



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**MEJORA EN LA EVALUACIÓN DE PROPIEDADES Y AJUSTES DE  
ESPECIFICACIONES FINALES DE APROBACIÓN DE PRODUCTOS DE  
RECUBRIMIENTOS PROTECTIVOS, MARINOS Y DE REPINTADO EN  
CONTROL CALIDAD DESDE I+D**

**Autor**

**Jorge Hugo Restrepo Holguín**

**Universidad de Antioquia**

**Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química**

**Medellín, Colombia**

**2020**



Mejora en la evaluación de propiedades y ajustes de especificaciones finales de aprobación de productos de recubrimientos protectivos, marinos y de repintado en Control Calidad desde I+D.

Jorge Hugo Restrepo Holguín

Informe de práctica  
como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Químico

Asesores.

Diego Pérez Mesa – Ing. Químico  
Aída Luz Villa Holguín – PhD, MsC, Ing. Química

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química.  
Medellín, Colombia  
2020

# **Mejora en la evaluación de propiedades y ajustes de especificaciones finales de aprobación de productos de recubrimientos protectivos, marinos y de repintado en Control Calidad desde I+D**

## **Resumen**

El área de I+D de PPG industries Colombia Ltda, identificó que existían retrasos en la fabricación de lotes industriales de productos protectivos y marinos, debido a la demora en los chequeos realizados por parte del área de control calidad. En la pasantía realizada en la empresa se lograron identificar los productos con más incidencia y los chequeos de propiedades que consumían más tiempo. Posteriormente, se realizaron mediciones que permitieron identificar un comportamiento de los productos y chequeos, para realizar ensayos con los cuales se lograron realizar acciones correctivas como la redefinición de los límites de los rangos para las propiedades que más desviaciones presentaban y estandarizar chequeos de propiedades que no se tenían implementados de manera objetiva. Se logró reducir el tiempo de chequeo de una propiedad de esfuerzos para bases tinturables pasando de 4-5 a 1.5 horas. Además, se realizaron dos programas en Excel que permiten realizar cálculos de ajuste a productos con desviaciones en propiedades específicas, para disminuir el tiempo de los reprocesos, suprimiendo algunos ensayos de ajuste a pequeña escala que consumen cantidades significativas de tiempo.

## **1. Introducción**

La empresa PPG industries Colombia Ltda es una empresa dedicada a la fabricación de pinturas, barnices y recubrimientos especiales para diferentes sectores industriales. Está conformada por cinco unidades de negocio, divididas en Industria & Motos, Packaging, OEM (pintura original de ensambladora de coches), PMC (recubrimientos protectivos y marinos) y Refinish (pintura para repintado automotriz).

En el proceso de fabricación de productos de las unidades de negocio PMC y repintado, varios de ellos generan “cuellos de botella” en el proceso productivo, debido a los ajustes a los lotes que debe hacer control calidad y división técnica, ocasionando pérdidas considerables de tiempo tanto en planta como en el laboratorio. Actualmente la empresa realiza los chequeos de control de calidad en el laboratorio, a muestras extraídas de lotes terminados de producto, con el fin de evaluar si es apto para ser envasado o si es necesario que se le realice algún tipo de ajuste para que cumpla las especificaciones requeridas. Estos análisis se realizan siguiendo instructivos específicos para cada una de las pruebas, que se rigen por estándares globales de la compañía. Algunos de los análisis más frecuentes son:

porcentaje en peso de sólidos, densidad, viscosidad, molienda, resistencia al chorreo, secado al tacto y esfuerzo de tinturación para algunos de los productos de PMC que se obtienen como bases tinturables.

Algunos de los análisis requieren tiempos de espera entre etapas para realizarse satisfactoriamente, como es el caso de los esfuerzos de tinturación en un producto epóxico, en donde hay que esperar que la película de pintura tinturada aplicada sobre una lámina a un espesor determinado, seque completamente a temperatura ambiente para ser leída por un dispositivo electrónico. Por lo cual se busca estudiar el comportamiento de esta y plantear un método para acelerar el secado. Mediante un análisis Pareto obtenido mediante la proyección de la cantidad de productos que se van a fabricar, dividido la cantidad de productos estándar que se tienen actualmente, se pueden identificar los productos que más posibilidades tienen de entrar a ajustes por control calidad.

Se realizó un análisis desde la formulación misma de los productos de base tinturable para establecer si los problemas empiezan desde ahí, fabricándolos a escala piloto y chequeando sus propiedades. Posteriormente se implementó un programa en Excel en el cual, el analista de calidad al recibir una muestra desviada en alguna propiedad, puede ingresar los valores actuales de éstas y el programa le indica cual compuesto debe adicionar para que el producto entre en el rango de especificaciones, esto con el fin de reducir los ensayos en el laboratorio y dar una solución práctica al problema. Los datos para realizar dicho programa, se tomaron de mediciones y ensayos sobre los productos fabricados en planta piloto. Además, se realizaron chequeos a muestras de retención de algunos productos previamente identificados por la división técnica de la empresa, que presentaban desviaciones constantes en las propiedades chequeadas, esto con el fin de redefinir los rangos de aprobación para evitar entradas innecesarias a control calidad.

## **2. Objetivos**

- Objetivo general  
Disminuir el tiempo de producción de productos de recubrimientos protectivos, marinos y de repintado aumentando la capacidad en la etapa de control calidad.

- Objetivos específicos
  - Relacionar propiedades de los productos seleccionados con condiciones de proceso.
  - Implementar mejoras en los métodos de chequeo de las propiedades analizadas en los productos seleccionados.
  - Disminuir los reprocesos y desviaciones respecto a las referencias establecidas.

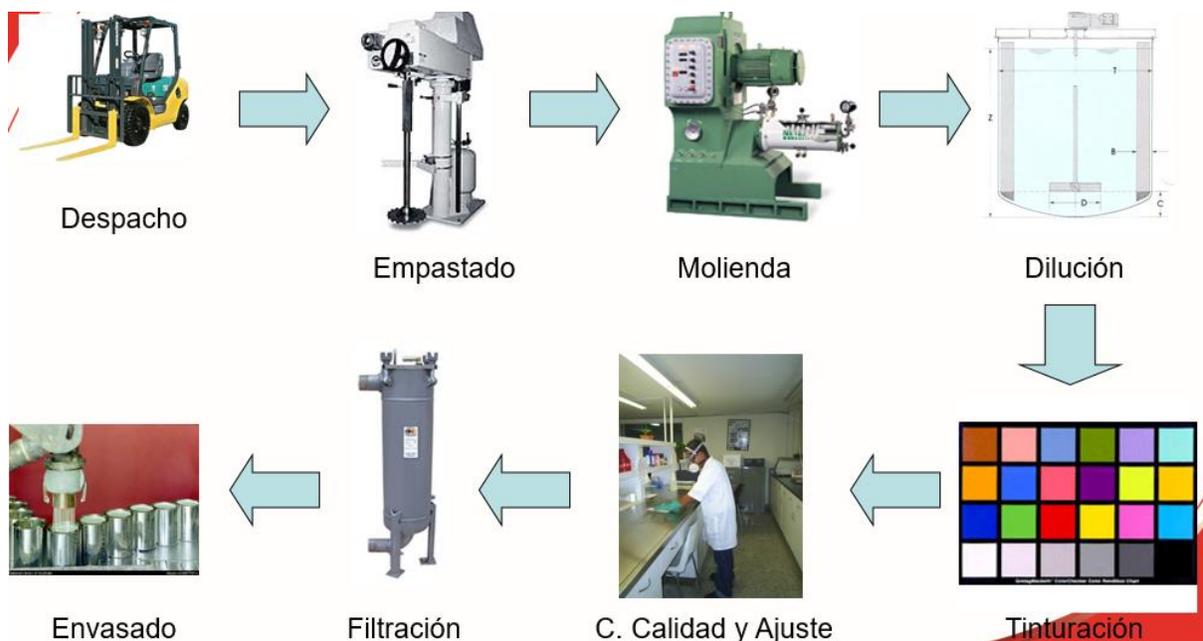
### **3. Marco teórico**

Las pinturas pueden ser definidas como productos líquidos o sólidos, que, al ser aplicados mediante diversos métodos sobre superficies, forman películas que les brindan protección y apariencia. Éstas pueden ser calificadas según su empleo, por ejemplo: arquitectónicas, industriales y especiales. Los componentes principales de la pintura son los pigmentos, resinas, aditivos y solventes. Donde unos brindan la parte sólida de la película aplicada y al secarse la parte volátil, son los que quedan en la superficie y brindan el poder protector y el embellecimiento sobre la superficie recubierta.

El proceso de producción de las pinturas (ver Figura 1) posterior a su formulación, inicia desde el despacho de las materias primas hacia un área de la planta que se encarga de realizar la primera etapa del proceso, conocida como empastado; en la cual se adicionan las materias primas en el orden establecido en la fórmula, en un tanque de mezclado con agitación constante. En esta etapa se humectan los materiales sólidos en el medio líquido.

Luego del empastado, se lleva el producto a una etapa de molienda o dispersión, en la cual se busca que el tamaño de partículas sea el requerido por especificaciones. El proceso continúa con una etapa de dilución en la cual se agregan los materiales más sensibles a la temperatura. Se realiza bajo agitación constante y preferiblemente con turbulencia, para lograr una mejor incorporación de las materias primas.

La etapa final del proceso de fabricación, previo al filtrado y envasado del producto terminado, es la tinturación; en la cual se ajusta el color final deseado por el cliente<sup>1</sup>.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de proceso general para la fabricación de pinturas líquidas<sup>1</sup>.

Cabe resaltar que en la fabricación de productos PMC de bases triturables, no es incluida la etapa de molienda, puesto que ésta se realiza en la misma etapa de empastado. Además, la etapa de tinturación se realiza directamente en los recipientes envasados.

**Porcentaje de sólidos:** Sirve para determinar la cantidad de material no volátil presente en una muestra de pintura líquida<sup>2</sup>.

**Densidad:** Es una magnitud escalar que permite relacionar la cantidad de masa presente en un determinado volumen. En la empresa es importante controlarla debido a que el envasado del producto se realiza por peso y no por volumen, por lo que una desviación de ésta, afectaría dicha etapa de producción; además, las variaciones en densidad, conllevan a otras variaciones en algunas de sus especificaciones finales. Se evalúa a 23°C para productos de PMC y a 25°C para productos de repintado<sup>3</sup>.

**Molienda:** Establece el grado de finura de la dispersión de los pigmentos en la pintura líquida. Se evalúa en piedras de molienda y se obtienen los resultados tanto en micras como en Hegman<sup>4</sup>.

**Viscosidad Brookfield:** Permite identificar la resistencia a fluir de las sustancias sometidas a la prueba<sup>5</sup>.

**Esfuerzo de tinturación:** Capacidad que tiene un pigmento para dar o cambiar el tono de otro pigmento. Este puede estar determinado por el tipo y la cantidad de pigmento, la finura de la molienda y la dispersión del pigmento. Se realiza agregando una cantidad de tinta específica para cada tipo de pintura, a la base triturable, y se le adiciona el catalizador, se homogeniza la muestra y se aplica a un determinado espesor, luego de secada se realiza una lectura del color en un espectrofotómetro, el cual compara la muestra con una estándar electrónica, y se obtienen las desviaciones de color respectivas<sup>6</sup>.

**Gel time (tiempo de gelado):** Determina el tiempo que tarda una mezcla de base y su respectivo endurecedor para adquirir la textura o apariencia de gel, característica apreciada de manera cualitativa<sup>7</sup>.

**Boiling test:** Determina cualitativamente el grado de adhesión de un recubrimiento sobre vidrio que ha estado inmerso en agua hirviendo<sup>8</sup>.

**Diagrama de Pareto:** Es un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de mayor a menor. Se utiliza para identificar los defectos que se producen con mayor frecuencia. Funciona bajo el principio de la "regla 80/20", donde el 20% de los productos son causantes del 80% de los problemas<sup>9</sup>.

**PAD** (porcentaje de aceptación directa): indicador utilizado en la empresa, que representa en unidad de porcentaje, el número de lotes que se aprueban directamente sin realizar ajustes en control calidad. Por ejemplo: si de cada 100 lotes fabricados de una unidad de negocio, sólo 10 entran a control calidad, se tiene un PAD de 90% para dicha unidad.

**Valor amino:** El valor del valor amino indica de una manera cuantitativa la cantidad de nitrógeno protonable en un gramo de endurecedor (*hardener*) con funcionalidad amina, buscando verificar que se mantiene la relación estequiométrica deseada para garantizar el curado y las propiedades específicas del recubrimiento final. Se expresa en mg KOH/g de hardener<sup>10</sup>.

El procedimiento para determinar el valor amino se lleva a cabo mediante una titulación convencional con una bureta que contiene un ácido en su interior, que titula una muestra de hardener en un beaker, la cual se encuentra disuelto una

mezcla de compuestos orgánicos y una gota de un indicador X. Se realiza el cálculo en por medio de la Ecuación 1:

$$\text{Valor amino} = (a - 2,58 * X) * 56,1 * 0,1/E \quad \text{Ecuación 1}$$

$E$  = Peso de la muestra (g).

