una lámina que fue llevada a la cámara UVA. Cada carta de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils, se dejaron curar a temperatura ambiente. Se guardó el estándar de cada muestra en el *datacolor* antes de ser sometidas a cada ambiente al cabo de 24 horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar

---

inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida.

### **3.7 Preparación de muestras de imprimante epóxico con nonilfenol y poliamida**

Del inventario del laboratorio, se tomó una muestra del producto 1, usado en las pruebas anteriores y cuya base contenía nonilfenol en su fórmula, se mezcló con el endurecedor fabricado anteriormente a base de poliamida esta mezcla fue llamada “Base con nonilfenol + endurecedor con poliamida” y se usó para aplicar tres cartas de contraste, una para ponerla al horno de 40°C, otra al horno de 60°C y la restante a la luz solar, también se aplicó una lámina que fue llevada a la cámara UVA. Cada carta de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils, se dejaron curar. Se guardó el estándar de cada muestra en el datacolor antes de ser sometidas a cada ambiente al cabo de 24 horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida.

### **3.8 Preparación de muestras de imprimante epóxico con cardanol y poliamida**

Del inventario del laboratorio, se tomó una muestra del producto 1, cuya base contenía cardanol en su fórmula, se mezcló con el endurecedor fabricado anteriormente a base de poliamida esta mezcla fue llamada “Base con cardanol+ endurecedor con poliamida” y se usó para aplicar tres cartas de contraste, una para ponerla al horno de 40°C, otra al horno de 60°C y la restante a la luz solar, también se aplicó una lámina que fue llevada a la cámara UVA. Cada carta de contraste y lámina tenía un espesor de película de 10 mils, se dejaron curar. Se guardó el estándar de cada muestra en el datacolor antes de ser sometidas a cada ambiente al cabo de 24 horas y 72 horas se leyó la variación de color, comparando el estándar inicial contra el lote de cada carta de contraste y lámina, se registraron las coordenadas de cada medida.

A continuación, en la tabla 4 se detallan los sistemas de mezclas usados para poder ver el efecto del cardanol y el nonilfenol, en el componente A (base del producto 1) y la fenalcamina y poliamida en el componente B (endurecedor de producto 1) sobre el color del producto 1 después de estar expuestos a 24 y 72 horas en los ambientes mencionados previamente.

**Tabla 4***Composición de los sistemas usados en el producto 1*

<b>Sistema</b>	<b>Composición del componente A</b>	<b>Tecnología componente B</b>
<b>Sistema 1</b>	Base del producto 1 (contiene nonilfenol)	Fenalcamina
<b>Sistema 2</b>	Base del producto 1 (contiene cardanol)	Fenalcamina
<b>Sistema 3</b>	Base del producto 1 (contiene nonilfenol)	Poliamida
<b>Sistema 4</b>	Base del producto 1 (contiene cardanol)	Poliamida

## 4 Resultados

Los datos obtenidos se presentan conforme a la metodología planteada.

### 4.1 Resultados de la evaluación de los tiempos de secado de los imprimantes epóxicos

A continuación en la Tabla 5 se muestran los tiempos de secado de los productos epóxicos utilizados, los datos fueron leídos en el equipo *dry test*.

**Tabla 5**

*Tiempo de secado de los productos epóxicos*

Producto	Aplicador	Secado al tacto	Libre de tactosidad	Secado al manejo	Secado final	Contenido de sólidos	Tecnología componente A (base)	Tecnología componente B (endurecedor)
Producto 1	38 $\mu\text{m}$	60 min	75 min	120 min	150 min	80 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	Fenalcamina
Producto 2	38 $\mu\text{m}$	60 min	100 min	140 min	180 min	85 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	Amina aromática
Producto 3	38 $\mu\text{m}$	60 min	120 min	140 min	360 min	72 $\pm$ 2%	Resina epóxica bisfenol A	Poliamida alifática
Producto 4	38 $\mu\text{m}$	30 min	120 min	180 min	225 min	85 $\pm$ 2%	Bisfenol A	Amina aromática MXDA y poliamida
Producto 5	38 $\mu\text{m}$	15 min	90 min	150 min	210 min	65 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	Poliamida alifática
Producto 6	76 $\mu\text{m}$	90 min	240 min	330 min	510 min	100%	Resina bisfenol A	Amina cicloalifática DMDC
Producto 7	76 $\mu\text{m}$	2.5 min	3 min	3.35 min	4 min	46 $\pm$ 2%	Resina alquídica	No aplica, es de un solo componente
Producto 8	38 $\mu\text{m}$	60 min	110 min	150 min	350 min	80 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	aducto de poliamida alquilada
Producto 9	38 $\mu\text{m}$	60 min	80 min	120 min	180 min	64 $\pm$ 2%	Resina epóxica bisfenol A	poliamida

