



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA
LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD
ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES**

Natali Milián Pinelo

Asesorado por el Ing. Sergio Alejandro Recinos

Guatemala, octubre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA
LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD
ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NATALI MILIÁN PINELO

ASESORADO POR EL ING. SERGIO ALEJANDRO RECINOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento de los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presente a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACCELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha febrero de 2019.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the name Natali Milián Pinelo.

Natali Milián Pinelo

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 04 de marzo de 2022.
REF.EPS.DOC.98.03.2022.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Natali Milián Pinelo** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201314261**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSION Y SECANTES”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Sergio Alejandro Recinos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
SAR/ra

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 04 de marzo de 2022.
REF.EPS.D.66.03.2022.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSION Y SECANTES"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Natali Milián Pinelo, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra



Guatemala, 21 de julio de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.015.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **089-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Natali Milián Pinelo**.
Identificado con número de carné: **2858726990101**.
Identificado con registro académico: **201314261**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Tema han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Sergio Alejandro Recinos, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



William Eduardo Faciani Cruz
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.181.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES**, presentado por: **Natali Milián Pinelo**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Williams G. Alvarez M.S., M.U.I.E.
DIRECCIÓN
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, septiembre de 2022.

LNG.DECANATO.OI.632.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE PINTURA BASE SOLVENTE ORGÁNICO EN PLANTA SUPERBIA, PARA LOS COLORES BLANCO Y NEGRO MEDIANTE EL MÉTODO DE ESTABILIDAD ACELERADA Y MECÁNICA AL MODIFICAR RESINA, EMULSIÓN Y SECANTES**, presentado por: **Natali Milián Pinelo**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por bendecirme y guiarme en cada momento de mi vida.
Mi madre	Claudia Pinelo por su apoyo comprensión y amor incondicional. Mi ejemplo a seguir.
Mi padre	Eduardo Milián por su apoyo y guía en este proceso.
Mi hermano	Carlos Milián por ser mi alegría y apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y los conocimientos adquiridos en ella.
Facultad de Ingeniería	Por las enseñanzas a través de mis catedráticos.
Mis tías	Luisa, Jennifer Juárez, Rosemary García y Rosina Chávez por ser mis amigas y apoyo en los momentos buenos y malos de mi vida.
Mis abuelos	Gilda Valenzuela, Graciela Ramos y Luis Juárez por todo su amor.
Mis amigos	Luis Morales, Willian Marroquín, Lissa Quiroa, Julissa Marroquín, Karin Santos y Joaquín Us por todos los momentos compartidos y su incondicional apoyo.
Mi asesor	Sergio Recinos por su apoyo en la ejecución de mi proyecto y todo su proceso.
Mi revisor	William Fagiani por compartir su conocimiento y paciencia en este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Pintura	3
2.1.1. Pinturas a base de solventes inorgánicos	3
2.1.2. Pinturas a base de solventes orgánicos	4
2.1.3. Composición de la pintura	4
2.2. Pigmento.....	5
2.3. Vehículo.....	6
2.3.1. Vehículo no volátil.....	6
2.3.2. Vehículo volátil.....	8
2.4. Cargas	8
2.5. Aditivos	9
2.5.1. Secantes.....	9
2.5.2. Humectantes y dispersantes.....	10
2.5.3. Antifloculantes o antiglomerantes	11
2.5.4. Antipiel.....	11

2.5.5.	Antioxidantes.....	11
2.5.6.	Agente Reológico	11
2.5.7.	Antiespumantes.....	11
2.5.8.	Biocidas.....	12
2.6.	Propiedades a evaluar en la pintura	12
2.6.1.	Viscosidad	12
2.6.2.	Sólidos por peso.....	13
2.6.3.	Densidad	13
2.6.4.	Fineza.....	14
2.6.5.	Brillo	15
2.6.6.	Blancura	16
2.6.7.	Radio de contraste (RC).....	16
2.6.8.	Tiempo de secado.....	16
2.6.9.	Estabilidad.....	16
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	19
3.1.	Variables.....	20
3.1.1.	Independientes.....	20
3.1.2.	Dependientes	20
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	21
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	21
3.4.	Recurso material disponible	21
3.4.1.	Material y equipo	22
3.4.2.	Reactivos.....	23
3.5.	Técnica cuantitativa	23
3.5.1.	Formulación.....	24
3.5.2.	Preparación de pintura y almacenamiento	25
3.5.3.	Dispersión de emulsión (para pruebas 2 y 3).....	26

3.5.4.	Preparación de una nueva emulsión (para prueba 5)	26
3.5.5.	Ensayos.....	27
3.5.5.1.	Viscosidad	27
3.5.5.2.	Peso por galón (densidad).....	27
3.5.5.3.	Sólidos por peso	28
3.5.5.4.	Fineza.....	29
3.5.5.5.	Radio de contraste.....	29
3.5.5.6.	Brillo.....	30
3.5.5.7.	Tiempo de secado	30
3.5.5.8.	Blancura	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	32
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	33
3.8.	Análisis porcentual.....	34
4.	RESULTADOS	37
4.1.	Pintura blanca	37
4.2.	Pintura negra	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APÉNDICES	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Viscosímetro Stormer	13
2.	Brillómetro	15
3.	Diagrama de flujo del procedimiento	31
4.	Densidad en estabilidad acelerada	37
5.	Densidad en estabilidad mecánica	38
6.	Viscosidad en estabilidad acelerada	38
7.	Viscosidad en estabilidad mecánica.....	39
8.	Sólidos por peso en estabilidad acelerada	39
9.	Sólidos por peso en estabilidad mecánica	40
10.	Fineza en estabilidad acelerada.....	40
11.	Fineza en estabilidad mecánica	41
12.	Radio de contraste en estabilidad acelerada.....	41
13.	Radio de contraste en estabilidad mecánica	42
14.	Blancura en estabilidad acelerada	42
15.	Blancura en estabilidad mecánica.....	43
16.	Brillo a 20 ° en estabilidad acelerada	43
17.	Brillo a 20 ° en estabilidad mecánica.....	44
18.	Brillo a 60 ° en estabilidad acelerada	44
19.	Brillo a 60 ° en estabilidad mecánica.....	45
20.	Brillo a 85 ° en estabilidad acelerada	45
21.	Brillo a 85 ° en estabilidad mecánica.....	46
22.	Tiempo de secado en estabilidad acelerada	46
23.	Tiempo de secado en estabilidad mecánica.....	47

24.	Densidad en estabilidad acerada	48
25.	Densidad en estabilidad mecánica	48
26.	Viscosidad en estabilidad acerada.....	49
27.	Viscosidad en estabilidad mecánica	49
28.	Sólidos por peso en estabilidad acerada	50
29.	Sólidos por peso en estabilidad mecánica	50
30.	Fineza en estabilidad acerada	51
31.	Fineza en estabilidad mecánica.....	51
32.	Radio de contraste en estabilidad acerada	52
33.	Radio de contraste en estabilidad mecánica.....	52
34.	Brillo a 20 ° en estabilidad acerada.....	53
35.	Brillo a 20 ° en estabilidad mecánica	53
36.	Brillo a 60 ° en estabilidad acerada.....	54
37.	Brillo a 60 ° en estabilidad mecánica	54
38.	Brillo a 85 ° en estabilidad acerada.....	55
39.	Brillo a 85 ° en estabilidad mecánica	55
40.	Tiempo de secado en estabilidad acerada.....	56
41.	Tiempo de secado en estabilidad mecánica	56

TABLAS

I.	Relación de escalas de medición de fineza	14
II.	Pruebas de pintura a realizar	24
III.	Materia prima a utilizar en las pinturas	25
IV.	Datos para la pintura blanca	33
V.	Datos para la pintura negra.....	34

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grado Celsius
g	Gramo
H	Hegman
h	Horas
lb/gal	Libras-galón
()	Paréntesis
PXG	Peso por galón
%	Porcentaje
RC	Radio de contraste
=	Signo igual
GU	Unidades de brillo
KU	Unidades de Krebs

GLOSARIO

ASTM	Por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials. Organismo de normalización sobre las características y comportamiento de materiales en distintas industrias.
ASTM D1210	Método de prueba estándar para la fineza de la dispersión de los sistemas de pigmentos de vehículos del tipo Hegman.
ASTM D1849-95	Método de prueba estándar para la estabilidad de pintura.
ASTM D523	Método de prueba estándar para brillo.
ASTM D562	Método de prueba estándar para la consistencia de pinturas usando un viscosímetro Stormer.
ASTM D5895	Método de prueba estándar para evaluar el secado o el curado durante la formación de película de recubrimientos orgánicos utilizando grabadoras mecánicas.
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)	Son contaminantes del aire y cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno, reaccionan para formar ozono.

Dureza Mohs	Escala de dureza muy utilizada en identificación mineral, sobre todo en trabajos de campo.
Espectrofotómetro	Dispositivo fotométrico que mide la transmitancia espectral, la reflectancia espectral o la emisión espectral relativa.
Gelificado	Proviene de gelificar. Transformarse en un gel u originarlo.
Lenetas	Cartulinas con áreas blancas y negras, para control de opacidad y color.
Ligante	Productos cuya misión consiste en mantener unida en forma homogénea toda la composición de la pintura.
Poder cubriente / radio de contraste / RC	Capacidad de una pintura para ocultar el soporte sobre el que se aplica.
Policondensación	También llamada polimerización por condensación. Reacción química en la cual el polímero final se origina mediante sucesivas uniones entre monómeros.
Suspensión	Mezclas formadas por un sólido que se dispersa en un medio líquido.

Reflectancia lumínica Reflectancia difusa espectral promediada sobre las longitudes de onda del visible y normalizada adecuadamente.

Tixotropía Propiedad de una pintura formar una viscosidad falsa, es decir, formar un cuerpo gelificado que se destruye fácilmente al agitarlo.

RESUMEN

Se evaluó una pintura blanca y una pintura negra a base de solventes orgánicos variando en su formulación resina, emulsión y secantes; posterior a la formulación se pasó cada prueba de pintura por el método de estabilidad acelerada y mecánica usando para ello un horno de estabilidad a 50 °C y un rodillo giratorio respectivamente.

Se analizaron las propiedades de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo, tiempo de secado y blancura al inicio, 2 semanas y 4 semanas para poder determinar que combinación de resina, emulsión y secantes es la que proporciona mejores resultados con respecto a la variación de sus propiedades.

La mejor fórmula de pintura en estabilidad acelerada y mecánica en la pintura blanca es la numero 5 con una nueva fórmula de emulsión, mientras que en la pintura negra es la numero 9, con la adición de complejo de cobalto al 0,2 %.

El proyecto se desarrolló en Planta Superbia, ubicada en el km 63,5 de la Carretera Antigua al Puerto San José.

OBJETIVOS

General

Evaluar los parámetros de calidad de distintas formulaciones para la pintura a base de solventes orgánicos blanca y negra de la planta Superbia, por el método de estabilidad acelerada y mecánica además del cambio en sus propiedades modificando resina, emulsión y secantes para mejorar la fórmula que se produce actualmente.

Específicos

1. Determinar para cada prueba de pintura blanca y negra los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo, blancura y tiempo de secado a las 2 semanas y 4 semanas.
2. Graficar los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo, blancura y tiempo de secado para las pruebas de pintura blanca en estabilidad acelerada y estabilidad mecánica.
3. Graficar los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo y tiempo de secado para las pruebas de pintura negra en estabilidad acelerada y estabilidad mecánica.

4. Estimar mediante las gráficas realizadas, los parámetros óptimos para discriminar la fórmula de pintura con mejor estabilidad acelerada y mecánica.

HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación nula (H_0)

H_{01} : No existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, ratio de contraste, tiempo de secado, blancura y brillo para la pintura blanca al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.

H_{02} : No existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, ratio de contraste, tiempo de secado y brillo para la pintura negra al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.

Hipótesis de investigación alternativa (H_a)

H_{a1} : Si existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, ratio de contraste, tiempo de secado, blancura y brillo para la pintura blanca al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.

H_{a2} : Si existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, ratio de contraste, tiempo de secado y brillo para la pintura negra al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.

INTRODUCCIÓN

La producción y uso de pinturas se remonta a muchos años atrás, no solo por el tema decorativo y estético, sino también como medio de protección a superficies o recubrimientos arquitectónicos. Actualmente se busca que la pintura cumpla con ambos aspectos, tanto decorativos como de protección, es decir, que al ser aplicados sobre pared, metal, concreto y madera; tengan un mayor rendimiento, durabilidad y aspecto estético.

Las pinturas pueden clasificarse con base en su precio, tipo de protección, tipo de superficie o disolvente utilizado. Según el último criterio estas pueden ser a base de solventes orgánicos o solventes inorgánicos.

El presente trabajo se enfoca en las pinturas a base de solventes orgánicos. Las pinturas están constituidas por sólidos dispersados en un medio fluido, que recibe el nombre de vehículo, la fase de sólidos dispersos recibe el nombre de vehículo volátil y el medio fluido corresponde al vehículo no volátil. También poseen pigmentos y cargas los cuales se diferencian entre sí por medio de su índice de refracción, por último, se encuentran los aditivos que son sustancias que se añaden en pequeña proporción para modificar o mejorar las propiedades a la pintura; como los secantes.