$a$  = Volumen de ácido gastado en la titulación (mL).

$X$  = Peso de la gota de indicador (g).

**Coordenadas de color:** El color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva. Dos personas mirando un mismo objeto pueden usar puntos de referencia distintos y expresar el mismo color con una gran variedad de palabras diferentes, llevando a confusión y falta de comunicación internamente o a través de la cadena de abastecimiento. Para evitar esto y asegurar que una muestra cumpla con el estándar, el color debe ser expresado en términos numéricos y objetivos. Cuando se clasifican los colores, se los puede expresar en términos de matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). Al crear escalas para estos atributos, podemos expresar en forma precisa el color. El espacio de color  $L^*a^*b^*$  fue modelado en base a una teoría de color oponente que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo o amarillo y azul al mismo tiempo. Como se muestra a continuación,  $L^*$  indica la luminosidad y  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas cromáticas<sup>11</sup>.

**$L^*$ =luminosidad**

**$a^*$ = coordenadas rojo/verde** (+a indica rojo, -a indica verde)

**$b^*$  = coordenadas amarillo/azul** (+b indica amarillo, -b indica azul)

Los instrumentos de medición de color, incluyendo espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar estos atributos de color fácilmente. Ellos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$  <sup>11</sup>

## 4. Metodología

### 4.1 Chequeos de muestras

Se revisó el comportamiento del PAD de las unidades de negocio involucradas en el proyecto, y se realizó una proyección dividiendo la cantidad de lotes programados de un producto entre una cantidad estándar definida en producción, para identificar los productos que más posibilidad tenían de entrar a control calidad por desviaciones presentadas. Se realizaron chequeos de las muestras de retención de varios lotes

previamente fabricados en la planta y los que fueron fabricados en planta piloto, con el fin de obtener datos de los valores reales de las propiedades más representativas (viscosidad, %sólidos, molienda, densidad, esfuerzos de tinturación en las que lo requieran), para analizar su comportamiento.

Se chequea la densidad utilizando un picnómetro con la muestra a 23°C. La viscosidad fue chequeada utilizando el viscosímetro Brookfield, en el cual se introducía una cantidad aproximada de 400 g de muestra a 23°C y se acoplaban al equipo los girantes correspondientes según especificaciones del producto. Para la medición de los sólidos se utilizó un horno IR, el cuál realiza de manera automática en 10 minutos el cálculo del porcentaje de sólidos en peso. La molienda se realizó usando una "piedra de molienda", la cual es un bloque de acero que contiene un canal de profundidad variable con su respectiva medida indicada, en la que se deposita la muestra de pintura diluida con resina y solvente, y utilizando una cuchilla se esparce por el canal y se observa rápidamente en cuál profundidad empiezan a identificarse los sólidos de mayor tamaño de partícula. El secado al tacto consistió en realizar una aplicación sobre una lámina a un espesor proporcionado por la hoja de pruebas del producto y posteriormente se registraba el tiempo requerido en el cual, al pasar ligeramente el dedo por la superficie, no se sintiera pegajosa la superficie ni se deformara.

#### **4.2 Análisis de datos**

Con la información que se obtuvo en las bases de datos de la empresa y la obtenida mediante la etapa de chequeo de muestras, se identificaron los puntos claves a abordar, que permitieran obtener mejoras para lograr cumplir el objetivo general. Se realizaron análisis estadísticos y se utilizaron herramientas de Excel para generar regresiones que permitieran predecir comportamientos de los sistemas. Se comparó el comportamiento de las propiedades de los ensayos con las esperadas y se buscaron posibles causas de las diferencias.

Con el análisis estadístico de tendencia central se buscó identificar un rango basado en la desviación estándar y la media, con el fin de identificar en base a los datos que se tenían, encontrar un rango más central de la propiedad involucrada y a partir de este rango y el utilizado actualmente, redefinir el nuevo rango.

### **4.3 Implementación de planes de acción**

Se implementaron acciones correctivas a seguir para abordar los problemas identificados y discutidos en el análisis. Se ejecutaron las acciones que involucraran una mejora para posteriormente continuar con el proceso de verificación.

### **4.4 Control y validación**

Se revisaron los resultados del procedimiento anterior y se realizó una evaluación de los planes de acción, para revisar el posible impacto que causó en el proceso. Funciona como una especie de ciclo iterativo, en el cual, si la implementación de los planes de acción fue exitosa, se controla el proceso para que se mantenga, y en caso de haber salido errónea se vuelve a realizar el procedimiento metodológico hasta obtener resultados satisfactorios.

## **5. Resultados y análisis**

### **5.1 Especificaciones no centradas**

#### **Descripción**

En la unidad de negocios PMC, se presentan desviaciones en lotes de producción, de manera recurrente en cinco productos debido a sus rangos no centrados de especificaciones de aprobación. Cuando el área de control calidad realiza los chequeos respectivos para proceder al envasado del producto, y se encuentra que, para ajustar una propiedad, se pueden desajustar otras de manera significativa. Por lo cual se delega la responsabilidad a la División técnica de PMC para estudiar el caso.

Se revisaron los valores de algunas de las especificaciones y se pudo determinar que la media de los chequeos quedaba descentrada de los rangos de aprobación de cada prueba, por lo que se procedió a realizar chequeos en las muestras de retención de los productos para comprobar la hipótesis, y una vez confirmada, se procede a realizar la fabricación de cada uno de estos productos en planta piloto para redefinir los nuevos rangos de las especificaciones.

**Pruebas involucradas:** viscosidad, densidad, molienda final, %sólidos, resistencia al chorreo, secado al tacto, tiempo de gelado.

**Productos involucrados:** PMC01, PMC02, PMC03, PMC04, PMC05.

## 5.1.1 PMC01

### 5.1.1.1 Chequeo de muestras

**Tabla 1.** Datos obtenidos de la evaluación de muestras de retención de tres lotes de producción.

PMC01	Valor real	Límite inferior	Límite superior
<b>Viscosidad BROOKFIELD (cP)</b> Girante 7 a 100 rpm -> S07@100 rpm	15760/39,4%	6800,00	9700,00
	23520/58,8%		
	23520/58,8%		
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,41	1,36	1,40
	1,38		
	1,37		
<b>Molienda final (µm)</b>	65,00	70,00	80,00
	60,00		
	60,00		
<b>% Sólidos en peso</b>	89,01	89,00	92,00
	89,49		
	89,32		
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	1016,00	900,00	2000,00
	889,00		
	889,00		
<b>Secado al tacto (min)</b>	255,00	360,00	480,00
	220,00		
	220,00		
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	1,50	1,50	2,00
	1,50		
	1,50		

En la tabla 1, se presentan los valores obtenidos de los chequeos a tres diferentes muestras de retención y los valores de los límites superior e inferior utilizados en control calidad para la aprobación del producto. Se evidencia que los valores de viscosidad presentan gran diferencia con los reportados en los límites, siendo una de las principales causas de entrada a división técnica por parte de control calidad, por lo cual se debe redefinir dicho rango. Además, se logra evidenciar que la densidad es variable a lo largo del rango, por lo que se sugiere ampliarlo con el fin de obtener unos valores menos dispersos y lograr identificar posteriormente con más facilidad los casos en los que haya mayores desviaciones. Se logra observar que el secado al tacto puede realizarse en menos tiempo, con lo que se puede disminuir su rango y tiempo de chequeo. No se da importancia al menor valor de molienda obtenido, puesto que desde que no sea superior al límite superior del rango, no presenta problemas de calidad del producto. Propiedades como tiempo

de gelado, resistencia al chorreo y % sólidos en peso, presentan un comportamiento normal en base a las referencias.

**Tabla 2.** Valores obtenidos del producto fabricado en planta piloto replicando condiciones de operación de planta de producción.

PMC01	Valor real	Límite inferior	Límite superior
<b>Viscosidad BROOKFIELD (cP) S07@100 rpm</b>	22040/55,1%	6800,00	9700,00
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,36	1,36	1,40
<b>Molienda final (µm)</b>	55,00	70,00	80,00
<b>% Sólidos</b>	89,36	89,00	92,00
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	1016,00	900,00	2000,00
<b>Secado al tacto (min)</b>	290,00	360,00	480,00
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	1 55'	1,50	2,00

En la tabla 2, se presentaron los resultados de los chequeos de las propiedades del producto fabricado en la planta piloto, tratando de replicar las condiciones de operación con las que se produce a escala industrial. Los valores obtenidos presentaron un comportamiento similar a los valores de los chequeos de las muestras de retención, validando la reproducibilidad del ensayo.

### 5.1.1.2 Análisis

**Tabla 3.** Valores reportados por control calidad de lotes fabricados en la planta de producción.

LOTE	Densidad (g/mL)	MOLIENDA FINAL (µm)	%Sólidos	Chorro (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100 rpm
<b>1</b>	1,37	60,00	89,32	889,00	220,00	1,50	23520
<b>2</b>	1,40	80,00	92,00	1016,00	457,20	2,00	-
<b>3</b>	1,38	80,00	91,82	1524,00	360,00	2,00	-
<b>4</b>	1,39	80,00	91,96	1540,00	420,00	1,89	-
<b>5</b>	1,39	60,00	89,49	889,00	220,00	1,50	-
<b>6</b>	1,41	65,00	89,01	1016,00	255,00	1,50	23520
<b>7</b>	1,40	80,00	91,11	1016,00	360,00	1,50	15760
<b>8</b>	1,40	80,00	89,29	1540,00	391,00	2,00	-
<b>9</b>	1,40	80,00	92,00	1150,00	390,00	1,80	-
<b>10</b>	1,40	80,00	90,93	1540,00	412,00	1,89	-
<b>P. Piloto</b>	1,36	55,00	89,36	1016,00	290,00	1,90	22040
<b>Media</b>	1,39	72,73	90,57	1194,18	343,20	1,77	21210,00
<b>Desviación estándar</b>	0,02	10,34	1,28	279,78	83,45	0,22	3699,71
LCS	1,40	82,08	91,73	1447,25	418,68	1,97	24556,52

LCI	1,38	63,38	89,42	941,11	267,72	1,57	17863,48
-----	------	-------	-------	--------	--------	------	----------

En la tabla 3, se presentaron los valores de las propiedades medidas por control calidad de los lotes fabricados en producción, el ensayo fabricado en planta piloto y las variables estadísticas media y desviación estándar calculadas en Excel, con las cuales se determinó el LCS (Límite central superior) y LCI (Límite central Inferior) por medio de las ecuaciones 2 y 3 <sup>12</sup>.

$$LCS = media + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$LCI = media - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$\sigma$  = Desviación estándar

$n$  = Numero de muestra

### 5.1.1.3 Implementación

**Tabla 4.** Rangos de especificaciones.

	Límite	Densidad (g/mL)	MOLIENDA FINAL (µm)	%Sólidos	Chorro (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100 rpm
<b>Actual</b>	<b>Sup</b>	1,40	80,00	92,00	2000,00	480,00	2,00	9700,00
	<b>Inf</b>	1,36	70,00	89,00	900,00	360,00	1,50	6800,00
<b>Estadístico</b>	<b>Sup</b>	1,40	82,08	91,73	1447,25	418,68	1,97	24556,52
	<b>Inf</b>	1,38	63,38	89,42	941,11	267,72	1,57	17863,48
<b>Propuesto</b>	<b>Sup</b>	1,41	80,00	92,00	1524,00	420,00	2,00	25000,00
	<b>Inf</b>	1,35	55,00	89,00	889,00	250,00	1,50	15000,00

En la tabla 4, se presentaron los límites de los rangos para cada una de las propiedades de interés. El límite actual se define como el utilizado en el momento en control calidad. El límite estadístico se obtuvo mediante las ecuaciones 2 y 3, el cual representa un rango hipotético basado en los valores obtenidos de los chequeos. Y el límite propuesto se estimó como una consolidación de los anteriores límites basándose en los valores centrales de cada propiedad.

**Beneficio de la implementación del método:** Por medio de las pruebas realizadas a las muestras de retención, al ensayo fabricado en planta piloto y al análisis estadístico, se pudo reducir en una hora el límite superior del tiempo de secado al tacto, ampliar el rango de la densidad. Además, se logró estandarizar un rango de medición para la viscosidad, el cual no se tenía establecido para el producto.

## 5.1.2 PMC02

### 5.1.2.1 Chequeo de muestras

Se realizaron los chequeos a las tres diferentes muestras de retención del producto PMC02 y los resultados se pueden visualizar en el Anexo 1, tabla A1 con excepción de la viscosidad, para la cual se desarrolló una serie de experimentos presentados en la tabla 6, con el fin de obtener las condiciones de operación del equipo y estandarizar la medición.