<b>Producto 10</b>	76 $\mu\text{m}$	30 min	50 min	70 min	110 min	57 $\pm$ 2%	Resina polibisfenol A	poliamida
<b>Producto 11</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	35 min	70 min	80 min	85 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	Poliamida
<b>Producto 12</b>	38 $\mu\text{m}$	10 min	20 min	40 min	720 min	65 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	Fenalcamina
<b>Producto 13</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	35 min	70 min	660 min	68 $\pm$ 2%	Resina polibisfenol A	Amina aromática MXDA
<b>Producto 14</b>	38 $\mu\text{m}$	10 min	55 min	255 min	305 min	80 $\pm$ 2%	Resina bisfenol A	poliamida
<b>Producto 15</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	60 min	225 min	255 min	70 $\pm$ 2%	Bisfenol A	poliamida
<b>Producto 16</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	125 min	465 min	495 min	100%	Bisfenol A	Amina alifática
<b>Producto 17</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	435 min	525 min	600 min	100%	Bisfenol F	Amina cicloalifática DMDC
<b>Producto 18</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	90 min	120 min	185 min	78 $\pm$ 2%	Bisfenol A	Amina aromática MXDA
<b>Producto 19</b>	76 $\mu\text{m}$	5 min	490 min	585 min	720 min	100%	Resina bisfenol F	Amina cíclica
<b>Producto 20</b>	38 $\mu\text{m}$	10 min	100 min	420 min	495 min	100%	Resina bisfenol F	Amina cicloalifática DMDC
<b>Producto 21</b>	38 $\mu\text{m}$	5 min	140 min	240 min	330 min	100%	Resina bisfenol F	Amina cicloalifática DMDC

#### 4.2 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes epóxicos blancos sin entonar

A continuación, en la Tabla 6 se detallan los cambios de color de los productos epóxicos sin agregar tinta blanca, estos cambios fueron leídos en el equipo *datacolor* manejando el espacio *scielab* con respecto al estándar inicial

**Tabla 6***Variación de color productos epóxicos blancos sin entonar*

Condición	Producto	24 horas			72 horas		
		DE cmc	DL	Db	DE cmc	DL	Db
<b>Horno 40°C</b>	Producto 1	1.24	0.07	1.11	1.46	-0.06	1.31
	Producto 2	1.47	-0.45	1.3	1.8	-0.66	1.64
	Producto 3	0.24	-0.15	0.17	0.37	-0.41	0.01
	Producto 4	0.22	-0.22	0.11	0.23	-0.17	0.13
	Producto 5	0.23	-0.05	0.18	0.47	-0.26	0.2
	Producto 6	0.76	0.13	0.52	0.7	0.02	0.47
	Producto 7	0.42	-0.19	0.36	0.68	-0.43	0.52
<b>Horno 60°C</b>	Producto 1	2.41	2.1	2.1	3.1	-0.99	2.7
	Producto 2	2.41	-0.91	2.27	2.93	-1.01	3.0
	Producto 3	0.77	-0.37	0.6	1.13	0.88	0.88
	Producto 4	0.51	-0.09	0.37	0.38	0.09	0.27
	Producto 5	1.15	-0.04	0.93	1.49	-0.15	1.17
	Producto 6	1.11	0.04	0.75	1.96	0.1	1.31
	Producto 7	1.03	-0.32	0.89	2.61	-0.69	2.29
<b>UVA</b>	Producto 1	19.2	-5.8	18.29	18.48	-6.65	16.36
	Producto 2	13.79	-3.42	15.44	10.32	-4.18	10.64
	Producto 3	15.96	-3.94	12.94	18.4	-4.41	14.6
	Producto 4	22.32	-3.06	16.34	23.17	-4.16	16.96
	Producto 5	12.79	-1.82	10.32	13.44	-1.68	10.9
	Producto 6	41.18	-7.47	28.67	39.41	-8.19	27.37
	Producto 7	6.43	-1.09	5.26	7.26	-1.35	6.01
<b>Luz solar natural</b>	Producto 1	5.72	-2.31	5.19	5.12	-2.42	4.54
	Producto 2	2.59	-1.1	2.89	2.72	-1.22	2.97
	Producto 3	1.97	-0.63	1.57	2.29	-0.67	1.83
	Producto 4	1.72	-0.04	1.25	2.06	-0.27	1.51
	Producto 5	0.74	-0.36	0.57	0.97	-0.43	0.76
	Producto 6	9.45	-1.33	6.52	11.81	-1.7	8.16