1. ANTECEDENTES

En 1985 Grupo Solid monta su primera planta de producción ubicada en Villa Nueva, la cual recibía el nombre de Pincasa; debido a su amplio crecimiento en 2012 decide trasladarse a Escuintla donde pasa a ser planta Superbia. Año con año, planta Superbia busca la manera de mejorar sus productos ya existentes y su vez crear nuevos e innovadores productos.

En el campo de estudio de estabilidad acelerada se encuentran pocas investigaciones, actualmente en Guatemala no existe una investigación de estabilidad acelerada en pinturas. Una prueba de estabilidad acelerada en pinturas se realiza durante 4 semanas y sirve para simular algunos de los efectos de almacenamiento de pintura de 6 meses a 1 año.

En el año 2014, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, se realizó un trabajo de graduación en donde se sometió a pruebas de estabilidad acelerada a un insecticida con xileno y al mismo insecticida con Solvesso, “se determinó que puede sustituirse el Solvesso por xileno en el insecticida ya que el contenido activo de las muestras se mantiene estable durante el periodo de tiempo de realización del estudio”¹.

¹ FUENTES JOACHÍN, Cynthia Lisbeth. *Evaluación del cambio de xileno por un solvente comercial como vehículo en la formulación de un insecticida, mediante el estudio de estabilidad acelerada realizado en la planta Bayer*. p. XXI.

Por otro lado, sobre estabilidad acelerada en pinturas y recubrimientos en el año 2001, en México, “se realizó la investigación en el cual se sometió a pruebas de estabilidad acelerada a dos barnices para exteriores, aplicados sobre madera de encino y pino”²; y con ello se determinó el tiempo promedio en que se debe aplicar barniz nuevamente en cada superficie.

La pintura blanca y negra de Planta Superbia, al momento de ser fabricada cumplía con los parámetros de control de calidad, sin embargo, con el tiempo la pintura tendía a gelarse además de poseer un secado prolongado en comparación con el aprobado al inicio. Por ello se realiza una evaluación de ambas pinturas en estabilidad acelerada y se comprueba que con el paso del tiempo la pintura tiende a desviarse de sus valores iniciales en las propiedades de viscosidad, RC, brillo, blancura y secado.

Planta Superbia realiza la prueba denominada por ellos estabilidad mecánica, con la cual se observa si la pintura posee la capacidad de mantener sus propiedades cuando es sometida a fuerzas internas o externas, en este caso, el movimiento puede causar que la emulsión de las pinturas se rompa y provocar desviación de sus valores iniciales en las propiedades de viscosidad, RC, brillo, blancura y secado.

Por lo cual se pretende encontrar la prueba de pintura que presente mejor estabilidad acelerada y mecánica con respecto a la formula actual, es decir, la prueba Control.

² SÁNCHEZ, Zamudio. *Determinación a través de pruebas aceleradas, de la vida útil del acabado para exteriores en madera de encino y pino.* p. 99.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pintura

“Las pinturas son productos que se aplican a superficies por diversos métodos y equipos en capas de un grosor determinado; la superficie a la cual se recubre con pintura recibe el nombre de sustrato”³.

Las pinturas pueden ser utilizadas para solución de problemas estéticos, por protección o ambos.

- Uso estético: utilizados para lograr un efecto decorativo.
- Uso protector: utilizado en superficies a medio de protegerlas del medio ambiente.
- Uso mixto: cuando se requiere que la superficie cumpla un efecto estético además de protección.

Las pinturas pueden dividirse con base en su disolvente

2.1.1. Pinturas a base de solventes inorgánicos

Pueden utilizarse para interiores como exteriores, se caracterizan por utilizar agua como solvente. Entre las ventajas de utilizar esta pintura se encuentra:

³ FREITAG, Werner; STOYE, Dieter. *Paints, Coatings and Solvents*. p. 3.

- Secado rápido: su tiempo de secado suele ser menor al de las pinturas en base aceite.
- Olor suave: al estar diluidas en agua, el olor que desprenden suele ser más suave que el de las bases de solventes orgánicos.
- Diversidad de acabados: puede encontrarse en acabado mate, brillante y satinado.

Un aspecto a destacar de las pinturas base agua es su resistencia a la alcalinidad.

2.1.2. Pinturas a base de solventes orgánicos

Tienen como parte de su formulación solventes orgánicos los cuales son derivados del petróleo, por ello presentan un gran número de compuestos orgánicos volátiles, los cuales se abrevian según sus siglas en inglés (VOC), esto los hace dañinos para la capa de ozono y se consideran con base en ello como pinturas poco ecológicas.

La desventaja de estas pinturas es que presentan un secado lento comparado con las pinturas a base de solventes inorgánicos. Entre sus ventajas destacan un acabado más duro y resistente, por ello son preferidas para superficies que se encuentran al aire libre.

2.1.3. Composición de la pintura

Los componentes de una pintura pueden variar por el tipo de acabado que se requiera además de las condiciones de aplicación y secado, la composición genérica de la pintura es la siguiente:

- Pigmento
- Vehículo
- Cargas
- Aditivos

2.2. Pigmento

Sustancias finas cristalinas cuyo uso está orientado a definir el color del producto terminado.

En la industria de pinturas predomina ampliamente el color blanco. El bióxido de titanio (TiO₂) es un producto de gran consumo en la industria de pinturas y por su costo, un factor muy importante en las formulaciones es el clásico pigmento blanco hasta hoy insuperable y sin sustitución en sus propiedades de pigmento.⁴

Los pigmentos presentan las siguientes propiedades:

- Poder cubriente
- Color
- Retención de color
- Tamaño y forma de partícula
- Capacidad de humectación
- Absorción de aceite
- Reactividad química
- Estabilidad a la luz
- Resistencia al calor
- Fluorescencia
- Índice de reflexión

⁴ SCHWEIGGER, Enrique. *Manual de Pinturas y Recubrimientos Plásticos*. p. 18.

2.3. Vehículo

Generalmente el vehículo es un líquido que por medio de suspensión lleva al pigmento y brinda rendimiento a la pintura. Este se divide en el vehículo no volátil o formador de película y el vehículo volátil que son los solventes.

2.3.1. Vehículo no volátil

El vehículo no volátil puede ser un ligante o resina dependiendo de las características que se deseen en la pintura, entre sus funciones se encuentran:

- Mantener unidas a las partículas sólidas, pigmentos y cargas.
- Brindar la adherencia necesaria.
- Formar la película de la pintura.
- Dureza y flexibilidad de la pintura
- Estabilidad a la temperatura
- Resistencia al cambio de color o amarillamiento
- Resistencia al agua
- Resistencia al Sol
- Resistencia a las agresiones químicas

La resina estabiliza y define las propiedades de la pintura, protege los pigmentos y así mismo la superficie.

En las pinturas base aceite se utilizan las resinas alquídicas, ellas son productos derivados de la policondensación de un ácido polibásico y un alcohol polihídrico modificado con ácidos grasos monobásicos o sus triglicéridos. Se utiliza la abreviatura alkyd; estos son entonces poliésteres modificados con aceites o ácidos grasos.

Existen varias formas de clasificar a las resinas alquídicas:

- De acuerdo a su composición
 - Alquídico puro: se define como el polímero formado únicamente por la combinación del anhídrido ftálico, glicerina o pentaeritritol como polioles y ácidos grasos saturados o insaturados como modificantes primarios de ácidos monobásicos.
 - Alquídico modificado: se denomina a la resina alquídica en cuya composición intervienen compuestos diferentes a los que participan en alquídicas puras.
- Según su contenido de ácidos grasos: Con base en la clase de ácido graso monobásico presente en la estructura del poliéster
 - Secantes: el ácido graso monobásico tiene en su estructura una insaturación y está presente en suficiente cantidad como para provocar que una película de un grosor delgado de la resina pueda polimerizar en la presencia de oxígeno a temperatura ambiente.
 - No secantes: la cantidad de la estructura insaturada en el ácido monobásico es tan pequeña o nula que ninguna polimerización ocurre con presencia de oxígeno.

Una emulsión es una suspensión concentrada de partículas discretas y esféricas relativamente pegajosas de un material resinoso en agua.

2.3.2. Vehículo volátil

El vehículo no volátil lo constituye los solventes, su función principal es disolver la sustancia ligante y ajustar así la viscosidad de la pintura para permitir su aplicación. Entre las propiedades que aportan se encuentran las siguientes:

- Influyen en la reología: Si se trata de solventes hidrofóbicos aumentan el cizallamiento bajo; por otro lado, si se trata de solventes higrofilicos refuerzan el cizallamiento alto.
- Influyen en el tiempo de secado: Estos ascienden a la superficie de la pintura al ser aplicados y pueden acelerar o reducir la evaporación.

Los solventes pueden clasificarse según su composición en orgánicos e inorgánicos.

2.4. Cargas

“Cargas son los materiales minerales inertes micronizados. El índice de refracción para las cargas es menor a 1,7”⁵.

Las características importantes de las cargas son las siguientes:

- Composición Química
- Granulometría
- Morfología
- Peso específico

⁵ SCHWEIGGER, Enrique. *Manual de Pinturas y Recubrimientos Plásticos*. p. 30.

- Color
- Dureza Mohs.

Y entre las propiedades que brinda se encuentran:

- Viscosidad y fluidez del producto
- Formación de grietas al secado
- Poder cubriente
- Porosidad y permeabilidad
- Resistencia al frote en húmedo.

2.5. Aditivos

Productos químicos los cuales se agregan a la pintura en pequeña proporción, su objetivo es el de modificar propiedades y ajustar a la pintura a diversos requerimientos.

2.5.1. Secantes

Su función es la de facilitar la absorción de oxígeno y con ello acelerar el proceso de secado. Los secantes se pueden clasificar en secantes activos y secantes auxiliares.

Los secantes activos son los que cumplen su función absorbiendo y transfiriendo oxígeno a temperatura ambiente, entre ellos se encuentran:

- Cobalto: es el secante más usado, actúa como secante de superficie.

- **Manganeso:** al utilizar únicamente secantes de manganeso se obtienen películas de pintura duras y brillantes. Una de sus desventajas es que, debido a su color oscuro, posee la tendencia de teñir o decolorar los acabados blancos o brillantes.

Los secantes auxiliares mejoran la eficiencia de los secantes activos durante el proceso de secado de profundidad, entre ellos se encuentran:

- **Calcio:** ayuda a mejorar la dureza y reduce la formación de piel y grietas.
- **Estroncio:** mejora la estabilidad al almacenaje y además baja la tendencia a un efecto gel en la pintura.
- **Zirconio:** presenta una baja tendencia al amarillamiento al momento de ser aplicado en pintura.
- **Zinc:** permite la difusión de oxígeno, es decir, da apertura a la película y con ello retarda el secado superficial permitiendo un secado completo.

2.5.2. Humectantes y dispersantes

Estos acelerarán la humectación y dispersión de las cargas y pigmentos sin incrementar la formación de espuma, además que permiten estabilizar la dispersión de cargas y pigmentos durante un tiempo prolongado.

2.5.3. Antifloculantes o antiglomerantes

Su función es que las partículas pigmentarias que han sido dispersadas en la resina durante el proceso de fabricación de pintura no vuelven a reaglomerarse porque de hacerlo causan manchas en el acabado.

2.5.4. Antipiel

Aditivo que se encarga de evitar la formación de piel, es decir, nata dentro del envase de pintura durante su tiempo de almacenamiento.

2.5.5. Antioxidantes

Pueden cumplir dos funciones; la primera función es la de prevenir que se oxide el envase en el cual se encuentra almacenada la pintura y la segunda función consiste en evitar que la pintura sufra de oxidación al momento de encontrarse a la intemperie y que con ello pierda sus propiedades protectoras.

2.5.6. Agente Reológico

Su función es la de mejorar de forma significativa las propiedades relacionadas con la aplicación, entre ellas se puede mencionar la de espesantes y estabilizantes.

2.5.7. Antiespumantes

Evitan la incorporación de aire en pinturas base agua durante el proceso de aplicación; con ello se disminuye la formación de burbujas en la pintura durante su aplicación.

2.5.8. Biocidas

En las pinturas base agua o base solventes inorgánicos se contiene muchos compuestos esenciales para la vida microbiana; por ello se requiere de biocidas para proteger la pintura de la contaminación y deterioro causado por los microorganismos.

Los efectos del crecimiento de vida microbiana en la pintura pueden ser pérdida de viscosidad, mal olor, cambio de pH y decoloración.

En las pinturas base solventes orgánicos no se ve la necesidad de utilizar un biocida ya que la vida microbiana existente no es significativa como para descomponer la pintura.

2.6. Propiedades a evaluar en la pintura

Dentro de las propiedades a evaluar en la pintura se encuentran la viscosidad, sólidos por peso, densidad, fineza, brillo, blancura, radio de contraste, tiempo de secado y estabilidad.

2.6.1. Viscosidad

La viscosidad absoluta se define como una propiedad de los fluidos sobre la resistencia que poseen al movimiento de sus partículas al ser sometidos a un esfuerzo cortante.

Para medir esta viscosidad puede utilizarse el viscosímetro Stormer, este consiste en un rotor con aspas o paletas que se sumerge en el líquido sobre el

que se desea saber su viscosidad y gira hasta 200 revoluciones por minuto, la norma para medir la viscosidad en este aparato es la ASTM D562.

Figura 1. **Viscosímetro Stormer**



Fuente: Instrumentación Analítica, S.A. *Viscosímetro*.
<http://www.instru.es/producto.php?fm=pinturas-espumas-tintas&gm=viscosidad&idsub=109&id=196>. Consulta: 3 de noviembre de 2018.