**Tabla 6.** Valores de viscosidad obtenidos mediante el viscosímetro Brookfield variando rpm y número de Girante.

		Girante			
		6		7	
Lote	rpm	cP	%	cP	%
1	6	16500	9,9	16600	2,5
	20	9200	18,3	19600	9,8
	50	6360	31,8	14400	18,0
	100	5880	58,8	13480	34,1
2	6	20500	12,1	29333	4,2
	20	9800	19,6	17400	8,7
	50	6780	34,0	14080	17,6
	100	5560	55,6	12320	31,0
3	6	38000	22,7	80667	12,1
	20	19000	38,0	40400	20,2
	50	11860	59,3	24800	31,0
	100	8700	87,0	18800	49,0

De la tabla 6, se pudo evidenciar que el producto medido con el girante 6 a 100 rpm, presentó un torque cercano al 50%, lo que puede indicar que el valor obtenido mediante el equipo, sería un valor con una buena tendencia central para redefinir los nuevos límites del rango. En el Anexo 1 tabla A2, se presentan los resultados de los chequeos del producto PMC02 fabricado en la planta piloto, en el cual se obtuvieron los resultados esperados reproduciendo las condiciones de la planta de producción, lo que se pudo corroborar con los valores obtenidos de los chequeos a las muestras de retención de lotes fabricados en planta de producción.

### 5.1.2.2 Análisis

Con los valores obtenidos de los chequeos a las muestras de retención, los reportados por control calidad y del producto fabricado en planta piloto, se obtuvieron los valores de los LCS y LCS reportados en el Anexo 1 tabla A3, los cuales se realizaron de manera similar al PMC01, por medio de las ecuaciones 2 y 3. Y a

partir de estos se pudo obtener los valores de rango estadístico para cada una de las propiedades como se evidencia en la tabla 9.

### 5.1.2.3 Implementación

**Tabla 9.** Rangos de especificaciones.

	Límite	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorro (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S06@100rpm
<b>Actual</b>	<b>Sup</b>	1,58	80,00	80,00	2000,00	240,00	12,00	1700,00
	<b>Inf</b>	1,52	75,00	76,00	500,00	120,00	6,00	1300,00
<b>Estadístico</b>	<b>Sup</b>	1,56	79,80	78,91	1499,13	224,08	7,18	10644,02
	<b>Inf</b>	1,54	61,11	76,60	992,98	73,12	6,78	3950,98
<b>Propuesto</b>	<b>Sup</b>	1,58	80,00	80,00	1524,00	90,00	8,00	12000,00
	<b>Inf</b>	1,52	55,00	76,00	500,00	30,00	5,00	5000,00

En la tabla 9 se presentan los comparativos entre los rangos actual y estadístico, con los cuales se realizó el propuesto, teniendo en cuenta además las posibles reducciones en tiempos que se pudieron implementar.

**Tabla 10.** Valores de las coordenadas de color de una muestra estándar vs el ensayo fabricado en planta piloto

<b>Coordenadas X-Rite 45°</b>	<b>Límite propuesto</b>		<b>Estándar</b>	<b>Ensayo</b>
	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>		
<b>L</b>	58,50	61,50	58,91	59,39
<b>A</b>	-1,50	1,50	-0,98	-0,99
<b>B</b>	-2,00	2,00	-1,70	-1,32

En la tabla 10 se evidencian los resultados obtenidos de la medición de las coordenadas de color en el colorímetro X-Rite, la coordenada L\* era en la cual se deseaba realizar la implementación de rango de chequeo, y se definió el rango presentado. Los valores de la coordenada a\* y b\*, no eran de interés, puesto que el producto PMC02 es un producto base, más no un acabado, por lo que solo será representativa dicha coordenada L\*.

**Beneficio de la implementación del método:** Se logró reducir en 4 horas el límite superior de la prueba Gel Time, 1.5 horas el secado al tacto y se logró estandarizar la medida de la viscosidad y la prueba color VS estándar, la cual compara el color del producto fabricado frente a rangos en las coordenadas L, a, b de color de una muestra estándar evaluada.

### 5.1.3 PMC03/PMC04/PMC05

#### 5.1.3.1 Chequeo de muestras

Para los productos PMC03, PMC04, PMC05, pertenecientes a la misma clase de recubrimientos, en la cual varía el color. Se realizaron los chequeos de las muestras de retención como etapa de medición y se reportaron los resultados en el Anexo 1 tablas, A4, A5, A6. De igual manera que el producto PMC02, se realizó un diseño de experimentos, en donde los valores obtenidos se presentan en las tablas A7, A8, A9, de las cuales se seleccionó el girante y revoluciones adecuadas para realizar las mediciones de la viscosidad.

Se realizó la fabricación en planta piloto de los productos PMC03 y PMC04, valores reportados en el Anexo 1, tablas A10, A11 respectivamente. Al ser fabricados los productos y realizar la última etapa de dilución de éstos se observó un comportamiento reológico diferente al esperado, obteniendo un producto muy viscoso. El producto PMC05 no fue fabricado, la decisión se tomó luego de observar el resultado del PMC03 y confirmar el comportamiento anormal con el PMC04.

#### 5.1.3.2 Análisis

Se realizó el análisis estadístico de límites centrales con los datos obtenidos de control calidad para los productos PMC03, PMC04, PMC05 (ver valores en Anexo 1, tablas A12, A13, A14 respectivamente), de las cuales se pudo calcular el valor de los límites estadísticos, utilizados para compararlos con los rangos actuales y obtener los valores de límites propuestos.

#### 5.1.3.3 Implementación

Tabla 14. Rangos de especificaciones PMC03.

	Límite	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorreo (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@20rpm
Actual	Sup	1,52	90,00	86,00	2000,00	300,00	12,00	5200,00
	Inf	1,46	75,00	82,00	700,00	180,00	6,00	4500,00
Estadístico	Sup	1,55	92,93	84,33	1896,01	285,01	8,42	151658,73
	Inf	1,51	65,25	81,47	1085,99	146,08	5,26	81141,27
Propuesto	Sup	-	-	-	-	-	-	-
	Inf	-	-	-	-	-	-	-

#### Observaciones

Al fabricar el producto en la planta piloto, se evidenció que éste presentaba una elevada viscosidad, la cual no podía ser leída con los girantes y rpm que se leyeron

los productos evaluados de las muestras de retención, como se muestra en la figura 2. Además, en la prueba de resistencia al chorreo (Figura 3), se logró evidenciar que el producto no presenta descuelgue incluso con los instrumentos de mayor apertura (ver Figura 3). Dando indicios de que existe algún problema en la formulación del producto.

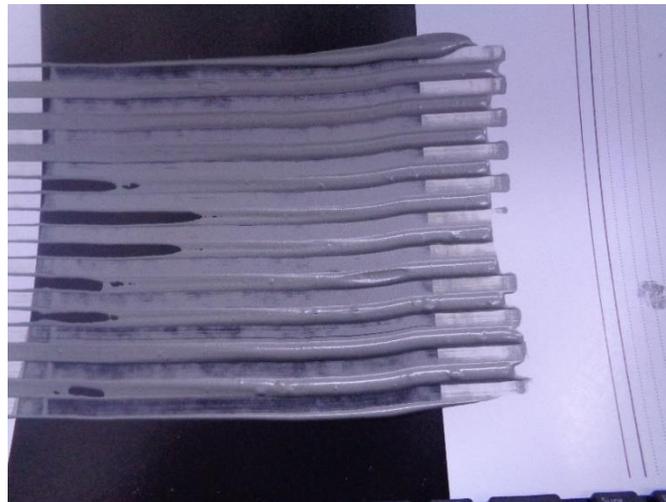
**Producto fabricado en planta piloto (a)**

**Producto fabricado en planta de producción (b)**



**Figura 2.** PMC03 fabricado en planta piloto (a) y en planta de producción (b).

En la figura 2, se observa el producto PMC03 fabricado en planta piloto, comparado con una muestra de retención de planta de producción. Se evidencia a simple vista una apariencia más viscosa del producto fabricado en la planta piloto.



**Figura 3.** Chorreo PMC03 fabricado en planta piloto.

Por lo descrito anteriormente, no fue posible realizar modificaciones en las especificaciones del producto hasta no tener certeza de cuál es la causa real del comportamiento reológico obtenido, en el cual, al realizar adiciones de solvente,

no se modifica el chorreo, lo cual normalmente debe suceder cuando se realizan ajustes en la solventación.

**Tabla 18.** Rangos de especificaciones PMC04.

	Límite	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorreo (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100Rpm
<b>Actual</b>	<b>Sup</b>	1,53	90,00	86,00	2000,00	900,00	12,00	7500,00
	<b>Inf</b>	1,47	75,00	82,00	700,00	180,00	6,00	5800,00
<b>Estadístico</b>	<b>Sup</b>	1,54	88,15	83,78	1950,23	243,08	8,57	38311,59
	<b>Inf</b>	1,52	68,22	80,56	962,14	170,56	5,06	35208,41
<b>Propuesto</b>	<b>Sup</b>	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Inf</b>	-	-	-	-	-	-	-

### Observaciones

De manera similar al producto PMC03 fabricado en planta piloto, se evidenció para el PMC04 que éste presentaba una elevada viscosidad, la cual no podía ser leída con los girantes y rpm con los cuales se chequearon las muestras de retención, como se muestra en la figura 4. Además, en la prueba de resistencia al chorreo (figura 5), se logró evidenciar que el producto no presenta descuelgue incluso con los instrumentos de mayor apertura. Confirmando que existe algún problema en la formulación del producto.

**Producto fabricado en planta piloto (a)**

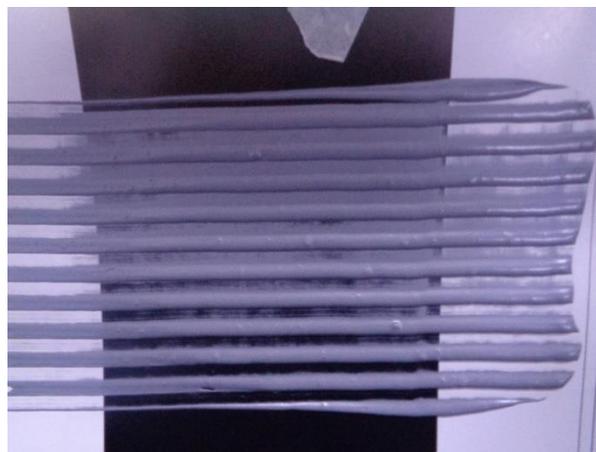


**Producto fabricado en planta de producción (b)**



**Figura 4.** PMC04 fabricado en planta piloto (a) y en planta de producción (b).

En la figura 4 se observa el producto PMC04 fabricado en planta piloto (a), comparado con una muestra de retención de planta de producción (b). Se evidencia a simple vista una apariencia más viscosa del producto fabricado en la planta piloto.



**Figura 5.** Chorreo PMC04 fabricado en planta piloto.

Por lo descrito anteriormente, no fue posible realizar modificaciones en las especificaciones del producto hasta no tener certeza de cuál es la causa real del mismo problema explicado en figura 3.

**Tabla 22.** Rangos de especificaciones PMC05.

	Límite	Densidad (g/mL)	MOLIENDA FINAL (µm)	%Sólidos	Chorreo (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100rpm
<b>Actual</b>	<b>Sup</b>	1,54	90,00	86,00	2000,00	300,00	12,00	11000,00
	<b>Inf</b>	1,50	75,00	82,00	700,00	180,00	6,00	6500,00
<b>Estadístico</b>	<b>Sup</b>	2,07	104,72	109,51	1870,24	328,92	9,44	102877,27
	<b>Inf</b>	1,02	48,61	51,64	839,09	159,42	3,56	21804,73
<b>Propuesto</b>	<b>Sup</b>	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Inf</b>	-	-	-	-	-	-	-

No se realizaron modificaciones a las especificaciones del producto, y quedó abierto un estudio sobre el problema en la formulación de la familia de productos (PMC03, PMC04, PMC05).

## **5.2 Desarrollo de programas en Excel para reducir el tiempo de ajuste de productos y automatización de cálculos.**

Mediante el desarrollo de los programas en Excel, se logró optimizar el tiempo de los chequeos debido a que se pueden realizar los cálculos necesarios de manera automática para los ajustes requeridos para el producto. Se realizaron los siguientes programas:

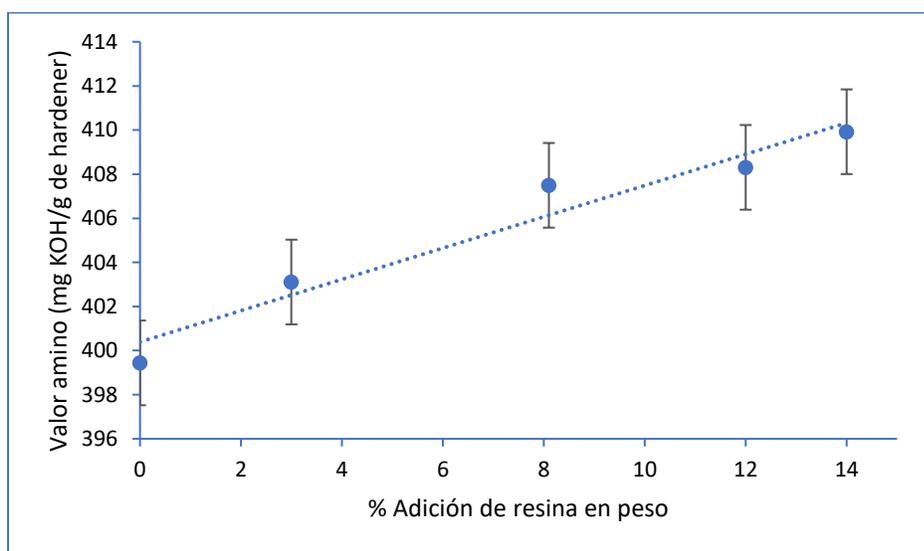
- Ajuste de valor amino.