---

---

Producto 7	0.46	-0.59	0.04	0.71	-0.75	0.41
------------	------	-------	------	------	-------	------

---

---

#### **4.3 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes epóxicos blancos entonados**

La información mostrada en la Tabla 7 detalla los cambios de color de los epóxicos blancos al agregarles tinta blanca, se tienen los registros a las 24 y 72 horas

**Tabla 7***Variación de color productos epóxicos blancos al ser entonados con tinta blanca*

Condición	Producto	24 horas			72 horas		
		DE cmc	DL	DB	DE cmc	DL	
<b>Horno 40°C</b>	Producto 1	0.76	-0.03	0.66	1.37	0.09	1.19
	Producto 2	0.51	-0.1	0.48	0.47	-0.09	0.43
	Producto 3	0.37	0.05	0.27	0.45	-0.04	0.34
	Producto 4	0.31	-0.15	0.2	0.42	-0.17	0.28
	Producto 5	0.42	-0.01	0.32	0.65	-0.1	0.48
	Producto 6	1.01	0.2	0.67	0.35	-0.02	0.23
	Producto 7	0.33	-0.38	0.15	0.42	-0.39	0.26
<b>Horno 60°C</b>	Producto 1	2.33	-0.31	2.03	3.31	-0.21	2.89
	Producto 2	1.28	-0.41	1.17	1.6	-0.48	1.56
	Producto 3	0.78	-0.17	0.6	1.08	-0.22	0.86
	Producto 4	0.65	-0.15	0.45	0.76	-0.22	0.52
	Producto 5	1.11	-0.22	-0.35	1.59	-0.2	1.21
	Producto 6	0.47	-0.07	0.31	0.74	-0.08	0.49
	Producto 7	1.03	-0.36	0.81	1.77	-0.59	1.4
<b>UVA</b>	Producto 1	11.75	-2.31	10.18	9.47	-2.3	8.18
	Producto 2	13.63	-3.49	15.32	12.33	-4.31	13.47
	Producto 3	15.75	-2.54	12.47	17.17	-3.68	13.57
	Producto 4	19.09	-2.86	13.61	18.46	-3.52	13.18
	Producto 5	9.7	-1.35	7.61	10.78	-1.92	8.5
	Producto 6	43.31	-6.98	29.23	44.81	-8.76	30.13
	Producto 7	3.91	-1.05	3.13	5.52	-1.34	4.45
<b>Luz solar natural</b>	Producto 1	2.01	-0.73	1.7	2.27	-1.05	1.88
	Producto 2	2.53	-0.72	2.84	1.95	-0.83	2.1
	Producto 3	1.71	-0.31	1.35	1.79	-0.54	1.4
	Producto 4	1.4	-0.31	0.99	1.74	-0.45	1.23
	Producto 5	0.69	-0.26	0.53	0.95	-0.84	0.6
	Producto 6	6.51	-0.68	4.39	6.23	-0.64	4.22
	Producto 7	0.66	-0.65	0.16	0.52	-0.59	-0.16

#### 4.4 Resultados de la variación de color de las muestras de imprimantes con nonilfenol, fenalcamina, fenalcamina y poliamida

Las combinaciones de la base del imprimante epóxico denominado como producto 1 y los endurecedores a base de poliamida y fenalcamina se muestran en la Tabla 8, después de ser expuestos a 40°C, 60°C, cámara UVA y luz directa del sol

**Tabla 8**

*Variación de color del producto epóxico 1, al ser curado con un endurecedor a base de fenalcamina y endurecedor a base de poliamida*