2.6.2. Sólidos por peso

La medición de sólidos por peso es de las pruebas más utilizadas en mediciones de pinturas y recubrimientos; este es el porcentaje de materia sólida en peso, es decir, materia no volátil contenida en la pintura.

2.6.3. Densidad

Se define por densidad al peso por unidad de volumen a una temperatura específica; para calcular la densidad en pinturas se utilizan copas de densidad.

En la industria se utiliza el término peso por galón, por lo que la densidad debe darse en unidades de libra y galón.

2.6.4. Fineza

Los materiales sólidos suelen convertirse en finas partículas para dispersión en vehículos líquidos, y el grado en que estos se encuentren aglomerados da la fineza. La manera de determinar la fineza se indica en la ASTM D1210.

Un grindómetro es el aparato que sirve para determinar la fineza consiste en un bloque plano de acero con dos ranuras en las cuales varia su profundidad. Puede encontrarse en la escala de micras, mils o la escala Hegman.

La escala Hegman también se conoce como National Standard, abreviada como NS, por sus siglas en ingles. La escala Hegman va de 0 a 8, siendo el número más alto de Hegman el que determina la partícula más pequeña.

La relación entre las escalas de medición es la siguiente:

Tabla I. **Relación de escalas de medición de fineza**

Hegman	Micra	Mils
0	100	4
4	50	2
8	0	0

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

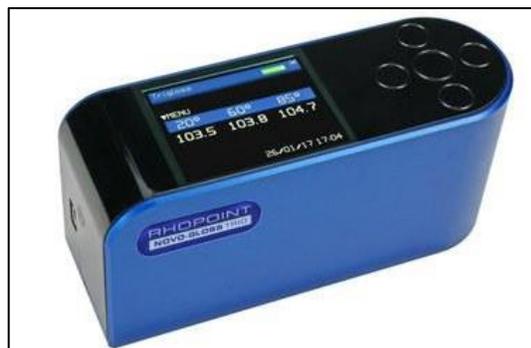
2.6.5. Brillo

El brillo es una percepción visual de los objetos, este se mide dirigiendo un haz de luz determinado a la superficie y cuantificando la luz reflejada.

La norma ASTM D523, describe tres ángulos de medición para medir el brillo en todas las superficies, el brillo se mide en unidades de brillo (GU), por sus siglas en ingles. Los ángulos a los cuales se puede medir son:

- Estándar: medición a 60 °, se utiliza como un ángulo de referencia en conjunto con los ángulos complementarios de 85 ° y 20 °.
- Bajo brillo: medición a 85 °.
- Alto brillo: medición a 20 °.

Figura 2. **Brillómetro**



Fuente: Neurtek Instruments. *Brillómetro*. <https://www.neurtek.com/es/color-y-brillo/brillometro/brillometro-novo-gloss->. Consulta: 3 de noviembre de 2018.

2.6.6. Blancura

La blancura en pinturas es definida por la Comisión Internacional de Iluminación abreviada como (CIE), por sus siglas en inglés. Para facilitar su medición se utiliza el programa Data Color.

2.6.7. Radio de contraste (RC)

El RC se define como el cociente de la reflectancia lumínica de la película de pintura aplicada sobre un sustrato negro entre la reflectancia lumínica de la película aplicada sobre un sustrato blanco. El radio de contraste indica el porcentaje de cubrimiento que tiene la pintura. Para obtener el valor de RC, se hace uso del programa Data Color.

2.6.8. Tiempo de secado

El tiempo de secado puede determinarse mediante un ensayo mecanizado haciendo uso de un registrador de tiempo de secado, en el cual se colocan vidrios con una película de pintura como lo indica la norma ASTM D5895.

2.6.9. Estabilidad

La estabilidad acelerada es el método utilizado para estimar los cambios en las propiedades con el tiempo bajo distintas condiciones de almacenamiento, determinando si la calidad del producto se ve afectada. Se debe analizar a distintos periodos de tiempo las propiedades del producto requerido con base en su valor inicial para notar si el cambio es representativo. La norma que se puede utilizar es al ASTM D1849-95.

La estabilidad mecánica, se define como la capacidad que posee un cuerpo a mantener sus propiedades cuando es sometido a fuerzas o perturbaciones internas o externas.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Se realizó diferentes pruebas con pintura blanca y negra base a base de solventes orgánicos al modificar en su fórmula resina, emulsión y secantes. Para determinar que el comportamiento de las pinturas a trabajar es aceptable, estas deben poseer dos características importantes las cuales son un secado moderado, no mayor a 24 horas y una viscosidad que permita su aplicación.

Se realizó pruebas de estabilidad acelerada y mecánica donde se evaluó las siguientes propiedades:

- Viscosidad, en unidades de Krebs, como lo indica la norma ASTM D562.
- Porcentaje de sólidos por peso, el cual indica la cantidad de materia no volátil contenida en la pintura.
- Densidad, calculada en unidades de libra por galón.
- Fineza, en la escala Hegman, para ver el grado de aglomeración de partículas en la pintura como se indica en la ASTM D1210.
- Brillo, en GU, como se indica en la ASTM D523.
- Radio de contraste, en porcentaje, que indica la opacidad en seco de la pintura.

- Secado, en horas, utilizando un registrador de tiempo de secado, como se indica en la ASTM D5895.
- Blancura, en porcentaje, la cual se evaluará solo en la pintura blanca.

3.1. Variables

Las variables que son utilizadas para la investigación se dividen en dependientes e independientes, estas se describen a continuación.

3.1.1. Independientes

Las variables independientes para el estudio son las siguientes:

- Resina (g)
- Emulsión (g)
- Cobalto (g)
- Calcio (g)
- Zirconio (g)
- Complejo de Cobalto (g)

3.1.2. Dependientes

Las variables dependientes para el estudio son las siguientes:

- Densidad (lb/gal)
- Viscosidad (KU)
- Sólidos por peso (%)
- Fineza (H)

- RC (%)
- Blancura (%)
- Brillo (GU)
- Tiempo de secado (h)

3.2. Delimitación de campo de estudio

El campo de estudio abarca a la pintura blanca y negra a base de solventes orgánicos y distintas experimentaciones variando resina, emulsión y secantes de sus componentes. El estudio se realizó en planta Superbia ubicada en el km 63,5 Carretera Antigua a Puerto San José.

3.3. Recursos humanos disponibles

Se contó con el personal de Planta Superbia. También se contó con las personas que supervisaron la ejecución, elaboración y revisión del proyecto:

- Desarrollo del proyecto: Natali Milián Pinelo
- Asesor y supervisor-asesor unidad EPS: Ing. Alejandro Recinos
- Supervisor de ejecución: Ing. Gisela Medinilla
- Revisor Escuela de Ingeniería química: Ing. William Fagiani

3.4. Recurso material disponible

Dentro de los recursos materiales disponibles se describen a continuación los materiales, equipos y reactivos.

3.4.1. Material y equipo

Los materiales y equipos disponibles para realizar la investigación son los siguientes:

- Balanzas
- Espectrofotómetro Data Color 600SF.
- Mezclador de pintura
- Horno de estabilidad a 50 °C
- Horno a 150 °C
- Rodillo giratorio
- Charolas de aluminio
- Registrador de tiempo de secado
- Vidrios de secado
- Dispensor, en un rango de 700 a 2 700 rpm
- Beaker de acero inoxidable
- Algodón
- Espátula
- Brocha
- Cuartos de galón de acero inoxidable
- Octavos de galón de acero inoxidable
- Copa de densidad de pintura
- Viscosímetro Stormer
- Grindómetro Hegman
- Lenetas
- Aplicador de barra a 6 mils
- Aplicador de barra a 3 mils
- Medidor de brillo

- Computadora de escritorio/ portátil
- Beakers
- Aplicador de película
- Baterías para medidor de brillo

3.4.2. Reactivos

Los reactivos disponibles para llevar a cabo la investigación son los siguientes:

- Resina
- Emulsión
- Cobalto
- Calcio
- Zirconio
- Concentrado de dióxido de titanio
- Antipiel
- Tinte negro
- Solvente Mineral
- Emulsionante
- Agua
- Complejo de Cobalto

3.5. Técnica cuantitativa

Las técnicas cuantitativas permiten realizar un proceso de recolección de datos.

3.5.1. Formulación

Se realizaron los cálculos para preparar medio galón de cada prueba de pintura a realizar como lo indica la tabla I.

Tabla II. **Pruebas de pintura a realizar**

No.	Definición	Pintura Blanca	Pintura Negra
Control	Formula actual	x	x
Prueba 1	Emulsión realizada en planta/Resina externa	x	x
Prueba 2	Emulsión realizada en planta (dispersada en laboratorio)/Resina planta	x	x
Prueba 3	Emulsión realizada en planta (dispersada en laboratorio)/Resina externa	x	x
Prueba 4	Emulsión realizada en laboratorio/Resina planta	x	x
Prueba 5	Nueva fórmula de Emulsión/Resina planta	x	x
Prueba 6	Variar cobalto, zirconio y calcio al 0,06 %, 0,17 % y 0,21 % respectivamente		x
Prueba 7	Variar cobalto, zirconio y calcio al 0,12 %, 0,10 % y 0,20 % respectivamente		x
Prueba 8	Añadir Complejo de Cobalto al 0,1 %		x
Prueba 9	Añadir Complejo de Cobalto al 0,2 %		x

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Planta Superbia fábrica las resinas utilizadas en la pintura negra y blanca de la línea baja; por lo que según la Tabla II; la resina planta, es la fabricada en planta Superbia y la resina externa, se refiere a una proporcionada por un proveedor.

3.5.2. Preparación de pintura y almacenamiento

Para la preparación y almacenamiento de la pintura se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Se ubicaron las materias primas en Superbia.
- Se pesó en el recipiente de acero inoxidable las materias primas a utilizar para preparar medio galón.

Tabla III. **Materia prima a utilizar en las pinturas**

Pintura Blanca	Pintura Negra
Concentrado de dióxido de titanio	Tinte negro
Emulsión	Emulsión
Resina	Resina
Antipiel	Antipiel
Cobalto	Cobalto
Calcio	Calcio
Zirconio	Zirconio

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 365, con datos de Planta Superbia.

- Se utilizó el mezclador de pintura.
- Se trasladó la pintura a dos recipientes de un octavo de galón y un recipiente de un cuarto de galón.
- Se identificó los tres recipientes con el número de prueba.
- Se colocó el cuarto de galón a exposición a temperatura ambiente.
- Se colocó un octavo de galón en el horno a 50 °C, y se midió nuevamente sus propiedades a las 2 y 4 semanas.
- Se colocó un octavo de galón en el rodillo giratorio, y se midió nuevamente sus propiedades a las 2 y 4 semanas.

3.5.3. Dispersión de emulsión (para pruebas 2 y 3)

- Se ubicaron las materias primas en el laboratorio
- Se añadió en un recipiente de acero inoxidable la emulsión de planta Superbia y se colocó en el dispersor
- Se dispersó por media hora

3.5.4. Preparación de una nueva emulsión (para prueba 5)

- Se ubicaron las materias primas en el laboratorio.
- Se pesó en un recipiente de acero inoxidable resina y solvente mineral, seguidamente se colocó en el dispersor.

- Se encendió el dispersor.
- Se añadió emulsionante bajo dispersión y se dejó actuar por 5 minutos.
- Se añadió agua.
- Se dispersó por 30 minutos.

3.5.5. Ensayos

Para obtener resultados satisfactorios se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio.

3.5.5.1. Viscosidad

- Se llevó la muestra a una temperatura de 25 °C.
- Se colocó el recipiente con pintura sobre la plataforma del viscosímetro Stormer.
- Se bajó la palanca del viscosímetro de modo que el rotor tipo paleta esté sumergido en el material a la altura de la marca en el eje del rotor.
- Se anotó lectura de medición de viscosidad en KU.

3.5.5.2. Peso por galón (densidad)

- Se taró la copa de densidad de pintura en la balanza.

- Se llenó la copa de densidad de pintura con la muestra.
- Se remueve el exceso de pintura que sale del orificio de rebose de la copa de densidad de pintura.
- Se pesó la copa de densidad de pintura.

3.5.5.3. Sólidos por peso

- Se pesó las charolas de aluminio.
- Se pesó entre 0,9 y 1,10 g de la muestra de pintura en la charola de aluminio.
- Se colocó las charolas de aluminio por 20 minutos en el horno a 150 °C.
- Se pesó las charolas de aluminio.
- Se realizó tres pruebas por muestra de pintura.
- Se calculó el contenido de sólidos mediante la siguiente ecuación.
- Se calculó el contenido de sólidos mediante la siguiente ecuación

$$\frac{A - B}{C} * 100$$

Donde:

A = Peso de la charola después de estar en el horno (g)

B = Peso de la charola (g)

C = Peso de la muestra (g)

3.5.5.4. Fineza

- Se aplicó una muestra de pintura en la parte superior de la base del grindómetro.
- Se tomó el aplicador del grindómetro y se corrió de manera suave y uniforme desde donde se encuentra la muestra de pintura.
- Se observó la película formada y se determinó la región donde existe mayor acumulación de puntos.
- Se reporta la fineza como el intervalo donde se intensifican los puntos.

3.5.5.5. Radio de contraste

- Se aplicó una muestra de pintura sobre una leneta con el aplicador de barra a 3 mils.
- Se dejó secar completamente.
- Se realizó lectura de RC en el espectrofotómetro (Data Color 600SF) tres veces.