- Ajuste de esfuerzo de tinturación y porcentaje de sólidos en peso para pinturas de base tinturable.

### 5.2.1 Ajuste de valor amino.

El valor amino para cada producto terminado, debe de estar entre un rango específico para que cumpla principalmente su función de agente de cura y ser envasado para la venta. Las desviaciones se ajustan realizando adiciones de la resina principal del producto (incrementa el valor amino, porque incrementa la cantidad de grupos nitrogenados), y adicionando el solvente principal de la formula (disminuye el valor amino al diluir el endurecedor, teniendo una misma cantidad de grupos nitrogenados en mayor cantidad de producto).

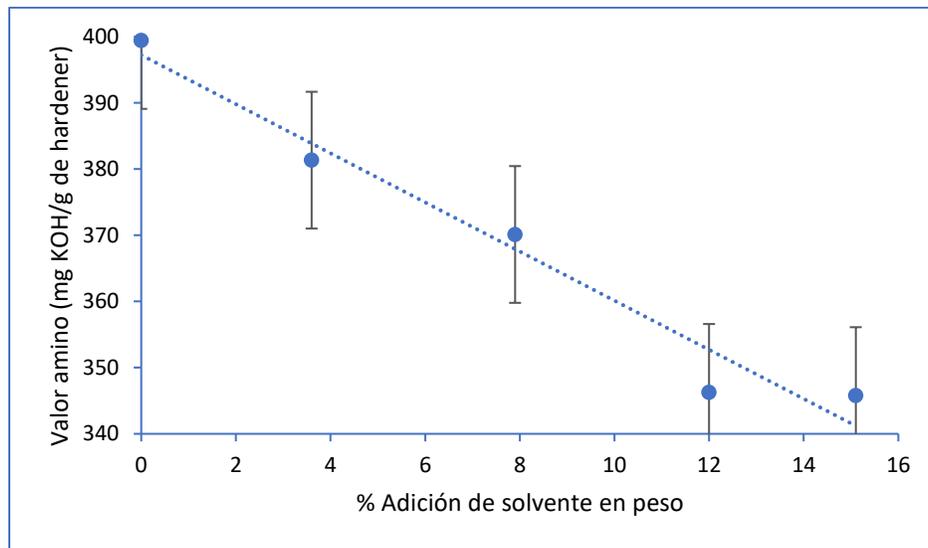
Para desarrollar el algoritmo del programa se realizaron una serie de ensayos, en los cuales se tomó una muestra de un endurecedor epóxico, se adicionaron diferentes cantidades de resina a la muestra para observar el comportamiento del valor amino, de manera similar se hizo con la adición de solvente. Los resultados se evidencian en la tabla B1 y B2 del Anexo 2, respectivamente. En las tablas se observan los valores utilizados para calcular el valor amino por medio de la ecuación 1, y las adiciones de resina y solvente que se realizaron en cada uno de los ensayos. Con estos resultados fue posible realizar la regresión en Excel para visualizar el cambio del valor amino con la resina y con el solvente, como se evidencia en las figuras 6 y 7.



**Figura 6.** Valor amino vs % adición de resina en peso

En la figura 6, se evidencia el comportamiento del valor amino al variar la cantidad de resina adicionada. Se seleccionó un modelo lineal para su representación matemática debido a que es el que mejor describió la tendencia. Se obtiene un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9352$ , y la ecuación 4, que representa el comportamiento del valor amino respecto a la adición de resina.

$$\text{Valor amino} = 65,809 * (\%resina) + 400,59 \quad \text{Ecuación 4}$$

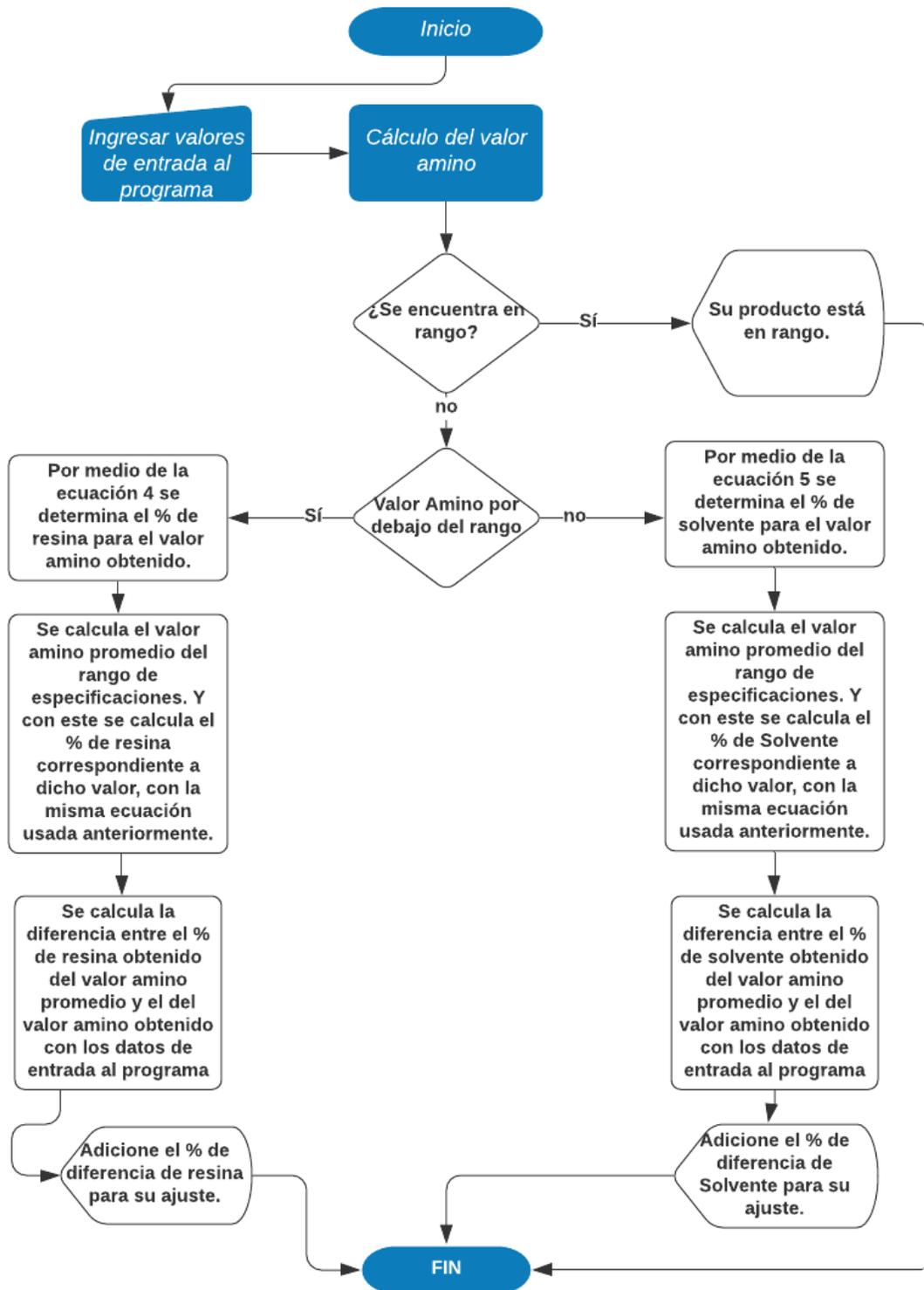


**Figura 7.** Valor amino vs % adición de solvente en peso.

En la figura 7, se evidencia el comportamiento del valor amino al variar la cantidad de solvente adicionado. Se seleccionó un modelo lineal para su representación matemática debido a que es el que mejor se ajustó a la tendencia. En los puntos de mayor adición de solvente se observa que el valor amino no varía significativamente causando una irregularidad a la curva, pero no afectó en el desarrollo del programa, porque no modifica drásticamente la pendiente y, además, difícilmente se llega a esas cantidades de ajuste y en caso de requerirlo, se revisaría con la división técnica de PMC para estudiar el caso. Se presenta a continuación el algoritmo base con el cual opera el programa. Se obtuvo un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9621$ , y la ecuación 5, que representa el comportamiento del valor amino respecto a la adición de solvente.

$$\text{Valor amino} = -370,98 * (\% \text{solvente}) + 397,22$$

*Ecuación 5*



**Figura 8.** Algoritmo del programa de ajuste del valor amino

En el Anexo 3, **Instructivo 1 (valor amino)**, se presenta un breve instructivo de operación del programa.

### 5.2.2 Ajuste de esfuerzo de tinturación y porcentaje de sólidos en peso para pinturas de base tinturable.

Con el objetivo de disminuir el tiempo de chequeos en control calidad para los productos PMC de base tinturable, se elaboró un programa que relaciona las propiedades de % de sólidos en peso y el % de esfuerzo de tinturación. La función del programa es que el analista ingrese los valores obtenidos del % de sólidos y esfuerzo de tinturación de un lote producido en planta, y el programa inmediatamente dé resultado del estado del producto en dichas propiedades. Si el producto se encuentra en rango, se observará el mensaje en pantalla y no se tomarán acciones correctivas, pero si el producto no se encuentra en rango, se mostrarán las instrucciones para ajustar el producto o delegarlo a la división técnica en caso que se salga de los límites establecidos en el algoritmo. La finalidad del programa es evitar la realización de ensayos con pequeñas cantidades para luego escalarla al lote industrial que se tiene en proceso de ajuste. Con lo que se puede reducir una cantidad significativa de tiempo al proceso de fabricación.

Para realizar el programa, se analizó la relación entre el % de sólidos y es esfuerzo de tinturación, frente a la adición del solvente de la fase de dilución de la fórmula. Se utilizó para este estudio el producto PMC06, el cual se ajustó desde la fórmula base y se realizaron varios ensayos fabricados en planta piloto, con el fin de obtener un producto que, al centrar el valor de sólidos en el rango establecido, el esfuerzo quedara igualmente centrado en su respectivo rango.

**Tabla 23.** Propiedades medidas y rangos para el ajuste de formulación del PMC06.

Propiedad	Rango	
	Límite inferior	Límite superior
Molienda ( $\mu\text{m}$ )	20,00	30,00
Densidad (g/mL)	1,27	1,33
Esfuerzo de tinturación (%)	98,00	102,00
Sólidos en peso (%)	62,00	64,00

En la tabla 23 se presentaron las propiedades principales de interés chequeadas durante el ajuste de formulación del producto y los valores de los límites de sus respectivos rangos.

**Tabla 24.** Valores de las propiedades chequeadas en los ensayos de ajuste del PMC06.

Propiedad	Resultado del ensayo			
	A	B	C	D
Molienda ( $\mu\text{m}$ )	25,00	25,00	25,00	25,00
Densidad (g/mL)	1,30	1,29	1,29	1,31
Esfuerzo de tinturación (%)	95,20	94,94	100,00	99,49
Sólidos en peso (%)	63,64	62,66	64,69	62,84

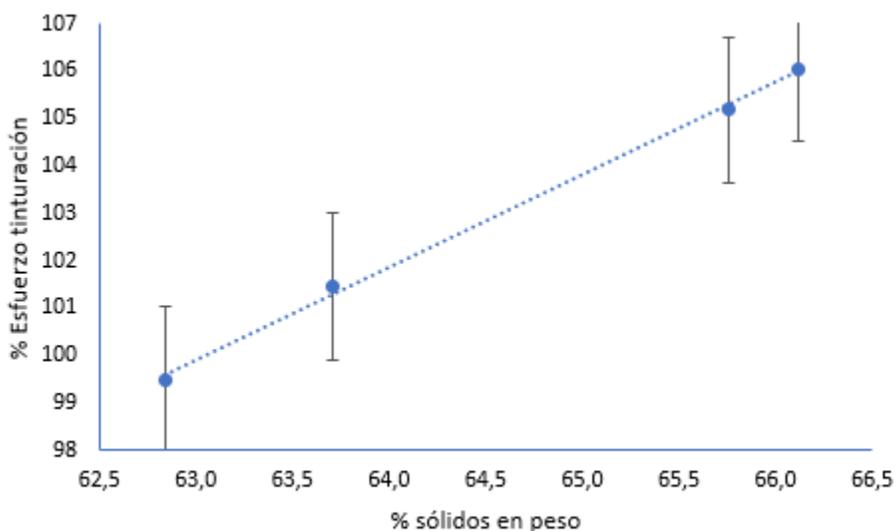
En la tabla 24, se presentan los valores de los cuatro ensayos fabricados en planta piloto, donde se hizo uso de la metodología trabajada en el proyecto. Al tener el ensayo A como base, se realizó la medición de este y se obtuvieron los resultados presentados en la tabla. Mediante el análisis se tuvo que el producto presentó el esfuerzo de tinturación por debajo del centro del rango, por lo cual se decidió aumentar el dióxido de titanio y disminuir el % de una carga específica del producto como implementación. Se formuló el ensayo B en base a lo anterior y se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla (columna B), en donde el producto se comportó de una manera muy similar al ensayo A, tal vez por la poca modificación que se realizó. Por lo cual se reformula el ensayo C aumentando un poco más el dióxido de titanio y realizando una reducción más significativa de la carga, en donde al analizarse el resultado, se evidenció que el valor del esfuerzo también estaba siendo afectado por la reducción de la carga. Lo anterior se comprobó realizando unos ensayos de validación en pequeñas cantidades en el laboratorio las cuales consistían en adicionar dicha carga al ensayo y revisar el comportamiento. Se concluyó que el pigmento de titanio se dispersaba mejor a mayor cantidad de carga, debido a la estructura de ésta, que forma una especie de red de soporte del pigmento evitando que se aglomerara y perdiera poder de tinturación.