Condición	Sistema	24 horas				72 horas			
		DE cmc	DL	DA	DB	DE cmc	DL	DA	DB
<b>Horno 40°C</b>	Sistema 1	0.77	-0.19	0.09	0.69	1.51	-0.33	0.14	1.37
	Sistema 2	1.09	-0.67	-0.01	0.97	1.36	-1	0.1	1.15
	Sistema 3	1.53	0.81	-0.04	-1.29	1.15	0.67	-0.19	-0.92
	Sistema 4	0.58	-0.5	0.31	0.21	0.82	-0.75	0.33	0.43
<b>Horno 60°C</b>	Sistema 1	2.48	-0.9	0.02	2.22	2.99	-1.18	0.37	2.62
	Sistema 2	2.76	-0.126	0.26	2.58	3.62	-1.72	0.39	3.37
	Sistema 3	0.93	0.55	-0.17	-0.73	0.48	0.42	-0.22	-0.21
	Sistema 4	1.19	-0.46	0.13	1.02	2.23	-0.54	-0.08	1.96
<b>UVA</b>	Sistema 1	18.91	-5.07	0.31	17.24	17.13	-5.68	0.75	15.45
	Sistema 2	18.95	-5.45	0.15	18.43	16.01	-5.38	0.48	15.45
	Sistema 3	14.57	-2.53	-0.94	13.21	13.74	-3.25	-0.26	12.4
	Sistema 4	17.4	-3.08	-1.28	15.39	15.28	-3.15	-1.02	13.48
<b>Luz natural solar</b>	Sistema 1	3.59	-2	0.2	3.05	5.87	-2.76	0.22	5.13
	Sistema 2	7.93	-8.46	2.18	4.65	8.76	-8.53	2.22	5.92
	Sistema 3	0.25	-0.15	0.09	-0.18	1.19	-0.3	0.05	1.07
	Sistema 4	5.27	-4.17	1.69	3.53	5.8	-4.08	1.17	4.38

---

## 5 Análisis

De los resultados obtenidos de las pruebas de secado para cada ensayo se puede evidenciar que el secado no está ligado específicamente a la tecnología del endurecedor o la base, pues hay productos que comparten la misma resina y endurecedores pero no se asemejan en los tiempos de secado, demostrando que los tiempos de secado están relacionados con la formulación del producto, algunos de ellos presentan aditivos que ayudan a reducir los tiempos de secado y curado final.

En las pruebas de variación de color, se tienen las siguientes observaciones:

Producto 1: hecho a base de resina bisfenol A y con un endurecedor a base de fenalcamina, se percibe que el aumento de la temperatura genera un cambio de color, dándose un amarilleamiento. La luz natural del sol también afecta el color, además de presentar amarilleamiento, se da un ensuciamiento (oscurecimiento) que aumenta con el tiempo de exposición. El cambio más drástico se da al someter el producto a la cámara UVA, el color se desestabiliza, se da un amarilleamiento, pero con el paso del tiempo el color se mueve en la coordenada L, mostrando una tendencia a ensuciarse. El efecto de agregar tinta blanca ayuda a disminuir un poco a la variación de color al ser sometido el producto a aumentos de temperatura y exposición solar, se genera menos amarilleamiento y oscurecimiento del color, incluso en la exposición a la radiación. Estos cambios de color tan grandes del producto se atribuyen a la fenalcamina, la cual tiene un hidroxilo de fenol en su estructura química y esto genera que las fenalcaminas se oxiden con el aire y la formación de grupos cromóforos quinonoides provoca una mala estabilidad del color.

Producto 2: con resina bisfenol A en la base y endurecedor a base de amina aromática, se observa que los incrementos de temperatura modifican el color, causando amarilleamiento y ensuciamiento, estos defectos mejoran al agregar tinta blanca, sin embargo, con la exposición solar y cámara UVA la tinta blanca no ayuda a evitar el cambio de color producido por el amarilleamiento o ensuciamiento.

---

Producto 3: su base es una resina bisfenol A, se endurece con una poliamida alifática, no hay tanta variación de color, por lo cual es relativamente tolerable a los aumentos de temperatura hasta 60 grados y agregar tinta blanca no influye notoriamente en el color ante el incremento de temperatura. Cuando el producto es expuesto a la luz natural del sol, se genera un amarilleamiento y leve ensuciamiento, los cuales se ven un poco reducidos al agregar tinta blanca. La radiación UV genera una gran degradación del color, conllevando a un amarilleamiento y oscurecimiento que ni siquiera con tinta blanca se logra disminuir.

Producto 4: resina bisfenol A y curado con un aducto de poliamina, el color no se ve tan afectado por el aumento de la temperatura, presenta un delta inferior a una unidad después de las 72 horas, la tinta blanca le genera tendencia al amarilleamiento y ensuciamiento. La exposición solar y a la UVA genera amarilleamiento, el cual decrece un poco al agregar tinta blanca.