3.5.5.6. Brillo

- Se aplicó una muestra de pintura sobre una leneta con el aplicador de barra a 6 mils.
- Se dejó secar completamente.
- Se utilizó el medidor de brillo para realizar la lectura.

3.5.5.7. Tiempo de secado

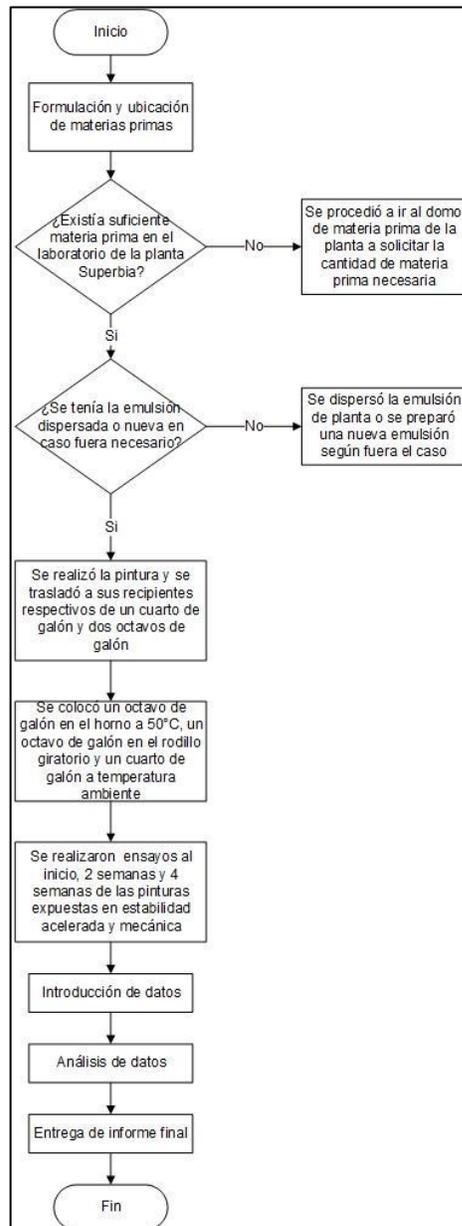
- Con el aplicador de película, se aplicó una capa uniforme sobre el vidrio de secado.
- Se colocó la aguja del registrador de tiempo de secado, sobre el vidrio que tiene la aplicación.
- Se dejó la muestra hasta que seque.
- Se anotó el tiempo de secado.

3.5.5.8. Blancura

- Se aplicó muestra de pintura sobre una leneta con el aplicador de barra a 3 mils.
- Se dejó secar completamente.

- Se realizó lectura de blancura en el espectrofotómetro (Data Color 600SF) tres veces.

Figura 3. Diagrama de flujo del procedimiento



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

- Se realizó cada formulación de pintura.
- Se midió las propiedades de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo y tiempo de secado para las distintas formulaciones de pintura negra.
- Se midió las propiedades de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo, blancura y tiempo de secado para las distintas formulaciones de pintura blanca.
- Se sometió a estabilidad acelerada y mecánica cada prueba de pintura y medir nuevamente las propiedades 2 semanas y 4 semanas.
- Se realizaron gráficas de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo, blancura y tiempo de secado para las pruebas de pintura blanca en estabilidad acelerada y estabilidad mecánica.
- Se realizaron graficas de los valores de los valores de viscosidad, peso por galón, porcentaje de sólidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo y tiempo de secado para las pruebas de pintura blanca en estabilidad acelerada y estabilidad mecánica.
- Se procedió a entregar los resultados.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se realizan seis pruebas para la pintura blanca y diez pruebas para la pintura negra, en ambas, incluida la prueba control. Se realizaron tres corridas de cada propiedad al momento de medirla.

Tabla IV. **Datos para la pintura blanca**

Pintura Blanca					
Prueba Control	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)					
Viscosidad (KU)					
Sólidos por peso (%)					
Fineza (H)					
RC (%)					
Blancura (%)					
Brillo (GU)	20°				
	60°				
	85°				
Tiempo de secado (h)					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Tabla V. **Datos para la pintura negra**

Pintura Blanca					
Prueba Control	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)					
Viscosidad (KU)					
%SXP					
Fineza (H)					
RC (%)					
Brillo (GU)	20°				
	60°				
	85°				
Tiempo de secado (h)					

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

3.8. Análisis porcentual

- Porcentaje de incremento

La siguiente ecuación indica que tanto incrementó o disminuyó a las cuatro semanas de estabilidad mecánica y acelerada cada propiedad con base en su valor inicial para cada prueba realizada, se realizó a las cuatro semanas ya que es el tiempo de prueba que establece la norma ASTM D1849-95.

$$\% = \frac{V_f - V_i}{V_i} * 100$$

Donde:

% = Porcentaje de incremento

Vf = Valor final

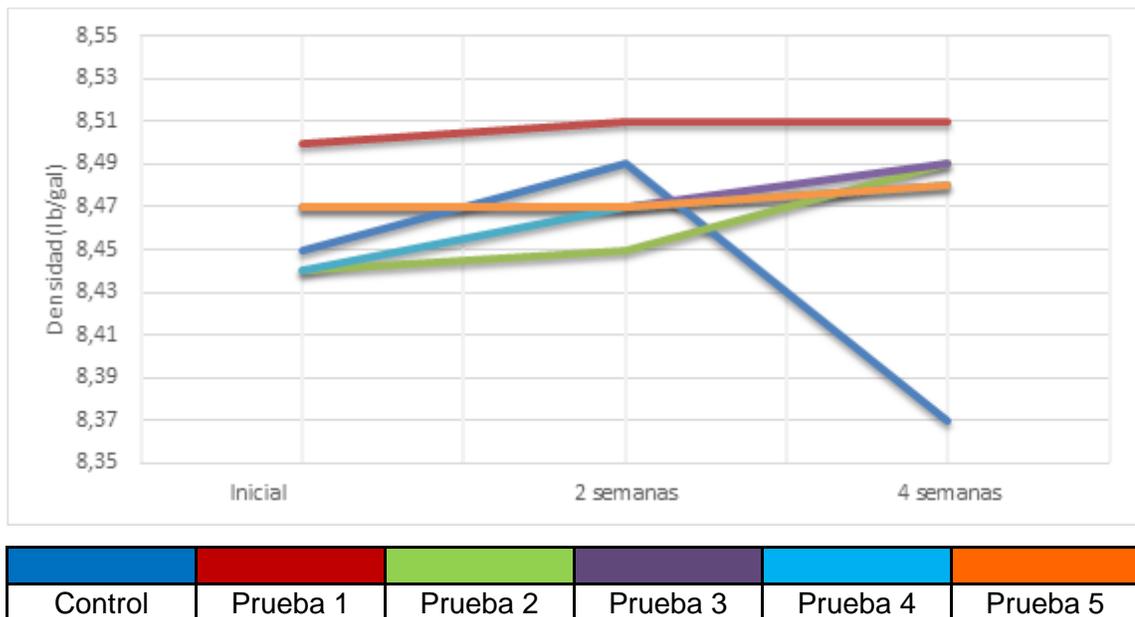
Vi = Valor inicial

4. RESULTADOS

4.1. Pintura blanca

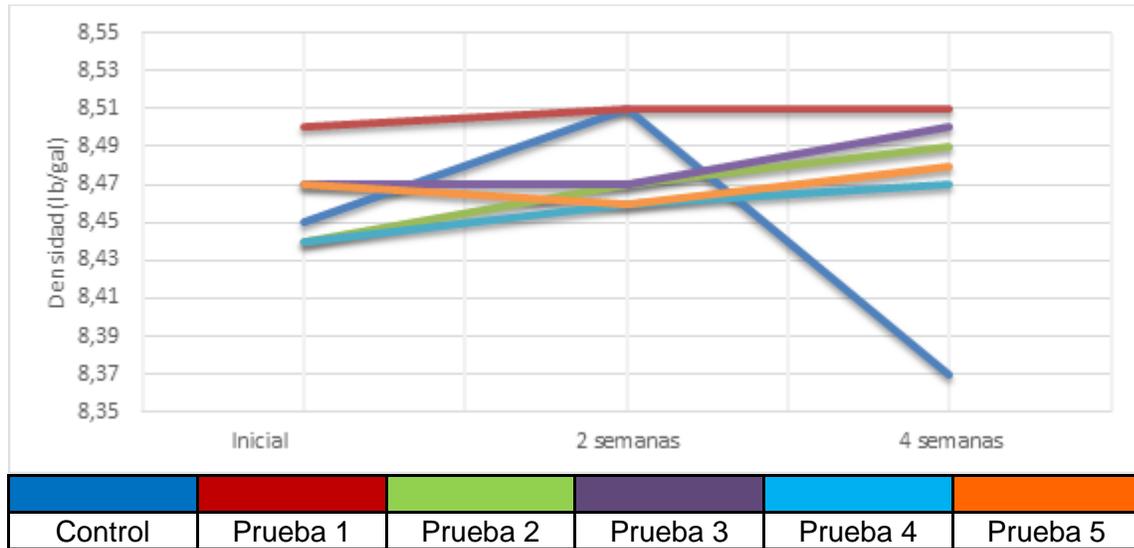
Los resultados obtenidos para la pintura blanca se presentan en las siguientes figuras:

Figura 4. Densidad en estabilidad acelerada



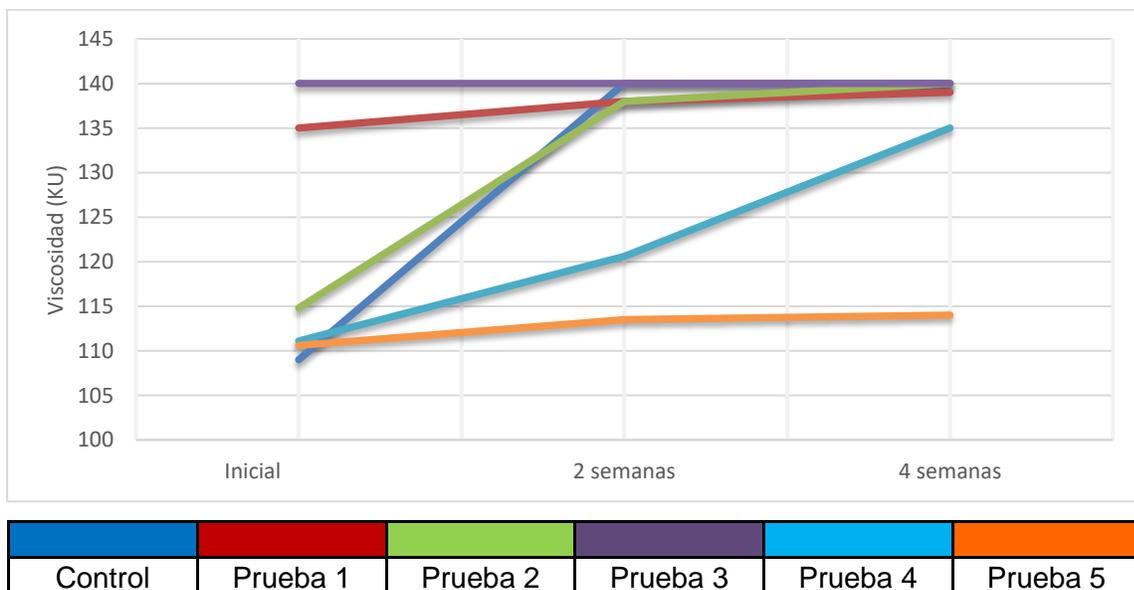
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 5. **Densidad en estabilidad mecánica**



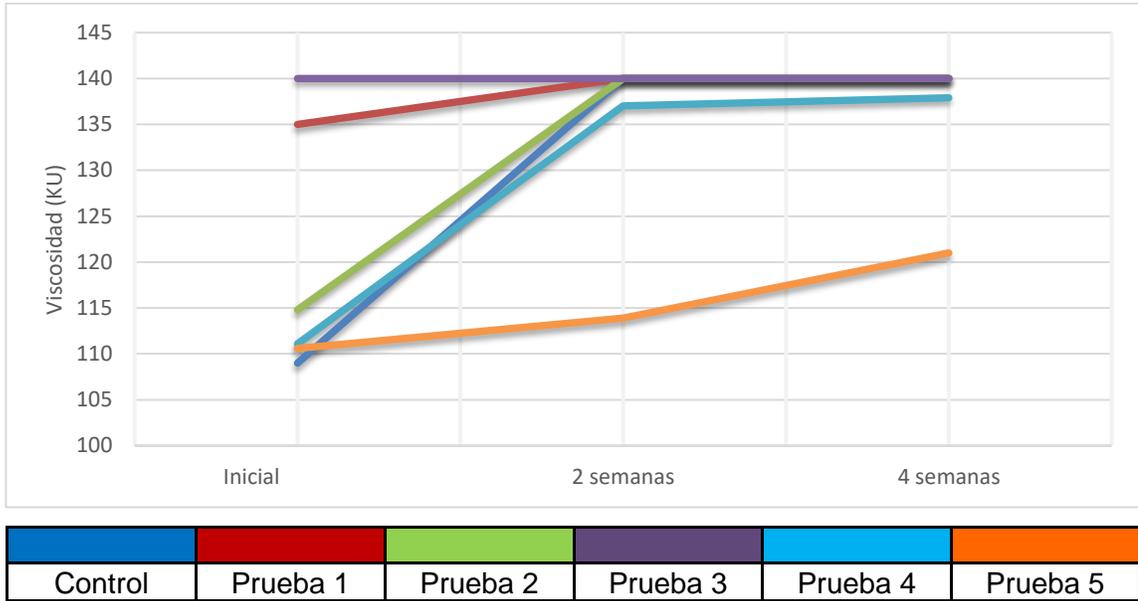
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 6. **Viscosidad en estabilidad acelerada**