Para la formulación del ensayo D, se conservó el valor aumentado del dióxido de titanio del ensayo C y se incrementó el valor de la carga significativamente, quedando incluso mayor a la cantidad inicial del ensayo A, y para compensar el aumento de dichos porcentajes, se redujo la cantidad de resina y solvente en proporción a lo aumentado. El resultado del ensayo como se evidencia en la tabla (columna D) fue satisfactorio, y a partir de este se realizó el estudio del comportamiento del % de sólidos y esfuerzo frente a la adición de solvente.

**Tabla 25.** Valores del esfuerzo de tinturación y el % de sólidos con la adición de solvente.

% Solvente adicionado	Esfuerzo de tinturación (%)	Sólidos (%)
0,00	106,06	66,12
1,50	105,18	65,76
4,79	101,47	63,71
6,67	99,49	62,84

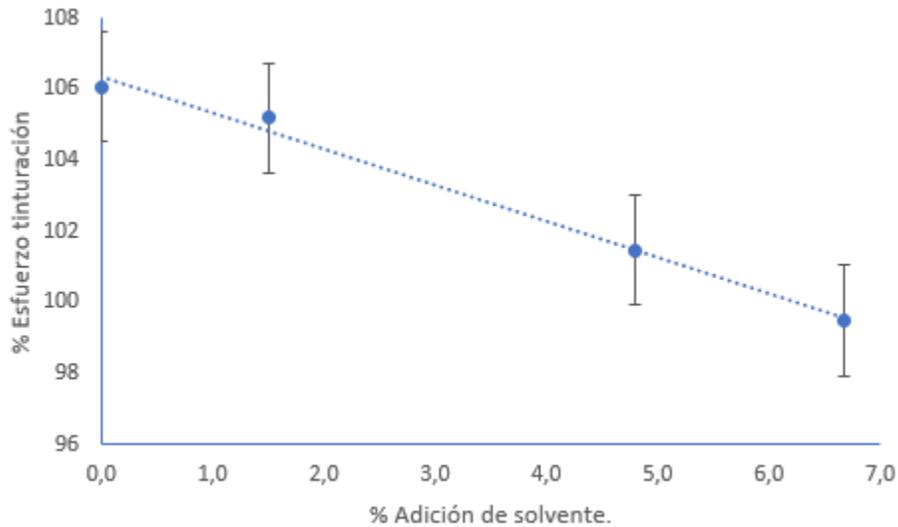
En la tabla 25 se presentan los resultados de los chequeos del esfuerzo de tinturación y el % de sólidos tras las adiciones de solvente. El porcentaje de solvente mostrado en la tabla es acumulado. A partir de los datos anteriores se obtiene la relación % esfuerzo de tinturación VS % de sólidos en peso, como se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** %Esfuerzo de tinturación VS % sólidos en peso

En la figura 9 se evidencia el comportamiento de la variación del % esfuerzo de tinturación VS el % de sólidos en peso. De la cual se obtuvo la regresión que representa el modelo matemático del comportamiento de una propiedad respecto a la otra (Ecuación 6) con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,9979$ . Se realizó un ajuste lineal con muy buena aproximación a los datos reales, por lo cual fue apto para realizar el programa de ajuste.

$$\%Esfuerzo\ de\ tinturación = 1,9505 * (\%sólidos) - 22,97 \quad Ecuación\ 6$$



**Figura 10.** % Esfuerzo de tinturación VS % adición de solvente en peso

De la figura 10, se obtuvo la regresión que representa el comportamiento del esfuerzo de tinturación frente a la adición de solvente. Se realizó un ajuste lineal debido a su buen coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,9925$ ), por lo cual se utiliza la ecuación 7, obtenida como complemento de la presentada en la figura 9, para representar un modelo matemático más robusto que prediga el cambio del % de sólidos y % de esfuerzo de tinturación al realizar una adición de solvente. Se debe tener presente, como se observó en los ensayos anteriores, que la adición de solvente tiene como consecuencia una caída en el % de sólidos debido a la dilución del producto. Además, el solvente no contiene sólidos, aumentando la fase líquida del producto. El esfuerzo es afectado de igual manera con la adición del solvente, puesto que al diluir el producto y aumentar el contenido de solvente, disminuye de forma global el % de los otros componentes, dando como resultado un esfuerzo más bajo.

Una de las características del programa, es identificar cuando al adicionarse solvente para bajar el esfuerzo de tinturación los sólidos bajen más allá de la media de su rango, en donde lo que se hace es adicionar un % de la resina (contiene sólidos + solvente) principal del producto, lo que ayuda a elevar el contenido de sólidos y a disminuir el esfuerzo con el solvente contenido en ella, y complementar con solvente la cantidad requerida para terminar de bajar el esfuerzo. Al realizar esto se puede tener un menor impacto de modificación en propiedades como la viscosidad, la densidad y el chorreo del producto.

$$\% \text{Esfuerzo de tinturación} = -101,58 * (\% \text{solvente}) + 106,34 \quad \text{Ecuación 7}$$

Se presenta a continuación en la figura 11 el algoritmo base del programa.

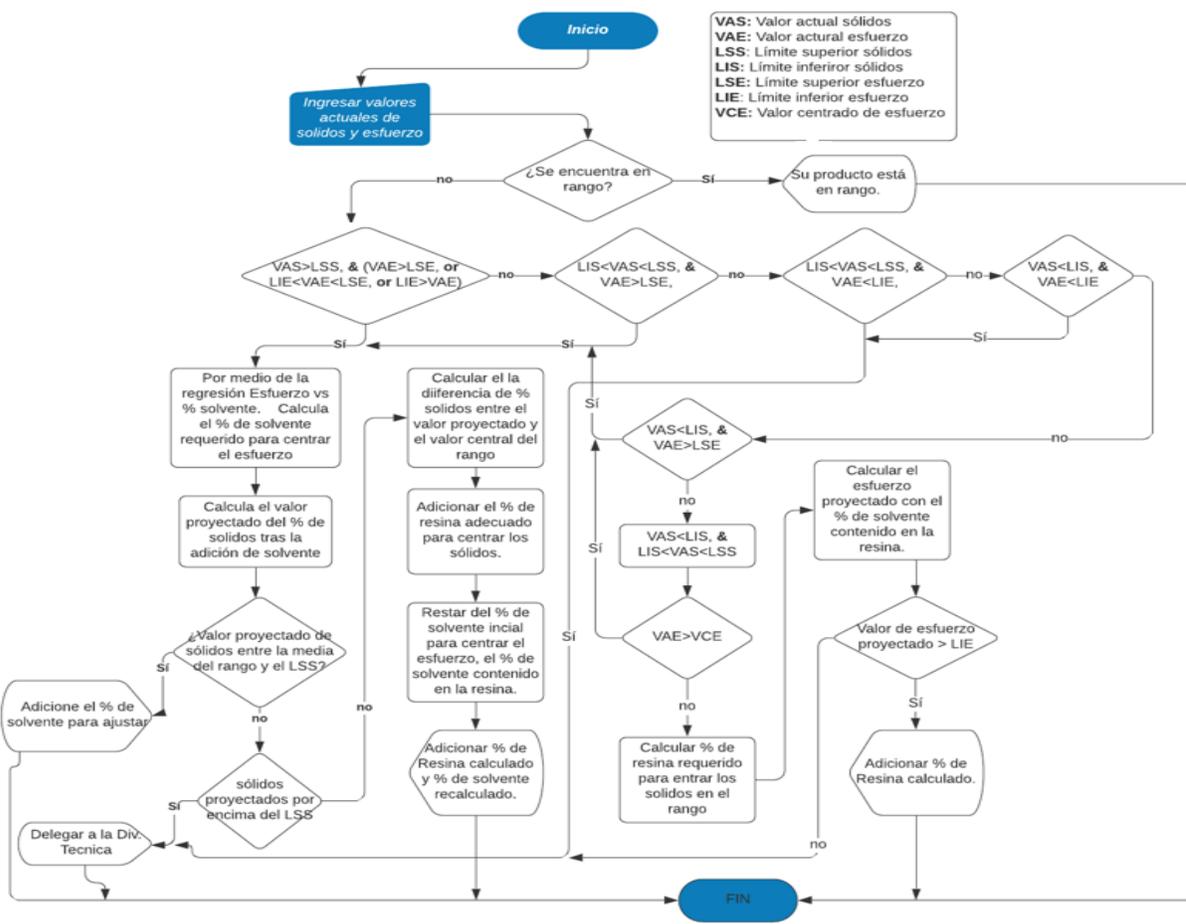


Figura 11. Algoritmos base programa ajuste esfuerzo vs sólidos.

En el Anexo 3, **Instructivo 2 (Ajuste esfuerzo VS sólidos)**, se presenta un breve instructivo de operación del programa.

### 5.3 Disminución del tiempo de chequeo del esfuerzo de tinturación para recubrimiento epóxico.

Se realizaron una serie de ensayos con los cuales se buscaba reducir el tiempo de chequeo del esfuerzo de tinturación del PMC07 (recubrimiento epóxico de base tinturable). En la primera serie de ensayos se probaron diferentes métodos, tales como la adición de aceleradores a la mezcla final previa aplicación. Además, se introdujeron de láminas al horno a diferentes temperaturas. Los resultados se presentan en la Tabla 26.

En los ensayos 2 y 3, se adiciona un acelerador (AC-1), el cual es un compuesto que acelera el curado, actuando de manera similar a la poliamina contenida en el hardener, rompiendo los anillos epoxi y formando la cadena polimérica. De igual manera en los ensayos 4 y 5 se utilizó el AC-2, una triamina que contiene un anillo

aromático. El endurecedor de la base contiene este último acelerador en su composición, por lo que al adicionarlo se esperaría una disminución en el tiempo de curado debido al aumento de reactividad de los componentes.

**Tabla 26.** Primera serie de ensayos y resultados del chequeo de esfuerzo.

Ensayo	Descripción	Tiempo (min)	Esfuerzo (%)	$\Delta E$
1	Secado a temperatura ambiente	1080	102,74	0
2	Secado a temperatura ambiente +1% AC-1	1080	104,33	1,59
3	Secado a temperatura ambiente +2% AC-1	120	104,29	1,55
4	Secado a temperatura ambiente +1% AC-2	150	104,03	1,29
5	Secado a temperatura ambiente +2% AC-2	100	106,58	3,84
6	15 min aireo + 60 min horno 40°C	75	103,26	0,52
7	15 min aireo + 20 min horno 60°C	35	103,03	0,29

Se tomó como referencia el valor de esfuerzo del ensayo 1, por ser el método convencional. En el ensayo 2, no se observó ningún aspecto positivo en disminución de tiempos. En los ensayos 3, 4, 5, se logró evidenciar una reducción significativa del tiempo en comparación al definido como estándar, pero el esfuerzo presentó variaciones significativas reflejadas en el valor del  $\Delta E$  ( $\%Esfuerzo\ del\ ensayo - \%Esfuerzo\ defido\ como\ estándar$ ), por lo cual no se consideraron viables. Los ensayos 6, 7 realizados en los hornos, tuvieron un menor  $\Delta E$  y una notable reducción del tiempo, por lo cual se consideraron las opciones más viables para seguir con la serie de ensayos.

Se tiene conocimiento que a medida que se aumenta la temperatura de los hornos, disminuye el tiempo de secado de las láminas, pero al acelerar el curado en hornos de la resina epóxica con su agente de cura, la propiedad de interés (el esfuerzo en este caso) varía. Para los posteriores ensayos se seleccionó una muestra de retención de un lote de producción diferente a la anterior y se realizaron los experimentos en hornos a diferentes temperaturas y un tiempo inicial de residencia de 30 minutos de la lámina en el horno. Los resultados se presentan en la tabla 27.