Producto 5: el incremento de temperatura genera cambio en el color, provocando una predisposición al amarilleamiento, al incorporar tinta blanca no se observa cambios de ayuda significativos contra el amarilleamiento al intensificar la temperatura, en cuanto a la exposición solar, al cabo de 72 horas no se vió afectado en mayor medida el color. La cámara UVA produce destrucción del color, suscitando amarilleamiento, el cual se ve ligeramente debilitado al agregar tinta blanca. Este producto tiene en su componente base resina bisfenol A y endurecedor una poliamida alifática.

Producto 6: un incremento de temperatura genera un pequeño cambio en el color, se genera amarilleamiento, pero al agregar tinta blanca, hay más estabilización del color puesto que el amarilleamiento disminuye. La exposición solar y principalmente la cámara UVA destruyen el color, de los productos evaluados es el que más afectado se ve con la radiación UV y esto se puede atribuir a la formulación del producto, la cual tiene un 74% de resina epóxica bisfenol A y a pesar de que está curado con aminas cicloalifáticas, caracterizadas por presentar mejor resistencia UV, la presencia de alto contenido de sólidos proveniente en su mayoría de la resina bisfenol A hacen que el producto se degrade completamente, puesto que una característica de las resinas bisfenol A es la pobre resistencia UV.

Producto 7: es el que mejor comportamiento tiene en todos los ambientes en comparación a los demás productos, esto se puede explicar porque es un producto alquídico de un solo componente, caracterizado por la resistencia al amarilleamiento debido a que contienen ácidos grasos saturados. Aumentos de temperatura generan un poco de amarilleamiento que se ve reducido al incorporarle tinta blanca, incluso en la exposición a la radiación UVA.

La tinta blanca ayuda a la disminución del amarilleamiento porque su principal composición se basa en  $\text{TiO}_2$ , caracterizado por absorber los rayos UV, esta absorción depende de la longitud de onda, la concentración y tamaño de partícula del pigmento. Existen dos tipos de  $\text{TiO}_2$ : rutilo y anatasa. El rutilo predomina principalmente porque proporciona un poder cubriente significativamente mayor que el de la anatasa, debido al índice de refracción promedio más alto del rutilo de 2,73, en comparación con el 2,55 de la anatasa y en el UV cercano el Anatasa absorbe los rayos UV, aunque no tanto como el rutilo. (Jones, 2017)

La combinación de la base de resina bisfenol A, con nonilfenol en su fórmula, y endurecedor actual, se ve afectada por el incremento en la temperatura, exposición solar y cámara UVA, en todas las condiciones expuestas se genera amarilleamiento que se ve incrementado con el tiempo de exposición, mientras que con el endurecedor de la fórmula de Europa, el amarilleamiento se reduce muy significativamente, esto se debe a que el HRD de Europa es una poliamida, la cual no tiene el hidroxilo de fenol en su estructura química como las fenalcaminas que componen el endurecedor actual, por lo que no hay una formación de grupos cromóforos.

El producto 1, que contiene cardanol en la formulación de la base combinado tanto con el endurecedor actual (fenalcamina) y el endurecedor de la fórmula de Europa (poliamida) muestra un enrojecimiento muy notorio que no se ve en la formulación con nonilfenol, esto se debe principalmente a que el cardanol proviene de la destilación del CNSL ((cashew nut shell liquid) líquido de la cáscara de la nuez de anacardo) y durante el proceso de destilación no se logra una separación 100% efectiva, por lo cual se encuentran productos secundarios como cardol y pequeñas cantidades de 2-metil cardol y ácido anacárdico. La mezcla de cardanol/cardol cambia durante el almacenamiento, tornándose rápidamente marrón, que se atribuye a la presencia de cardol y los productos resultantes de dicha mezcla también experimentan cambios indeseados

---

de color (Patente europea 2 394 553, Fenalcamina y mezclas de aminas saladas como agentes de curado para resinas epoxi).