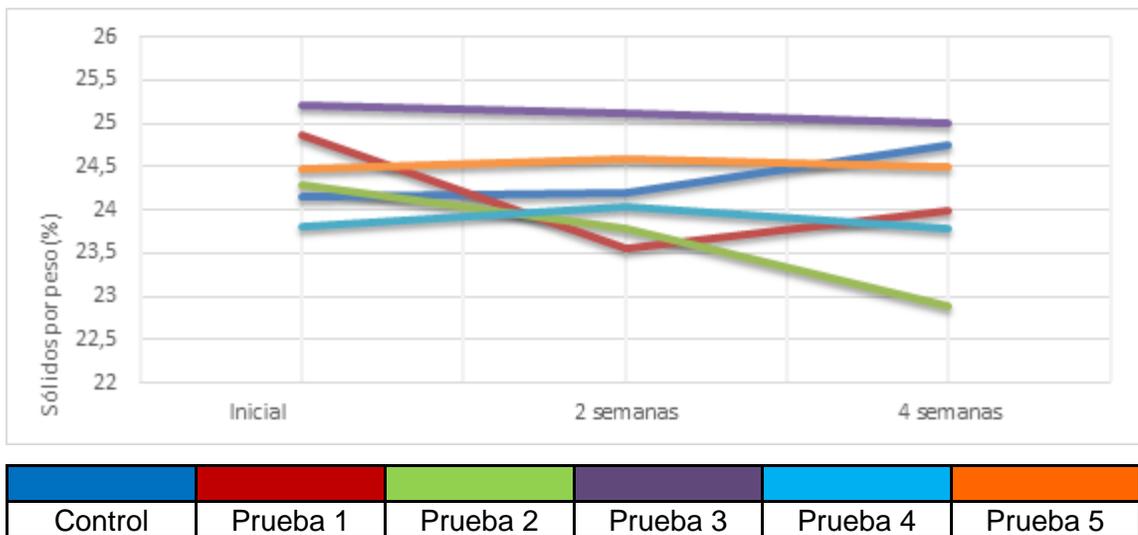
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 7. **Viscosidad en estabilidad mecánica**



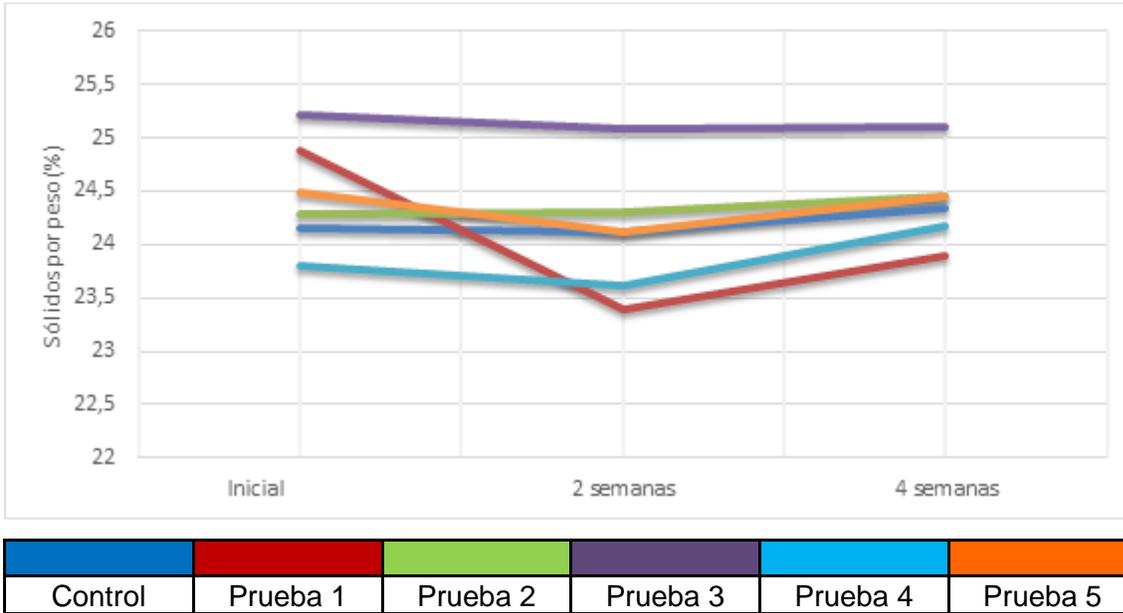
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 8. **Sólidos por peso en estabilidad acelerada**



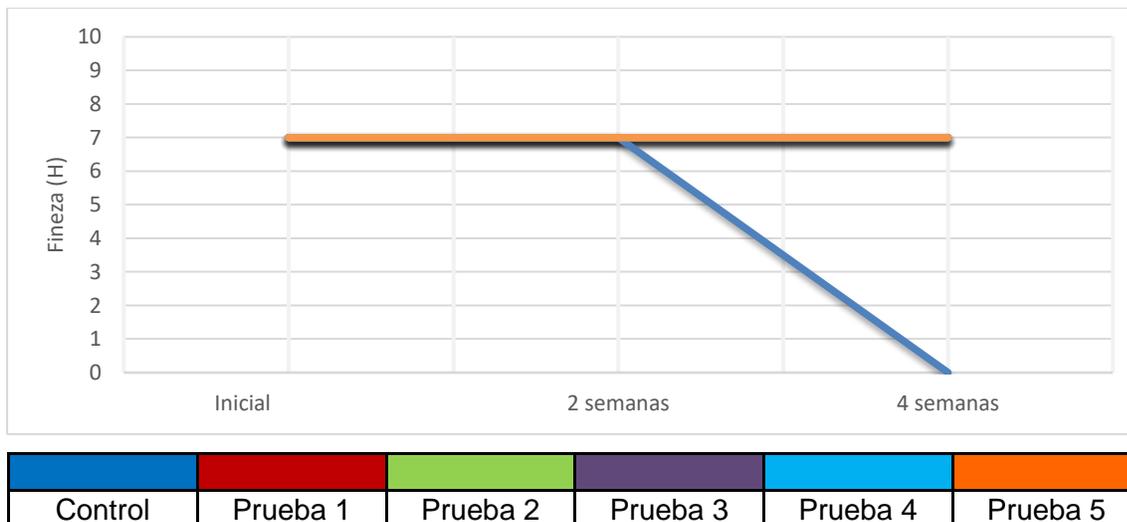
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 9. **Sólidos por peso en estabilidad mecánica**



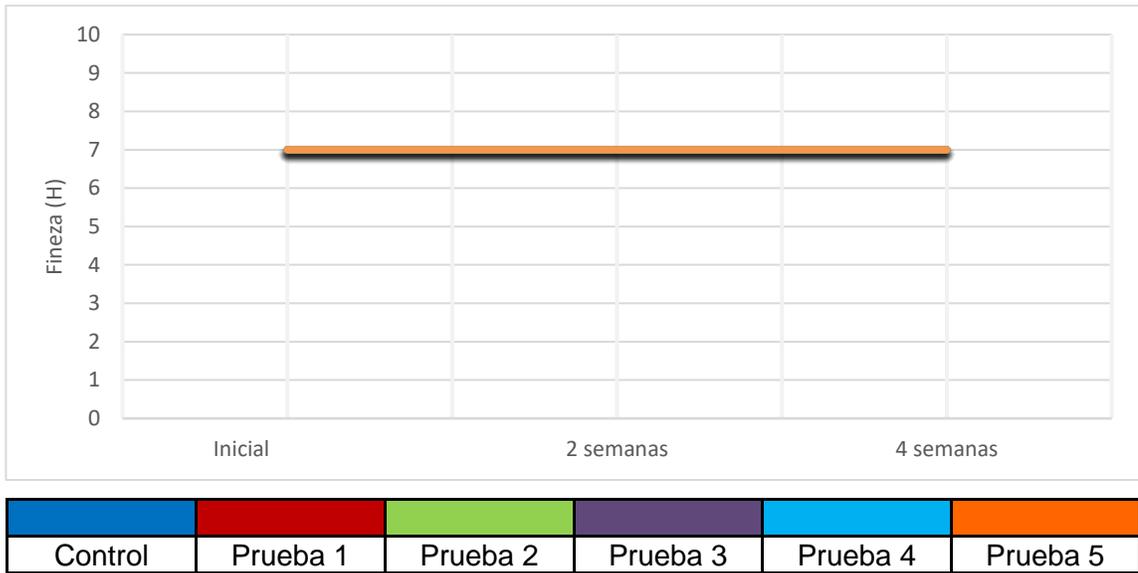
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 10. **Fineza en estabilidad acelerada**



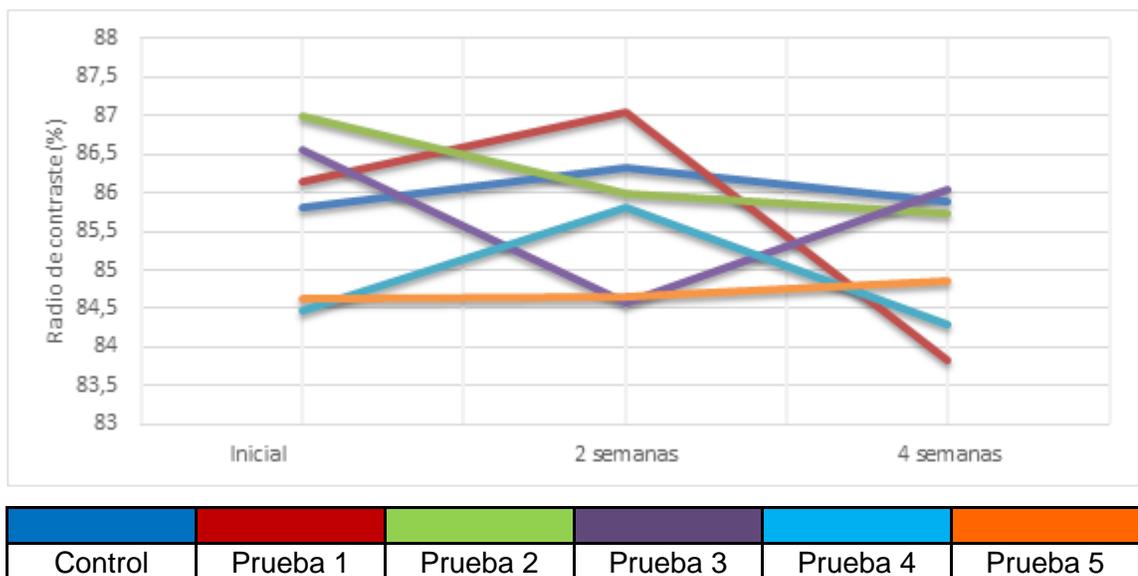
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 11. **Fineza en estabilidad mecánica**



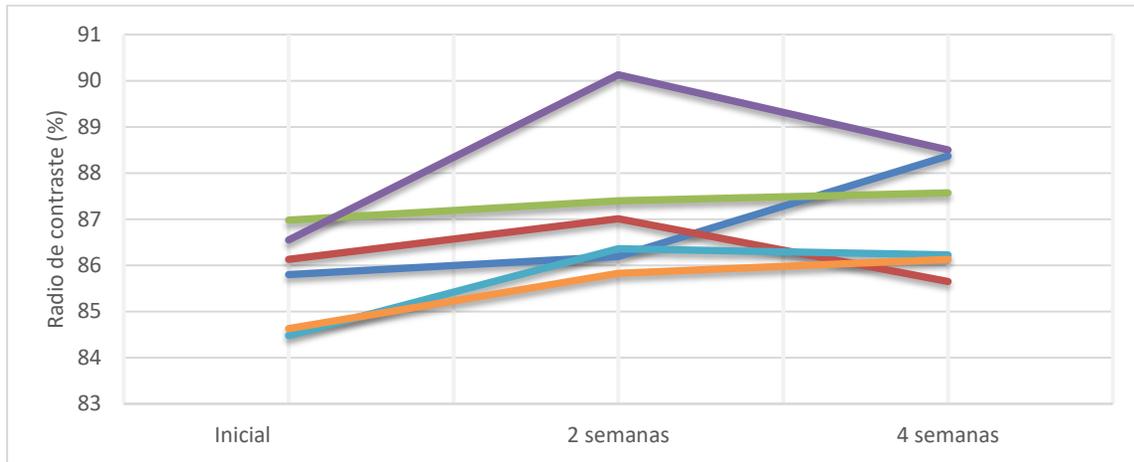
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 12. **Radio de contraste en estabilidad acelerada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