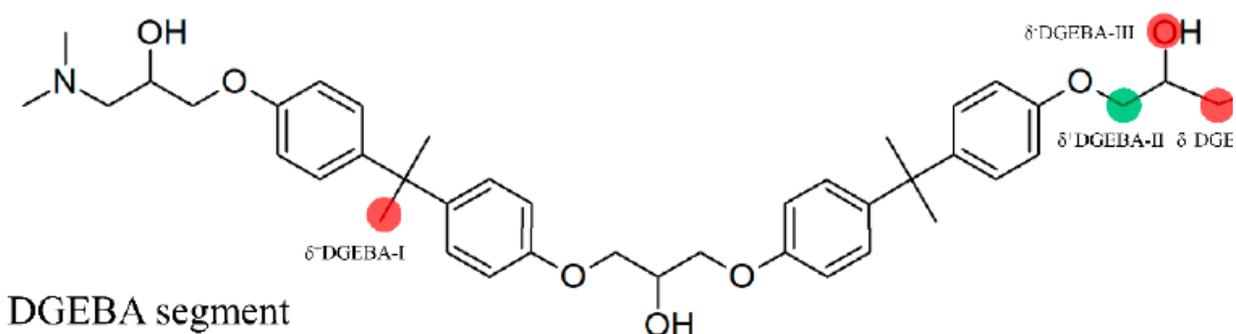
**Tabla 27.** Segunda serie de ensayos de aceleración del tiempo chequeo de esfuerzo.

Ensayo	Descripción	Tiempo (min)	Esfuerzo inicial (%)	Esfuerzo 15 min (%)	Esfuerzo 30 min (%)	Esfuerzo 90 min (%)	$\Delta E$
8	Secado a temperatura ambiente	300	105,67	-	-	-	0,00
9	30 min, horno 40°C	30	105,83	105,86	105,61	104,81	0,14
10	30 min, horno 50°C	30	105,31	105,39	105,37	105,13	0,37

<b>11</b>	30 min, horno 60°C	30	103,13	103,13	103,13	103,07	2,56
<b>12</b>	10 min aireo + 30 min, horno 40°C	40	105,50	105,53	105,42	105,12	0,28
<b>13</b>	10 min aireo + 30 min, horno 50°C	40	103,79	103,87	103,83	103,72	1,87
<b>14</b>	10 min aireo + 30 min, horno 60°C	40	102,59	102,54	102,51	102,64	3,10

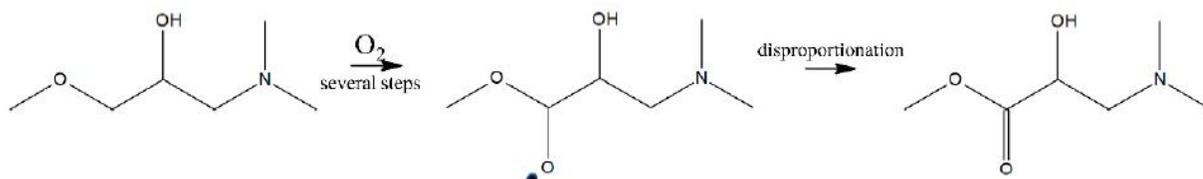
Observando los resultados de los esfuerzos, se puede evidenciar que los más cercanos al valor tomado como estándar (ensayo 8), fueron los de los ensayos realizados en el horno a 40°C y cabe resaltar que a medida que varía la temperatura del horno, el valor del esfuerzo varía del estándar. Esto puede ser debido al amarillamiento de la resina cuando se acelera la reacción con su agente de cura incrementando la temperatura.

El aspecto amarillo en la resina ha sido tema de interés en investigaciones, donde se han comprobado que ocurre por la formación de grupos carbonilo en la estructura polimérica debido a la termo-oxidación de los puntos reactivos (color verde en la figura 12). Al aumentar la temperatura se tiene más oxígeno caliente reactivo que se une con mayor velocidad a los carbonos reactivos vía sustitución nucleofílica.



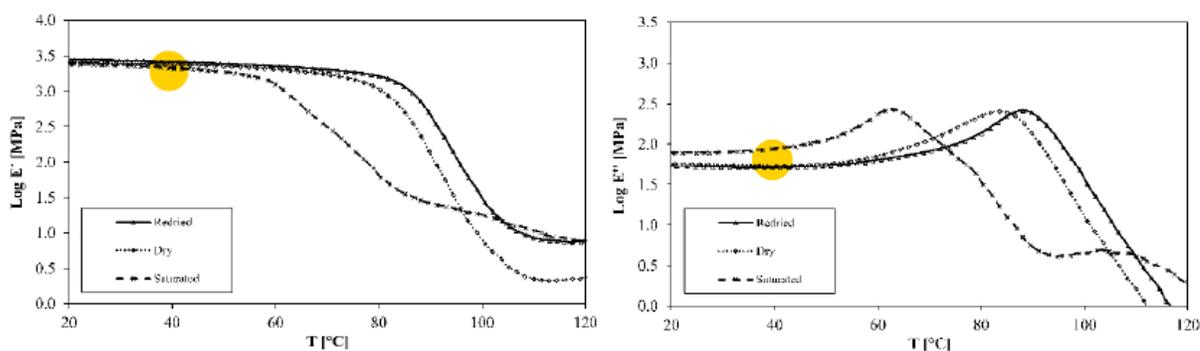
**Figura 12.** Sección DGEBA<sup>13</sup>.

En la figura 12 se presentan secciones de DGEBA (bisfenol A diglicidil éter), monómero base de la resina del recubrimiento epoxi, con sus puntos reactivos durante la reacción de polimerización.



**Figura 13.** Reacción de formación del grupo carbonilo<sup>13</sup>.

En la figura 13, se muestra la reacción de formación del grupo carbonilo durante la polimerización del monómero epoxi. Por otro lado, se tiene que la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos. En la figura 14, se puede observar el comportamiento de los módulos de elasticidad en resinas epóxicas con el cambio de la temperatura. La temperatura de transición vítrea se obtiene donde ocurre una variación significativa del módulo de elasticidad, con una pequeña variación de la temperatura. Se conoce que al sobrepasar la  $T_g$ , las propiedades del polímero cambian considerablemente. Por lo cual no sería recomendable someter la resina a temperaturas elevadas si se desea replicar de manera acelerada un secado y curado en condiciones ambientales<sup>12</sup>.



**Figura 14.** Variación del módulo de elasticidad con la temperatura en resinas epoxi (loss & Storage)<sup>13</sup>

En el momento de realizar las lecturas en los ensayos 9, 12 el secado al tacto se aprobaba, pero el secado al manejo aún no estaba completo, por lo cual se quedaron un poco adheridas las láminas en el equipo. Sin embargo, esto no afectó su valor, lo cual se pudo comprobar realizando lecturas posteriores cada cierto intervalo de tiempo. Para desarrollar los ensayos finales, se seleccionaron los procedimientos anteriores con mejor resultado y se adicionaron 10 minutos más de residencia en el horno para mejorar el secado al manejo y evitar adherencia en el equipo. Se seleccionaron dos muestras de retención de lotes de producción diferentes y con fechas alejadas de fabricación entre sí.

**Tabla 25.** Segunda serie de ensayos.

Lote	Ensayo	Descripción	Tiempo (min)	Esfuerzo (%)	$\Delta E$
403**	15	Secado a temperatura ambiente	180	116,6	0,00
	16	40 min, horno 40°C	40	115,16	1,44
	17	10 min aireo + 40 min, horno 40°C	50	116,41	0,19

<b>468**</b>	<b>18</b>	Secado a temperatura ambiente	180	105,78	0,00
	<b>19</b>	40 min, horno 40°C	40	105,62	0,16
	<b>20</b>	10 min aireo + 40 min, horno 40°C	50	105,40	0,38

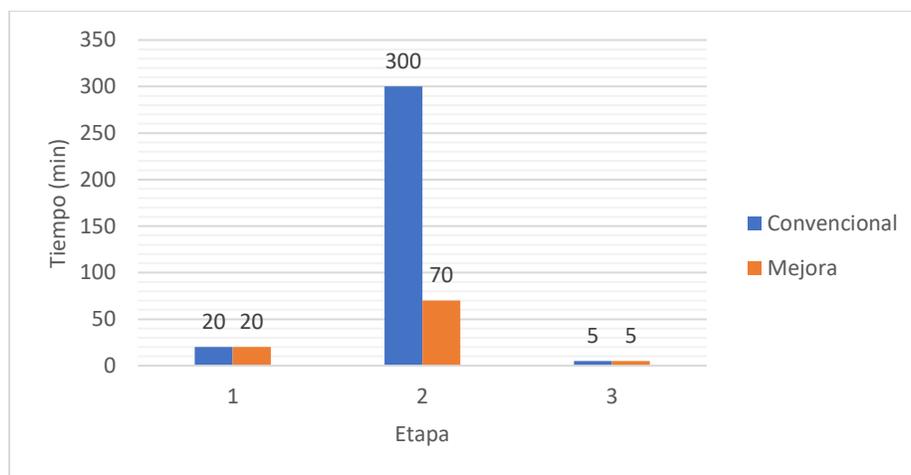
Se logró disminuir considerablemente el tiempo de chequeo y se logró validar el procedimiento de los ensayos 17 y 20, como nuevo método de chequeo acelerado de esfuerzo. Sin embargo, al realizar posteriores pruebas de chequeo, se añadieron 20 minutos más de tiempo de horneo, puesto que con este resultado se obtenían mejores resultados en diferentes hornos.

### Resumen de la mejora

- Procedimiento convencional.



- Procedimiento mejorado.



**Figura 15.** Tiempo de chequeo por etapas para ambos métodos.

En la figura 15 se presenta el tiempo de chequeo por etapa para cada uno de los métodos presentados anteriormente, en la cual se pudo evidenciar la gran disminución de tiempo que se obtiene en la segunda etapa del chequeo. Donde se reduce el chequeo total aproximadamente entre 3 y 4 horas.

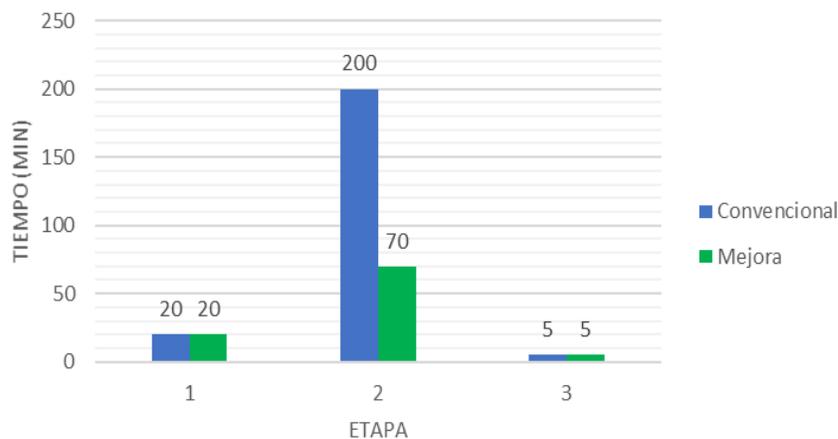
Se realizó una prueba en el laboratorio de aplicación del método de mejora del chequeo del esfuerzo del producto anterior (base resina epoxi) sobre un producto

base resina alquídica, con el fin de obtener un punto de partida para acelerar también su chequeo de esta propiedad. El método replicó satisfactoriamente para este producto y se implementó la mejora.

- Procedimiento convencional.



- Procedimiento mejorado.



**Figura 16.** Tiempo de chequeo por etapas para ambos métodos.

En la figura 16 se presenta el tiempo de chequeo por etapa para cada uno de los métodos presentados anteriormente, en la cual se pudo evidenciar la disminución de tiempo que se obtiene e la segunda etapa del chequeo. Donde se reduce el chequeo total aproximadamente entre 2 y 3 horas.

## 6. Conclusiones

- Mediante el desarrollo metodológico aplicado, se logró redefinir los nuevos rangos de dos productos involucrados en problemas de especificaciones centradas, con lo que se disminuye la probabilidad que ingresen a

reproceso por parte control calidad. Logrando así una reducción de tiempo en su proceso de fabricación.

- Se implementó el análisis estadístico por límites centrales como una herramienta importante en la revisión del comportamiento de los valores de las propiedades para tener control de los límites de los rangos y realizar las respectivas modificaciones de éstos cuando se requieran.
- Fue posible acelerar el secado para la lectura del esfuerzo de tinturación del recubrimiento epóxico pasando de 4 – 5 horas a 1.5 horas. Así como implementar el mismo proceso en el recubrimiento alquídico pasando de 3 – 4 horas a 1.5 horas.
- Se logró identificar el fenómeno físico-químico involucrado en el amarillamiento de las resinas epoxi, lo cual impedía acelerar los procesos de secado y curado sin alterar las propiedades de interés. Con lo cual se logró proponer el método adecuado para acelerar el chequeo sin afectar los valores de las propiedades de referencia.
- Se abrió un caso de estudio sobre el comportamiento reológico no esperado de los productos PMC03/04/05, recomendando inicialmente revisar la solventación desde la formulación base.
- Se creó la calculadora de ajustes de PMC, realizada en Excel, la cual ayudará a reducir los tiempos de ajustes de lotes desviados por valor amino para endurecedores y Esfuerzo VS sólidos para bases tinturables. Además, de optimizar recursos del laboratorio, puesto que se suprimirán los ensayos con pequeñas cantidades de muestras que posteriormente se llevan a escala industrial para realizar el ajuste.
- Se espera una reducción de 40 ajustes de lotes en proceso al año y una disminución de 100 horas/año en tiempos de espera de etapas intermedias de chequeos en control calidad.