---

## 6. Conclusiones

- Se determinó la variación de color de los imprimantes epóxicos blancos en diferentes ambientes con un espesor de 10 mils y secados con un espesor de película de 38  $\mu\text{m}$ .
- Se obtuvieron todos los tiempos de secado de los imprimantes del catálogo de PMC a temperatura ambiente.
- Se determinó la variación de color de los productos blancos epóxicos a 40°C, 60°C, cámara UVA, luz solar a 24 horas y 72 horas.
- Se compararon los productos entonados con tinta blanca con respecto a los no entonados, demostrándose la poca resistencia a la intemperie (rayos UV) de los productos epóxicos blancos en general evaluados debido a su composición epóxica bisfenol A y sus endurecedores de aminas, pero estos productos presentan una mejoría al agregarles tinta blanca, esto es de gran importancia porque uno de los productos evaluados se usa para aplicación de pisos y se están evaluando alternativas para disminuir el amarilleamiento.
- Se determinó el efecto en el color el cambio del nonilfenol por cardanol en una base epóxica, concluyéndose que debido a los procesos de destilación y la dificultad de sintetizar el cardanol en un laboratorio con un 100% de pureza, se comprueba que es un ingrediente generador de inestabilidad de color en productos epóxicos blancos ya que les concede un tono rojizo y por lo tanto se debe evitar para seguir manteniendo las propiedades del color.
- Se determinó el efecto de cambiar un endurecedor a base de fenalcamina por una poliamida, resultando la mejor combinación la base que contiene nonilfenol y el endurecedor de poliamida, ya que en todos los ambientes evaluados registró mejor comportamiento en comparación de las combinaciones con cardanol y fenalcamina, el amarilleo y enrojecimiento disminuyen notoriamente

- 
- El producto con mejor comportamiento en general fue el producto 7 porque era un producto alquídico y con antioxidantes en su fórmula, los cuales garantizaron mejor perdurabilidad del color.
  - Se realizaron diferentes pruebas para conocer más sobre el catálogo de los productos epóxicos blancos cuando son expuestos a aumentos de temperatura, radiación UVA y exposición solar a 24 y 72 horas, lo que puede ayudar a mejorar las formulaciones a futuro y de esta manera se busquen aditivos que funcionen como filtros UV para prolongar la durabilidad del color.
  - El producto 1 sin tinta blanca al ser expuesto a la luz natural del sol al cabo de 72 horas, sufre un amarilleamiento del 87.6% con respecto al tono inicial, mientras que al agregarle tinta blanca este se reduce al 48.6%.
  - De los productos sin entonar, los que menos tienden al amarilleamiento ante un incremento de temperatura son los productos 3 y 4, pues estos solo se mueven en la coordenada b en un 28,03% y 21.43% respectivamente a las 72 horas.
  - De los productos entonados, los que mejor comportamiento tienen ante un incremento de temperatura de 60° son los productos 4 y 6, los cuales muestran un DE y DB inferior a 1 al cabo de 72 horas.
  - De los productos sin entonar, el producto 7 es el que más sobresale sobre los evaluados en la cámara UVA, pues es el que menor amarilleamiento y variación de color tiene después de 72 horas. Del lado opuesto, el producto 6, es el que valores más ínfimos arroja, su amarilleamiento y cambio de color es exorbitante con respecto a los otros productos.
  - De los productos mezclados con tinta blanca, el producto 7 sigue teniendo mejores resultados al ser expuesto en la cámara UVA, pues es el que menor amarilleamiento y variación de color tiene después de 72 horas. Así mismo, el producto 6 con tinta blanca mostró que es el que más sufre de degradación en su color ante la radiación UVA, este tiene

---

los valores del cambio de color y coordenada b más extremos con respecto a los otros productos.

- Ante la exposición natural del sol, el producto 7 es el de mejor desempeño ya que se da un amarilleo del 9.8%, un valor inferior comparado a los demás productos que dan cambios superiores al 30% y al incorporarle tinta blanca, se mejora aún la retención del color, puesto que el amarilleo es del 5.4%, el valor más mínimo de los productos entonados. En ambos casos, la variación de color sigue siendo un DE inferior a 1.

---

## Referencias

- Bodo Müller, U. P. (2011). 1.3 Two-component systems. En U. P. Bodo Müller, *Coatings Formulation: An international textbook* (pág. 98). Hanover, Germany: Vincentz Network.
- Bodo Müller, U. P. (2011). 1.4 Definitions. En U. P. Bodo Müller, *Coatings Formulation: An international textbook* (pág. 20). Hanover, Germany: Vincentz Network.
- Ghosh, S. K. (2006). Functional Coatings and Microencapsulation:. En S. K. Ghosh, *Functional Coatings: by Polymer Microencapsulation* (pág. 1). Belgien: Wiley-VCH.
- Jones, F. N. (2017). Organic Coatings: Science and Technology. En F. N. Jones, *20.11 Titanium Dioxide* (págs. 293-294). Michigan: John Wiley & Sons, Inc.
- SATO, S., SHAH, S. C., BUENO, R. C., & MOON, R. M. (01 de 02 de 2013). *Alemania Patente n° 2 394 553*.