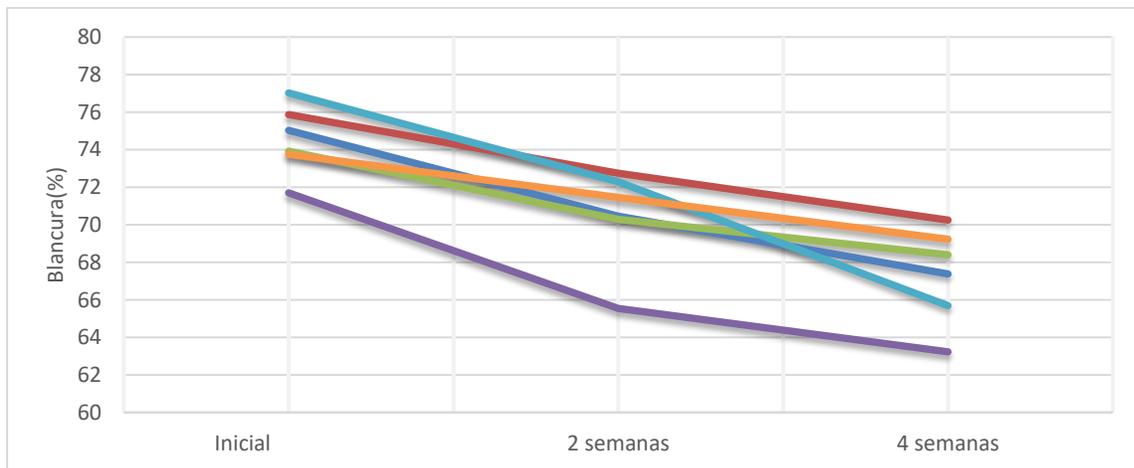
Figura 13. **Radio de contraste en estabilidad mecánica**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

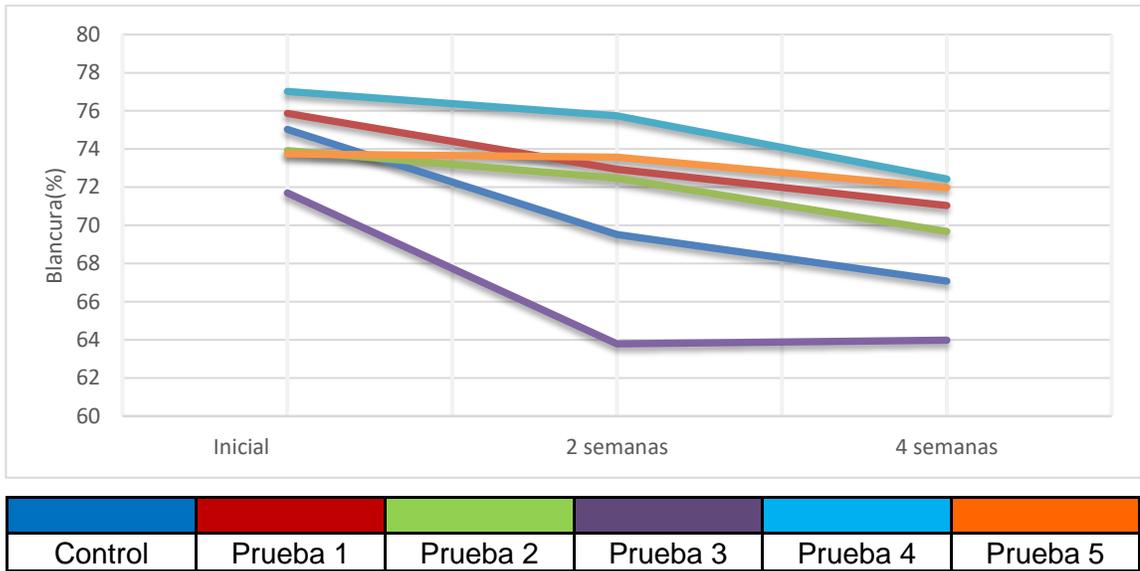
Figura 14. **Blancura en estabilidad acelerada**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

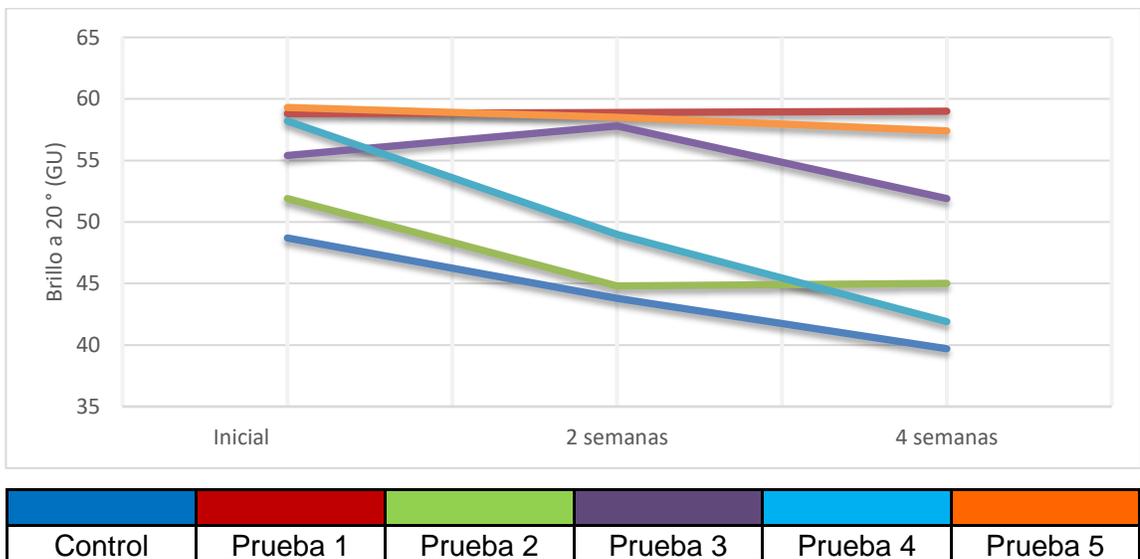
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 15. **Blancura en estabilidad mecánica**



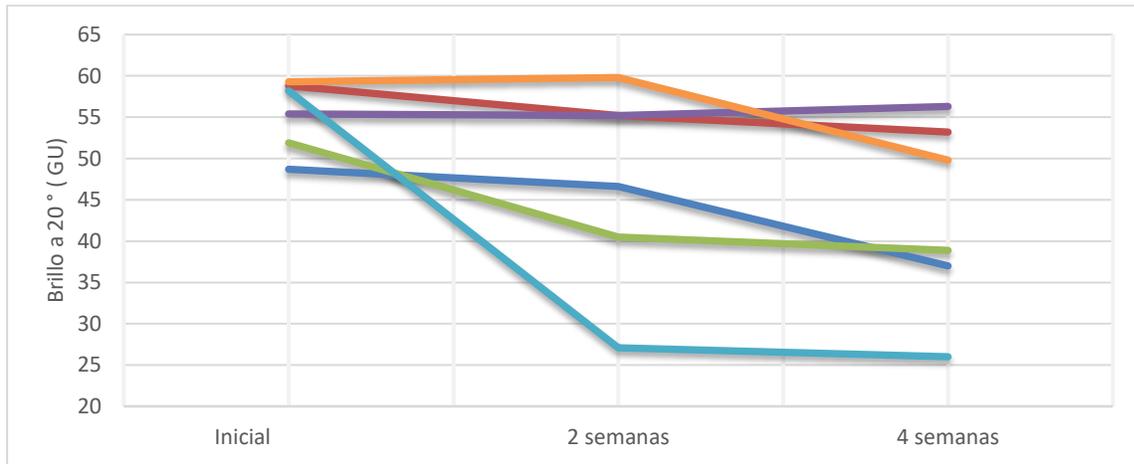
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 16. **Brillo a 20 ° en estabilidad acelerada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

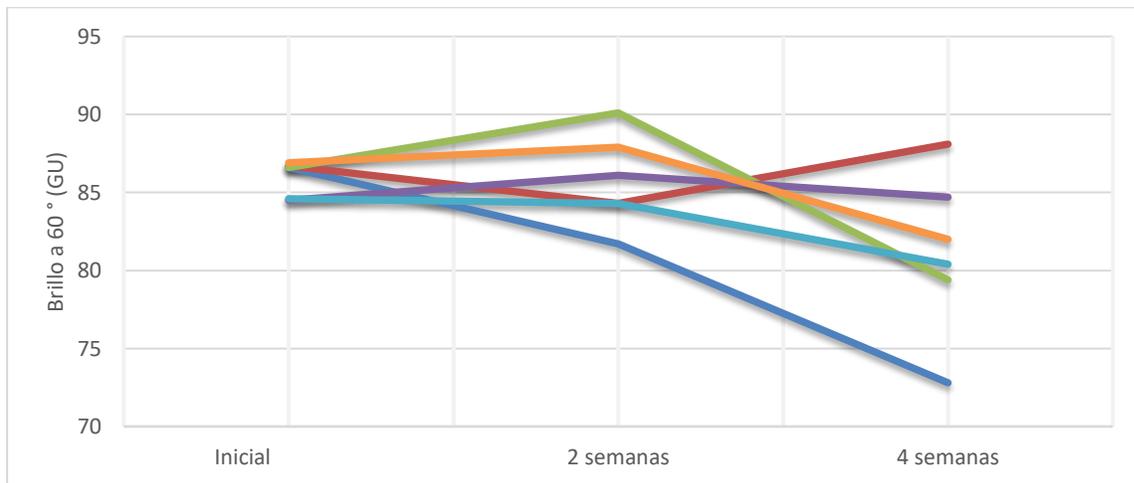
Figura 17. **Brillo a 20 ° en estabilidad mecánica**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

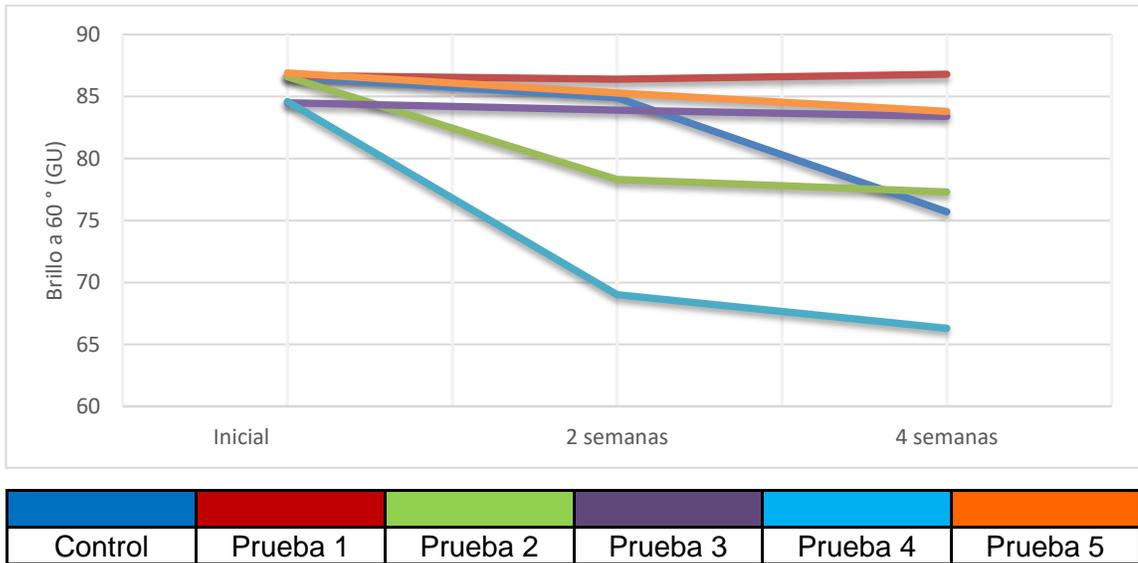
Figura 18. **Brillo a 60 ° en estabilidad acelerada**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

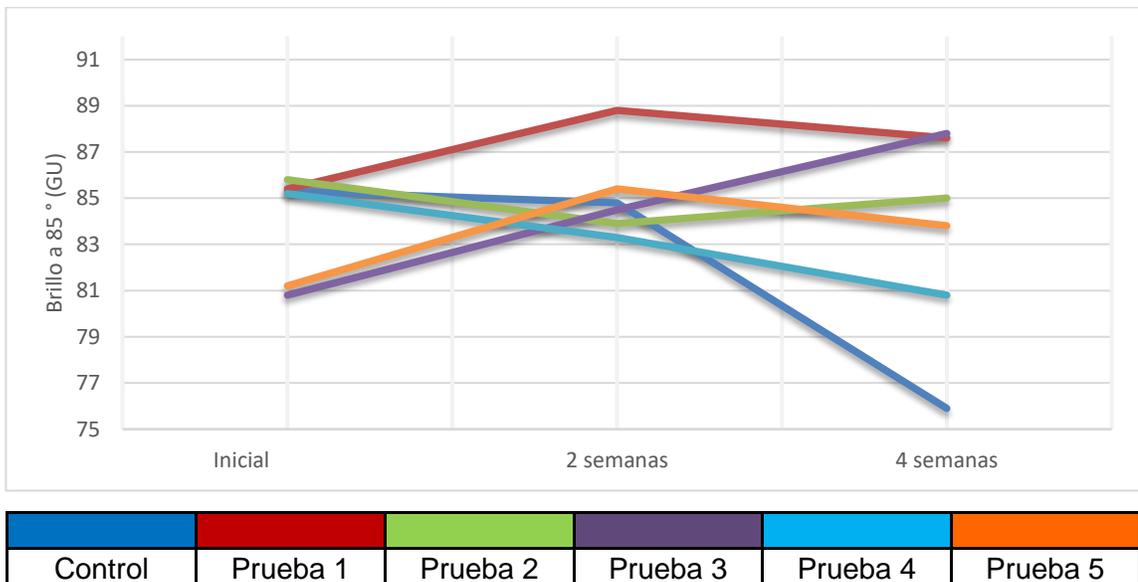
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 19. Brillo a 60 ° en estabilidad mecánica