## **7. Referencias Bibliográficas**

<sup>1</sup> COLPISA, DIVISIÓN TÉCNICA I+D. Conceptos básicos de pinturas. Medellín. 2011.

<sup>2</sup> CAMACHO, Yesmin. % sólidos. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-13, 1998. P. 1

<sup>3</sup> GUTIÉRREZ, Luis. Densidad directa. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-11, 1997. P. 1

<sup>4</sup> MARÍN, Gloria. Molienda. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-200, 1997. P. 1

- <sup>5</sup> VÉLEZ, Andrea. Viscosidad Brookfield. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-199, 1997. P. 1
- <sup>6</sup> CORREA, Isabela. Esfuerzo de tinturación. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-88, 1997. P. 1
- <sup>7</sup> PÉREZ M., Diego. Determinación del tiempo de gelado para sistemas bicomponente. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-121, 2015. P. 1
- <sup>8</sup> PÉREZ M., Diego. Evaluación de la adhesión con la prueba de ebullición (Boiling Test). Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-119, 2015. P. 1
- <sup>9</sup> SOPORTE MINITAB 19. Elementos básicos de un diagrama de Pareto, 2019. Disponible en: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/supporting-topics/pareto-chart-basics/>
- <sup>10</sup> NOREÑA G., Karina. Determinación del valor amino en endurecedores epóxicos. Itagüí – Antioquia. PPG industries Ltda. Documento IIP-115, 2016. P. 1
- <sup>11</sup> Konica Minolta. Entendiendo el espacio de color CIE L\*a\*b\*. Disponible en: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- <sup>12</sup> Ruíz, Arturo – Rojas, Falcó. Control estadístico de procesos. Madrid-España. Universidad ICAI ICADE Comillas. Apuntes de clase. 2006. P. 18-22
- <sup>13</sup> Krauklis, Andrey E. – Echtermeyer, Andreas T. Mechanism of Yellowing: Carbonyl Formation during Hygrothermal Aging in a Common Amine Epoxy. Department of Mechanical and Industrial Engineering, Norwegian University of Science and Technology. Received: 29 August 2018; Accepted: 12 September 2018; Published: 13 September 2018. P. 1-15.

## ANEXO 1

**Tabla A1.** Datos obtenidos de la evaluación de muestras de retención de tres lotes de producción.

PMC02	Valor real	Límite inferior	Límite superior
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,58	1,52	1,58
	1,56		
	1,58		
<b>Molienda final (µm)</b>	55,00	75,00	80,00
	60,00		
	55,00		
<b>% Sólidos en peso</b>	77,57	76,00	80,00
	76,49		
	77,43		
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	1016,00	500,00	2000,00
	762,00		
	1016,00		
<b>Secado al tacto (min)</b>	40,00	120,00	240,00
	40,00		
	35,00		
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	6 20'	6,00	12,00
	7		
	6 20'		

**Tabla A2.** Valores obtenidos del producto fabricado en planta piloto replicando condiciones de operación de planta de producción.

PMC02	Valor real	Límite inferior	Límite superior
<b>Viscosidad BROOKFIELD (cP) S06@100rpm</b>	9050/87,7%	1300,00	1700,00
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,57	1,52	1,58
<b>Molienda final (µm)</b>	55,00	75,00	80,00
<b>% Sólidos</b>	78,17	76,00	80,00
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	1524,00	500,00	2000,00
<b>Secado al tacto (min)</b>	33,00	120,00	240,00
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	5 53'	6,00	12,00

**Tabla A3.** Valores reportados por control calidad de lotes fabricados en la planta de producción.

LOTE	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorreo (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S06@100rpm
1	1,58	55,00	77,57	1016,00	40,00	6,30	5880
2	1,56	60,00	76,49	762,00	40,00	7,00	5560
3	1,58	55,00	77,43	1016,00	35,00	6,30	8700
4	1,54	80,00	79,62	1524,00	240,00	8,00	-
5	1,53	80,00	77,29	609,60	133,65	7,00	-
6	1,53	80,00	79,42	1524,00	240,00	6,00	-
7	1,57	80,00	77,52	1524,00	240,00	6,00	-
8	1,55	75,00	78,61	1540,00	193,00	9,20	-
9	1,52	80,00	76,18	1524,00	240,00	6,00	-
10	1,53	75,00	77,00	1143,00	200,00	8,00	-
P. Piloto	1,57	55,00	78,17	1524,00	33,00	5 53'	9050
Media	1,55	70,45	77,75	1246,05	148,60	6,98	7297,50
Desviación estándar	0,02	10,34	1,28	279,78	83,45	0,22	3699,71
LCS	1,56	79,80	78,91	1499,13	224,08	7,18	10644,02
LCI	1,54	61,11	76,60	992,98	73,12	6,78	3950,98

**Tabla A4.** Datos obtenidos de la evaluación de muestras de retención de tres lotes de producción.

PMC03	Valor real	Límite inferior	Límite superior
Densidad (g/mL)	1,56	1,46	1,52
	1,57		
	1,54		
Molienda final (µm)	60,00	75,00	90,00
	65,00		
	60,00		
% Sólidos	82,06	82,00	86,00
	82,27		
	79,45		
Resistencia choreo leneta (µm)	1524,00	700,00	2000,00
	1524,00		
	762,00		
Secado al tacto (min)	225,00	180,00	300,00
	225,00		

	225,00		
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	6,00	6,00	12,00
	6,00		
	7 20'		

**Tabla A5.** Datos obtenidos de la evaluación de muestras de retención de tres lotes de producción.

<b>PMC04</b>	<b>Valor real</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,54	1,47	1,53
	1,55		
	1,55		
<b>Molienda final (µm)</b>	65,00	75,00	90,00
	70,00		
	70,00		
<b>% Sólidos en peso</b>	78,21	82,00	86,00
	80,12		
	80,79		
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	635,00	700,00	2000,00
	762,00		
	889,00		
<b>Secado al tacto (min)</b>	235,00	180,00	300,00
	251,00		
	235,00		
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	6,00	6,00	12,00
	6,00		
	6,00		

**Tabla A6.** Datos obtenidos de la evaluación de muestras de retención de tres lotes de producción.

<b>PMC05</b>	<b>Valor real</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
<b>Densidad (g/mL)</b>	1,56	1,50	1,54
	1,56		
	1,54		
<b>Molienda final (µm)</b>	60,00	75,00	90,00
	70,00		
	70,00		
<b>% Sólidos</b>	86,59	82,00	86,00
	85,02		

	84,01		
<b>Resistencia choreo leneta (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	1143,00	700,00	2000,00
	1524,00		
	1524,00		
<b>Secado al tacto (min)</b>	255,00	180,00	300,00
	255,00		
	255,00		
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	6 35'	6,00	12,00
	6 35'		
	6 35'		

**Tabla A7.** Valores de viscosidad obtenidos mediante el viscosímetro Brookfield variando rpm y número de Girante.

		<b>Girante</b>			
		<b>6</b>		<b>7</b>	
<b>Lote</b>	<b>RPM</b>	<b>cP</b>	<b>%</b>	<b>cP</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>6</b>	160000	96,1	190000	28,5
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	114000	56,4
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	69360	86,6
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
<b>2</b>	<b>6</b>	138000	83,3	204000	30,6
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	117000	58,5
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	74880	92,5
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
<b>3</b>	<b>6</b>	67000	39,9	111000	16,8
	<b>20</b>	38500	77	69600	34,8
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	41040	51,3
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	26680	65,4

EEEE -> Error de equipo (no se puede leer a las condiciones de operación seleccionadas)

**Tabla A8.** Valores obtenidos por el viscosímetro Brookfield variando rpm y número de Girante

		<b>Girante</b>			
		<b>6</b>		<b>7</b>	
<b>Lote</b>	<b>RPM</b>	<b>cP</b>	<b>%</b>	<b>cP</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>6</b>	81667	49	104000	15,6
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	74200	37,1
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	48000	60
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	35280	88,3

<b>2</b>	<b>6</b>	102000	61,3	161000	24,1
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	101000	50,6
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	66800	84,1
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
<b>3</b>	<b>6</b>	93000	55,8	144000	21,6
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	92600	46,3
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	56800	71
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	38640	98

EEEE -> Error de equipo (no se puede leer a las condiciones de operación seleccionadas)

**Tabla A9.** Valores de viscosidad obtenidos mediante el viscosímetro Brookfield variando RPM y número de Girante

		Girante			
		6		7	
Lote	RPM	cP	%	cP	%
<b>1</b>	<b>6</b>	60697	35,9	42667	6,4
	<b>20</b>	42000	84,1	43800	21,8
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	32160	40,2
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	25240	63,1
<b>2</b>	<b>6</b>	101000	60,5	143000	21,5
	<b>20</b>	EEEE	EEEE	80400	40,2
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	48800	61
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	36520	91,4
<b>3</b>	<b>6</b>	87667	52,6	137000	20,6
	<b>20</b>	42950	85,9	79000	39,5
	<b>50</b>	EEEE	EEEE	44720	56,0
	<b>100</b>	EEEE	EEEE	31800	80,5

\*EEEE -> Error de equipo (no se puede leer a las condiciones de operación seleccionadas)

**Tabla A10.** Valores obtenidos del producto fabricado en planta piloto replicando condiciones de operación de planta de producción.

PMC03	Valor real	Límite inferior	Límite superior
Viscosidad BROOKFIELD (cP) S07@20RPM)	165000	4200	5500
Densidad (g/mL)	1,53	1,46	1,52
Molienda final (µm)	55	75	90
% Sólidos	83,28	82	86
Resistencia choreo leneta (µm)	2540	700	2000

<b>Secado al tacto (min)</b>	120	180	300
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	4	6	12

**Tabla A11.** Valores obtenidos del producto fabricado en planta piloto replicando condiciones de operación de planta de producción.

<b>PMC04</b>	<b>Valor real</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>
<b>Viscosidad BROOKFIELD (cP) S07@100RPM)</b>	36360,00	5800,00	7500,00
<b>Densidad (g/ml)</b>	1,54	1,47	1,53
<b>Molienda final (µm)</b>	60,00	75,00	90,00
<b>% Sólidos</b>	83,01	82,00	86,00
<b>Resistencia choreo leneta (µm)</b>	2540,00	700,00	2000,00
<b>Secado al tacto (min)</b>	120,00	180,00	300,00
<b>Tiempo de gelado (h)</b>	5,00	6,00	12,00

**Tabla A12.** Valores reportados por control calidad de lotes fabricados en la planta de producción para PMC03.

<b>Lote</b>	<b>Densidad (g/mL)</b>	<b>Molienda final (µm)</b>	<b>%Sólidos</b>	<b>Chorro (µm)</b>	<b>Secado al tacto (min)</b>	<b>Gel time (h)</b>	<b>Viscosidad (cP) S07@100RPM</b>
1	1,56	60,00	82,06	1524,00	225,00	6,00	114000,00
2	1,57	65,00	82,27	1524,00	225,00	6,00	117000,00
3	1,54	60,00	79,45	762,00	225,00	7,45	69600,00
4	1,52	90,00	83,45	1524,00	240,00	6,00	-
5	1,52	90,00	82,00	1540,00	246,00	9,20	-
6	1,51	90,00	83,44	1540,00	245,00	9,60	-
7	1,50	90,00	84,10	1510,00	245,00	9,00	-
8	1,52	90,00	84,99	889,00	300,00	6,00	-
9	1,52	90,00	84,88	1524,00	240,00	6,00	-
10	1,52	90,00	82,00	1524,00	180,00	6,00	-
P. Piloto	1,53	55,00	83,28	2540,00	0,00	3,00	165000,00
<b>Media</b>	1,53	79,09	82,90	1491,00	215,55	6,84	116400,00
<b>Desviación estándar</b>	0,02	15,30	1,58	447,76	76,80	1,75	38979,99
LCS	1,55	92,93	84,33	1896,01	285,01	8,42	151658,73
LCI	1,51	65,25	81,47	1085,99	146,08	5,26	81141,27

**Tabla A13.** Valores reportados por control calidad de lotes fabricados en la planta de producción para PMC04.

Lote	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorro (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100RPM
1	1,54	65,00	78,21	635,00	235,00	6,00	35280,00
2	1,55	70,00	80,12	762,00	251,00	6,00	38640,00
3	1,55	70,00	80,79	889,00	235,00	6,00	-
4	1,53	90,00	82,56	1524,00	180,00	12,00	-
5	1,53	90,00	82,29	1540,00	245,00	8,20	-
6	1,52	80,00	82,97	1524,00	180,00	6,00	-
7	1,52	80,00	83,79	1540,00	216,00	7,80	-
8	1,53	90,00	83,85	1524,00	240,00	6,00	-
9	1,51	90,00	82,36	1540,00	193,00	6,00	-
10	1,53	75,00	83,87	2000,00	180,00	6,00	-
P. Piloto	1,54	60,00	83,01	2540,00	120,00	5,00	36360,00
<b>Media</b>	1,53	78,18	82,17	1456,18	206,82	6,82	36760,00
<b>Desviación estándar</b>	0,01	11,02	1,78	546,19	40,09	1,94	1715,34
LCS	1,54	88,15	83,78	1950,23	243,08	8,57	38311,59
LCI	1,52	68,22	80,56	962,14	170,56	5,06	35208,41