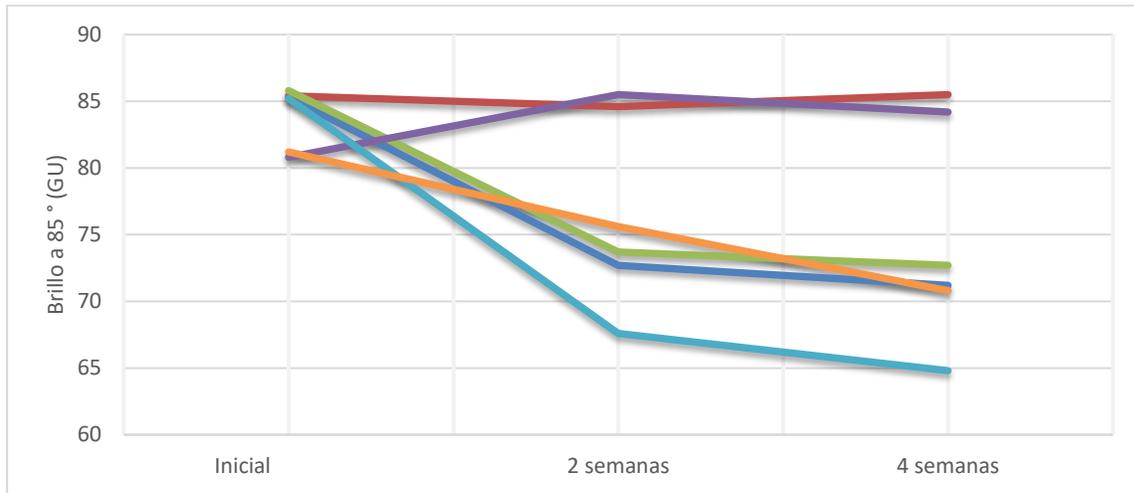
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 20. Brillo a 85 ° en estabilidad acelerada



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

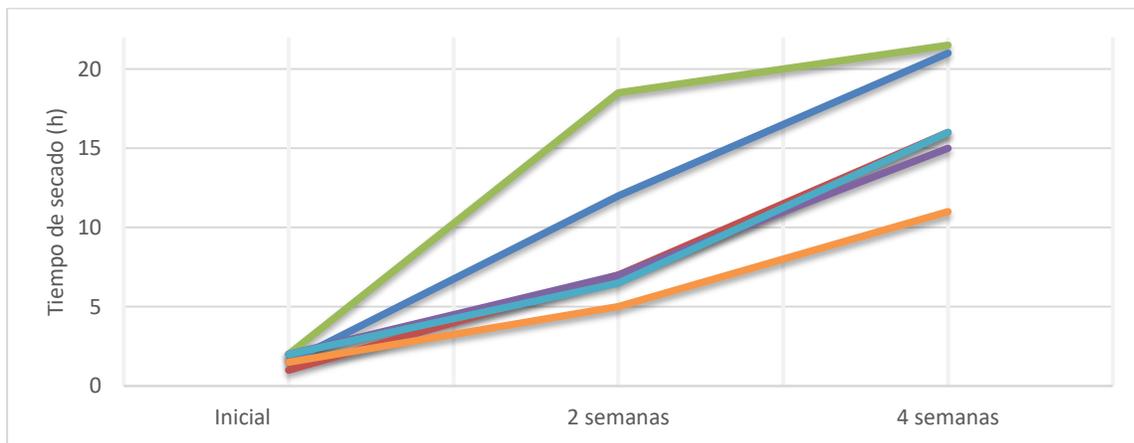
Figura 21. **Brillo a 85 ° en estabilidad mecánica**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

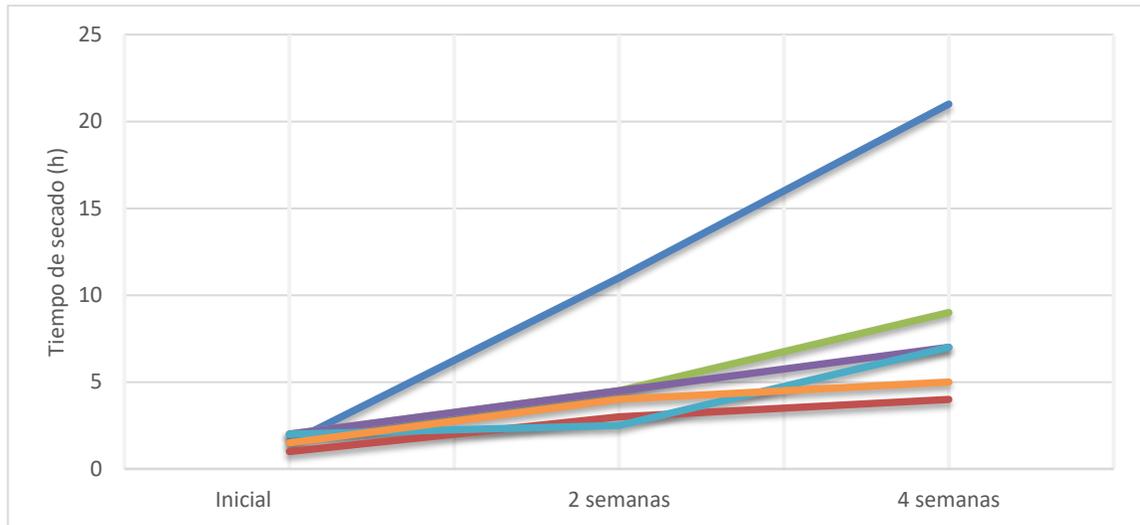
Figura 22. **Tiempo de secado en estabilidad acelerada**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 23. **Tiempo de secado en estabilidad mecánica**



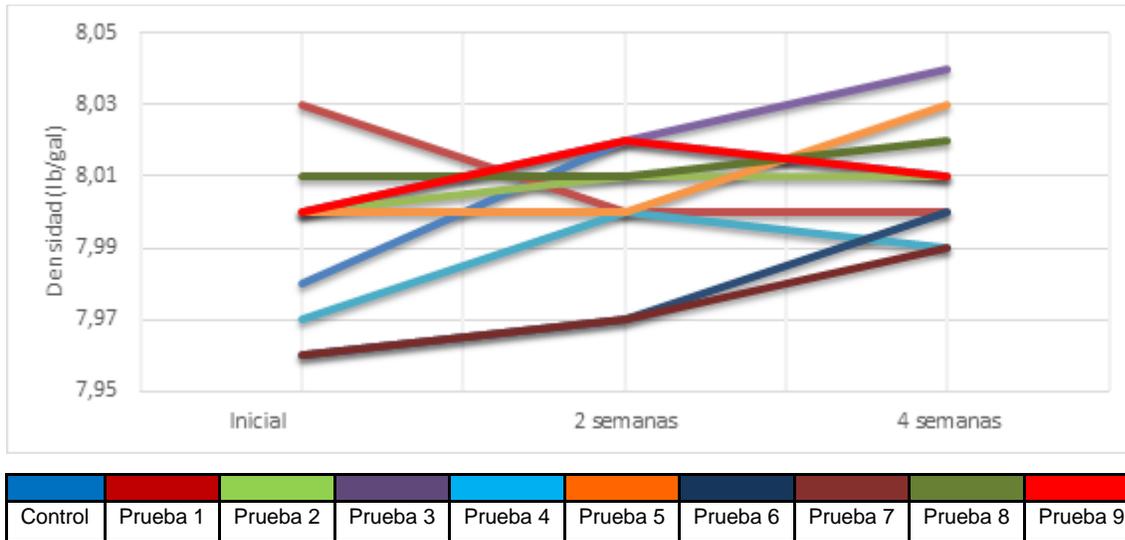
Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
---------	----------	----------	----------	----------	----------

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

4.2. **Pintura negra**

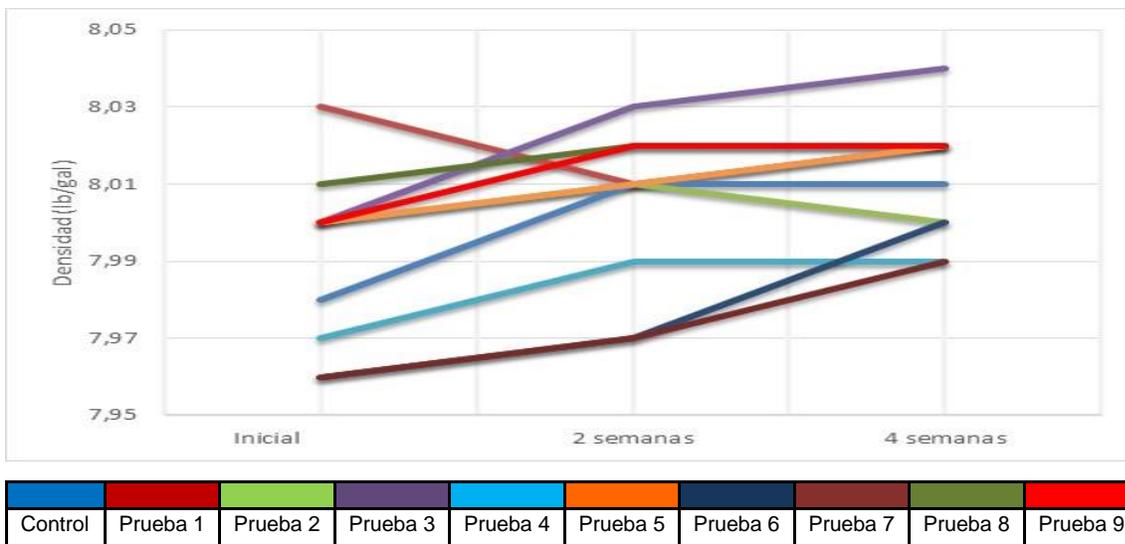
Los resultados sobre la pintura negra que se obtuvieron se presentan en las siguientes figuras:

Figura 24. Densidad en estabilidad acerada



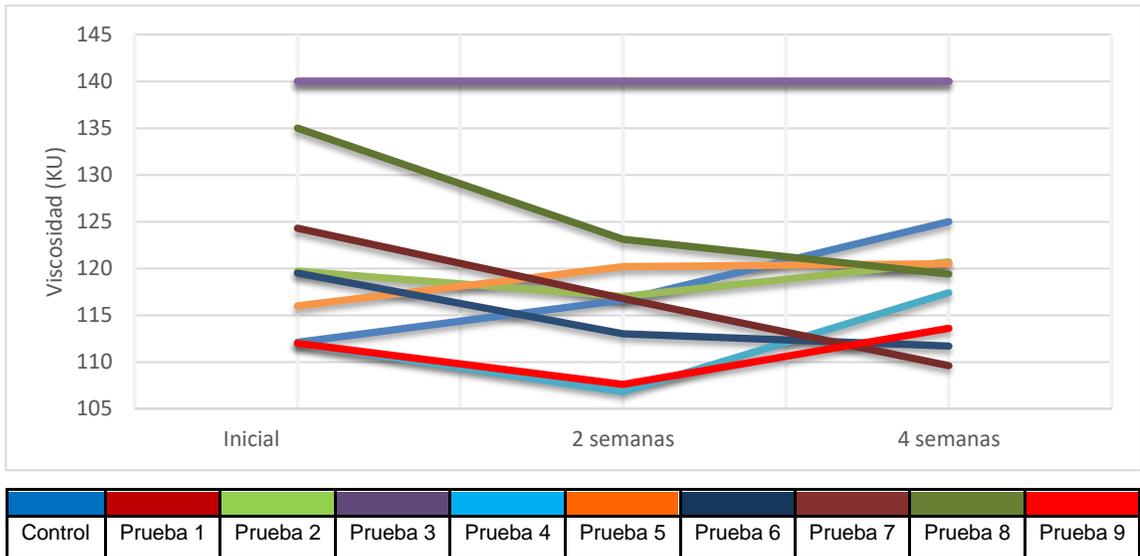
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 25. Densidad en estabilidad mecánica



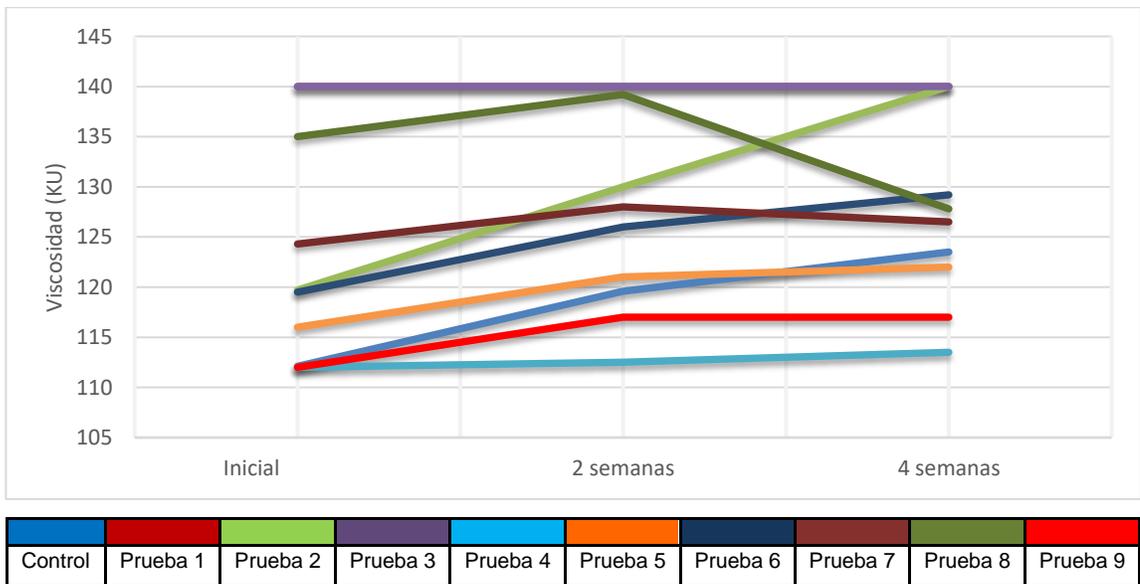
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 26. **Viscosidad en estabilidad acerada**