**Tabla A14.** Valores reportados por control calidad de lotes fabricados en la planta de producción para PMC05.

Lote	Densidad (g/mL)	Molienda final (µm)	%Sólidos	Chorro (µm)	Secado al tacto (min)	Gel time (h)	Viscosidad (cP) S07@100RPM
1	1,56	60,00	86,59	1143,00	255,00	6,50	60697,00
2	1,56	70,00	85,02	1524,00	255,00	6,50	101000,00
3	1,54	70,00	84,01	1524,00	255,00	6,50	87667,00
4	1,53	80,00	85,69	1524,00	210,00	-	-
5	1,54	90,00	83,32	1524,00	250,00	-	-
6	1,54	90,00	58,84	889,00	240,00	-	-
P. Piloto	-	-	-	-	-	-	-
<b>Media</b>	1,55	76,67	80,58	1354,67	244,17	6,50	62341,00
<b>Desviación estándar</b>	0,58	31,01	31,99	569,99	93,69	3,25	44814,53
LCS	2,07	104,72	109,51	1870,24	328,92	9,44	102877,27
LCI	1,02	48,61	51,64	839,09	159,42	3,56	21804,73

## ANEXO 2.

**Tabla B1.** Comportamiento del valor amino al adicionar resina.

Ensayo	Cantidad resina extra (%)	Producto a evaluar		Prueba valor amino				Valor amino (mg KOH/g)
		Cantidad muestra (g)	Resina extra (g)	Real muestra (g)	Peso gota (g)	Vin (mL)	Vfin (mL)	
1	0	-	0,0000	0,1638	0,0144	26,7	15,0	399,44
2	3,0	20,0604	0,6054	0,1609	0,0149	29,6	18,0	403,11
3	8,1	20,0792	1,6234	0,1605	0,0162	41,3	29,6	407,49
4	12,0	20,0026	2,4038	0,1616	0,0149	29,7	17,9	408,31
5	15,4	20,0823	3,0909	0,1637	0,0149	38,7	26,7	409,92

**Tabla B2.** Comportamiento del valor amino al adicionar solvente.

ENSAYO	Adición Solvente extra (%)	Producto a evaluar		Prueba valor amino				Valor amino (mg KOH/g)
		Cantidad muestra (g)	Solvente extra (g)	Real muestra (g)	Peso gota (g)	Vin (mL)	Vfin (mL)	
1	0	-	0	0,1638	0,0144	26,7	15,0	399,44
7	3,6	20,1069	0,7203	0,1627	0,0155	41,1	30,0	381,36
8	7,9	20,3078	1,6096	0,1646	0,0156	33,0	22,1	370,13
9	12,0	20,0698	2,4022	0,1630	0,0152	22,1	12,0	346,26
10	15,1	20,0862	3,0334	0,1617	0,0129	43,0	33,0	345,78

## ANEXO 3

### Instructivo 1 (valor amino)

Se presenta a continuación las instrucciones de uso del programa de ajuste de valor amino para endurecedores de productos de PMC.

- Interface del programa

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD

Límite Superior  mg KOH/g

Límite Inferior  mg KOH/g

VALOR AMINO  mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD	<input type="text"/>	g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido	<input type="text"/>	mL
Volumen Final Ácido	<input type="text"/>	mL
Peso real de la muestra	<input type="text"/>	g
Peso gota cristal violeta	<input type="text"/>	g

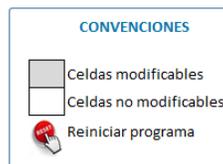
	Cant.	Unidad
Cantidad del lote	<input type="text"/>	kg

	Cant.	Unidad
% Adición	<input type="text"/>	%
Cantidad para lote	<input type="text"/>	kg

**Material adición**

**RESET**

Es importante tener en cuenta las siguientes convenciones del programa, sobre cuáles son las celdas modificables en las cuales se ingresa la información.



Pasos a seguir.

1. Seleccione el HRD dando click en el desplegable de la celda, como se muestra en la imagen.

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD HARDENER 1  
HARDENER 2  
HARDENER 3  
HARDENER 4

Límite Superior  
Límite Inferior

mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD		g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido		mL
Volumen Final Ácido		mL
Peso real de la muestra		g
Peso gota cristal violeta		g

	Cant.	Unidad
Cantidad del lote		kg

**Material adición**

	Cant.	Unidad
% Adición		%
Cantidad para lote		kg

2. Posterior a la selección del HRD, se procede a introducir los datos obtenidos en el ensayo experimental en las casillas de color gris.

3.

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD HARDENER 1

Límite Superior **415**  
Límite Inferior **395** mg KOH/g

**VALOR AMINO** mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD	<b>0.16</b>	g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido		mL
Volumen Final Ácido		mL
Peso real de la muestra		g
Peso gota cristal violeta		g

	Cant.	Unidad
Cantidad del lote		kg

**Material adición**

	Cant.	Unidad
% Adición		%
Cantidad para lote		kg

4. Al completar los datos requeridos por el programa, automáticamente en el lado derecho (como se evidencia en las siguientes imágenes) se obtiene el resultado del cálculo del valor amino y las indicaciones a seguir para realizar el ajuste.

- o Valor amino en rango

El programa identifica la propiedad en el rango y no realiza ninguna sugerencia de modificación (producto OK).

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD

Límite Superior **415** mg KOH/g  
Límite Inferior **395** mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD	0.16	g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido	26.7	mL
Volumen Final Ácido	15.0	mL
Peso real de la muestra	0.1638	g
Peso gota cristal violeta	0.0144	g

	Cant.	Unidad
Cantidad del lote	250.00	kg

**VALOR AMINO** 399.4 mg KOH/g

[Producto en rango de especificaciones](#)

**Material adición**

	Cant.	Unidad
% Adición		%
Cantidad para lote		kg

- Valor amino por encima del rango.  
Realiza los cálculos para ajuste, utilizando la regresión de adición de solvente, con el objetivo de centrar el resultado en el rango. Indica la materia prima a adicionar, el % de ésta, y la cantidad según el tamaño del lote.

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD

Límite Superior **415** mg KOH/g  
Límite Inferior **395** mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD	0.16	g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido	27.4	mL
Volumen Final Ácido	15.0	mL
Peso real de la muestra	0.1638	g
Peso gota cristal violeta	0.0144	g

	Cant.	Unidad
Cantidad del lote	250.00	kg

**VALOR AMINO** 423.4 mg KOH/g

[Ajuste su producto como se le indica a continuación](#)

**Material adición** Solvente 1

	Cant.	Unidad
% Adición	<b>4.96</b>	%
Cantidad para lote	<b>12.41</b>	kg

- Valor amino por debajo del rango.  
Realiza los cálculos para ajuste, utilizando la regresión de adición de resina, con el objetivo de centrar el resultado en el rango. Indica la materia prima a adicionar, el % de ésta, y la cantidad según el tamaño del lote.

**PPG** PROCEDIMIENTO - Valor amino

Seleccione el HRD

Límite Superior **415** mg KOH/g  
Límite Inferior **395** mg KOH/g

	Cant.	Unidad
Cantidad a pesar de HRD	<b>0.16</b>	g

Material	Cant.	Unidad
Volumen inicial Ácido	26.5	mL
Volumen Final Ácido	15.0	mL
Peso real de la muestra	0.1638	g
Peso gota cristal violeta	0.0144	g

	Cant.	Unidad
Cantidad del lote	250.00	kg

**VALOR AMINO** **392.6** mg KOH/g

[Ajuste su producto como se le indica a continuación](#)

Material adición **Resina 1**

	Cant.	Unidad
% Adición	<b>5.45</b>	%
Cantidad para lote	<b>13.63</b>	kg



- Seguir las indicaciones del programa para ajustar el producto y utilizar el botón **RESET** para limpiar los datos.

## Instructivo 2 (ajuste esfuerzo VS sólidos)

Se presenta a continuación las instrucciones de uso del programa de ajuste de valor amino para endurecedores de productos de PMC.

- Interface del programa

**PPG** PROCEDIMIENTO - Esfuerzo de tinturación & Sólidos Bases L (PMC)

Seleccione la base

Prop.	Valor real	Limites rango		Unidad
		Inferior	Superior	
Sólidos				%
Esfuerzo Tint				%

	Cant.	Unidad
Cantidad de lote		kg



*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

Es importante tener en cuenta las siguientes convenciones del programa, sobre cuáles son las celdas modificables en las cuales se ingresa la información.

**CONVENCIONES**

Celdas modificables  
 Celdas no modificables  
 Reiniciar programa

1. Seleccionar el producto a evaluar en la barra desplegable que se muestra a continuación:
- 2.

**PPG** PROCEDIMIENTO - *Esfuerzo de tinturación & Sólidos Bases L (PMC)*

Seleccione la base **Base Tinturable 2**

Prop.	Sólidos	Esfuerzo Tint	Cant.	Unidad
			98.00	102.00 %

Cantidad de lote 

Cant.	Unidad
	kg



*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
<b>R-BT-2</b>	% Adición	-	%
	Cantidad para el lote	-	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
<b>S-BT-2</b>	% Adición	-	%
	Cantidad para el lote	-	kg

3. Ingresar en los campos modificables los valores actuales del esfuerzo, % de sólidos y la cantidad del lote (opcional) en el programa.

**PPG** PROCEDIMIENTO - *Esfuerzo de tinturación & Sólidos Bases L (PMC)*

Seleccione la base **Base Tinturable 2**

Prop.	Valor real	Limites rango		Unidad
		Inferior	Superior	
Sólidos		62.00	64.00	%
Esfuerzo Tint		98.00	102.00	%

Cantidad de lote 

Cant.	Unidad
	kg



*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
<b>R-BT-2</b>	% Adición	-	%
	Cantidad para el lote	-	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
<b>S-BT-2</b>	% Adición	-	%
	Cantidad para el lote	-	kg

4. Al completar los datos requeridos por el programa, automáticamente se muestra un aviso que indica la acción a tomar (como se evidencia en las siguientes imágenes), y en caso de requerir ajuste, en el lado derecho se muestran las materias primas con sus respectivos % y cantidades de adición.

- Producto con propiedades en rango

**PPG** PROCEDIMIENTO - *Esfuerzo de tinturación & Sólidos Bases L (PMC)*

Seleccione la base **Base Tinturable 2**

Prop.	Valor real	Límites rango		Unidad
		Inferior	Superior	
Sólidos	63.00	<b>62.00</b>	<b>64.00</b>	%
Esfuerzo Tint	101.00	<b>98.00</b>	<b>102.00</b>	%

*Producto en rango*

	Cant.	Unidad
Cantidad de lote		kg

**RESET**

*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

Si el producto se encuentra en rango, el programa indica que no hay que realizar ningún ajuste.

- Producto desviado ajustable.

**PPG** PROCEDIMIENTO - *Esfuerzo de tinturación & Sólidos Bases L (PMC)*

Seleccione la base **Base Tinturable 2**

Prop.	Valor real	Límites rango		Unidad
		Inferior	Superior	
Sólidos	62.00	<b>62.00</b>	<b>64.00</b>	%
Esfuerzo Tint	103.00	<b>98.00</b>	<b>102.00</b>	%

*Puede realizar su ajuste.*

	Cant.	Unidad
Cantidad de lote	250.00	kg

**RESET**

*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
<b>R-BT-2</b>	% Adición	<b>4.23</b>	%
	Cantidad para el lote	<b>10.58</b>	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
<b>S-BT-2</b>	% Adición	<b>1.26</b>	%
	Cantidad para el lote	<b>3.15</b>	kg

El programa muestra el aviso "Puede realizar su ajuste", y en la parte derecha se indican las cantidades de adición requeridas para ajustar el producto.

- Producto desviado no ajustable.



Seleccione la base **Base Tinturable 2**

Prop.	Valor real	Límites rango		Unidad
		Inferior	Superior	
Sólidos	60.00	62.00	64.00	%
Esfuerzo Tint	99.00	98.00	102.00	%

**No es posible ajustar  
Delegar a la Div. Técnica.**

	Cant.	Unidad
Cantidad de lote	250.00	kg

*Ajuste adicionando las siguientes cantidades*

RESINA		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

SOLVENTE		Cant.	Unidad
-	% Adición	-	%
-	Cantidad para el lote	-	kg

Se muestra el aviso que indica que no es posible ajustar el producto por medio del programa y pide delegar el caso a la división técnica, puesto que requiere un ajuste especial.

5. Seguir las indicaciones del programa para ajustar el producto y utilizar el botón **RESET** para limpiar los datos.