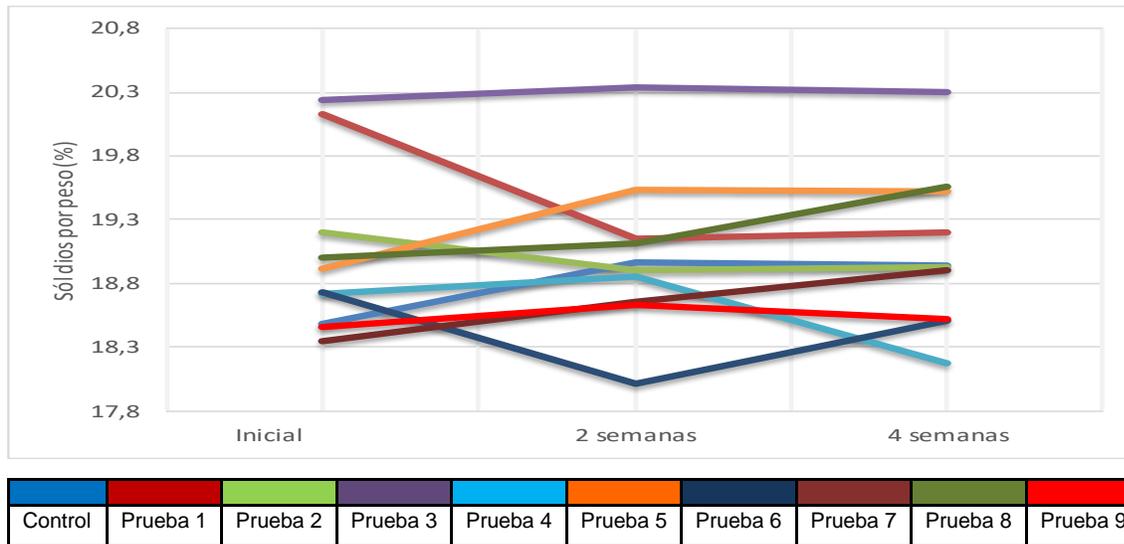
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 27. **Viscosidad en estabilidad mecánica**



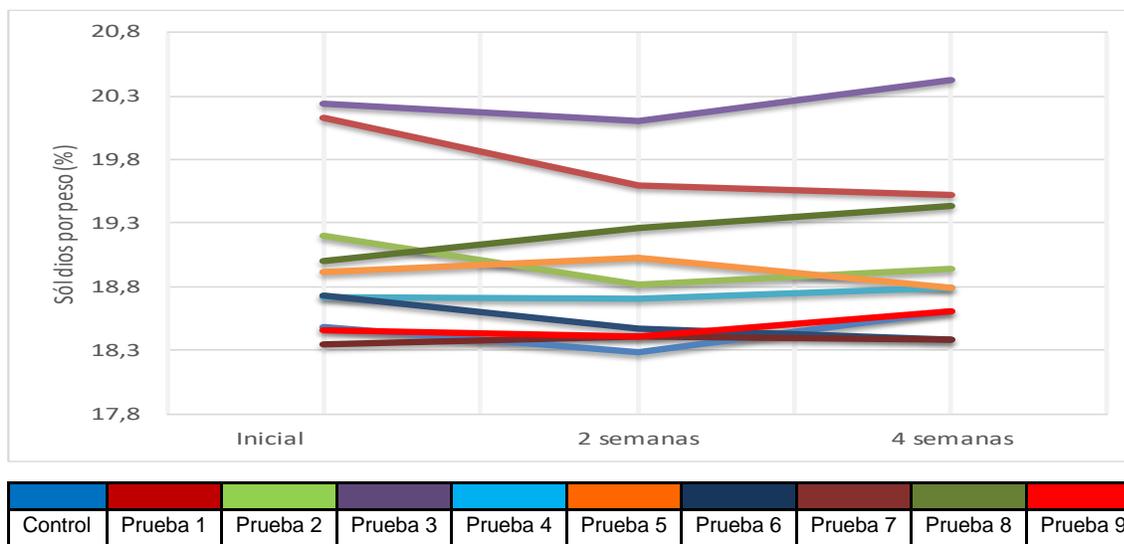
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 28. **Sólidos por peso en estabilidad acerada**



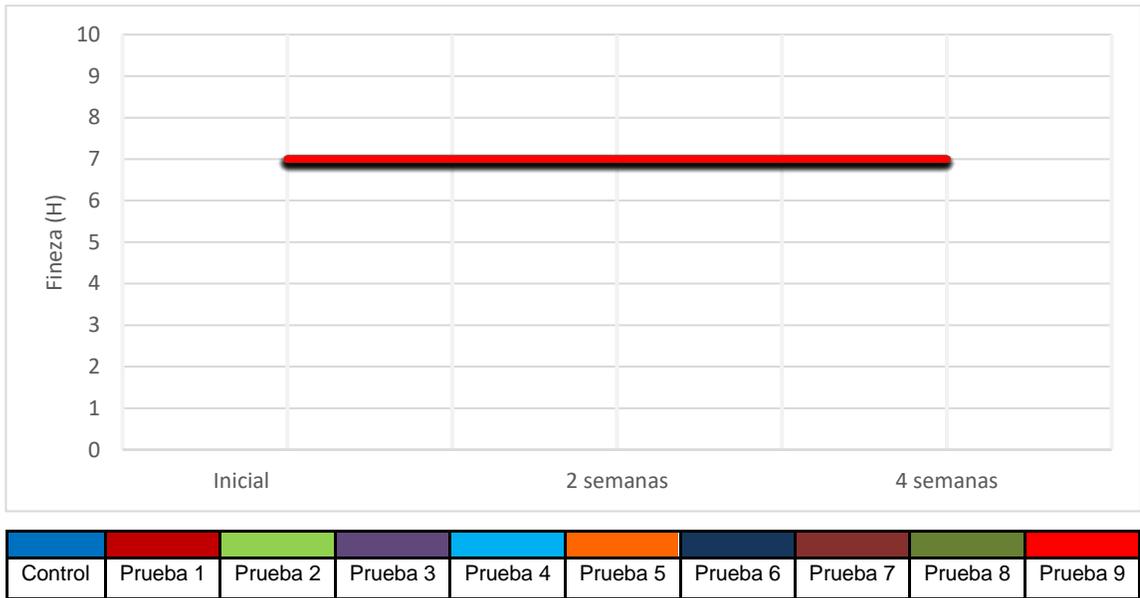
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 29. **Sólidos por peso en estabilidad mecánica**



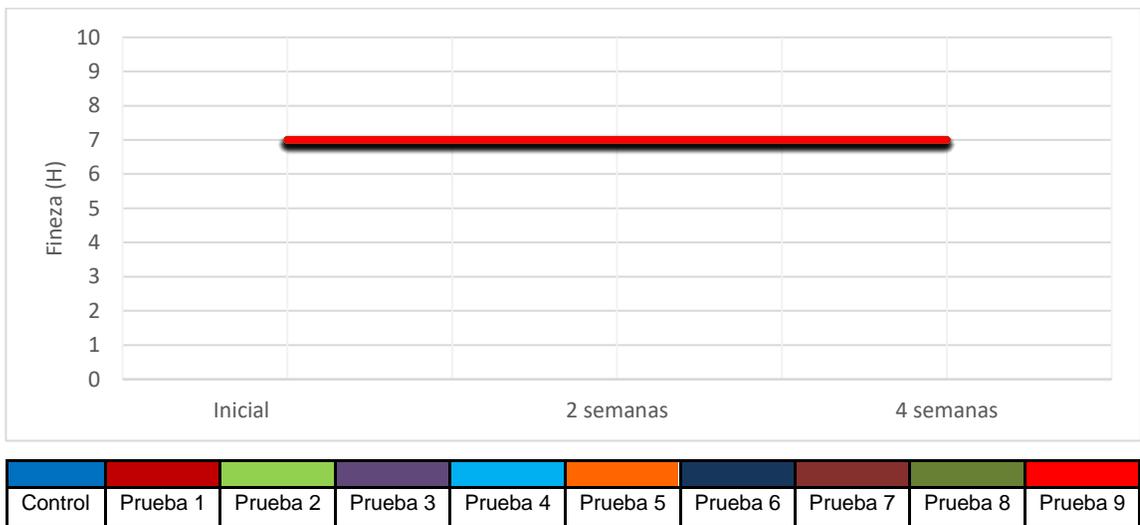
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 30. **Fineza en estabilidad acerada**



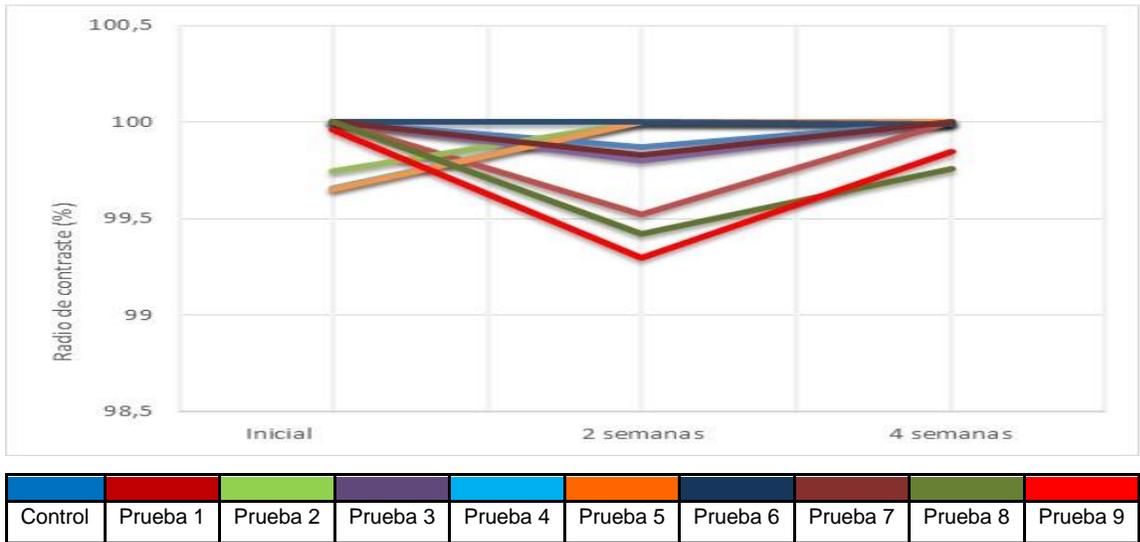
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 31. **Fineza en estabilidad mecánica**



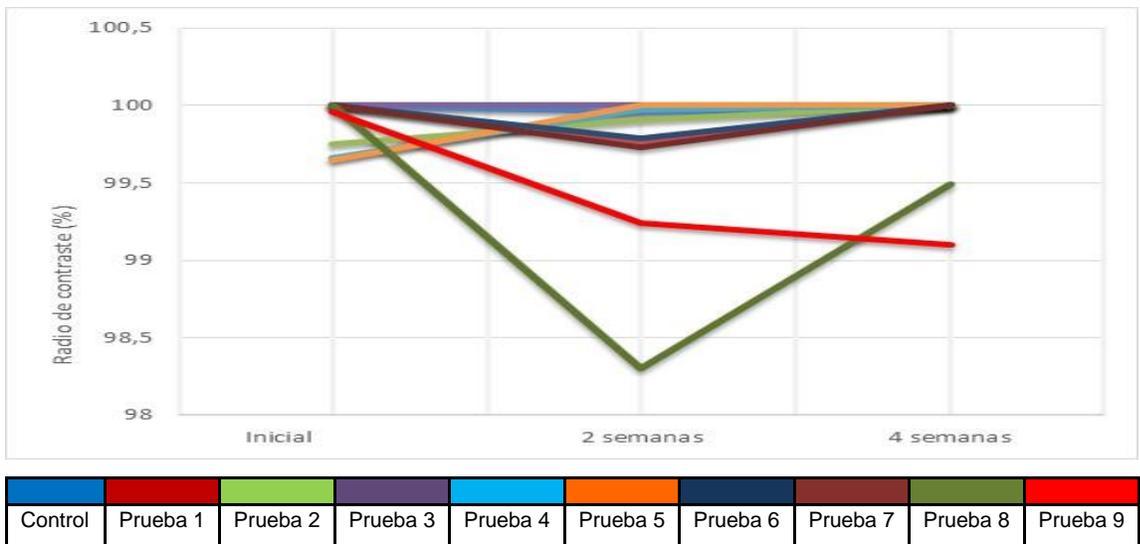
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 32. Radio de contraste en estabilidad acerada



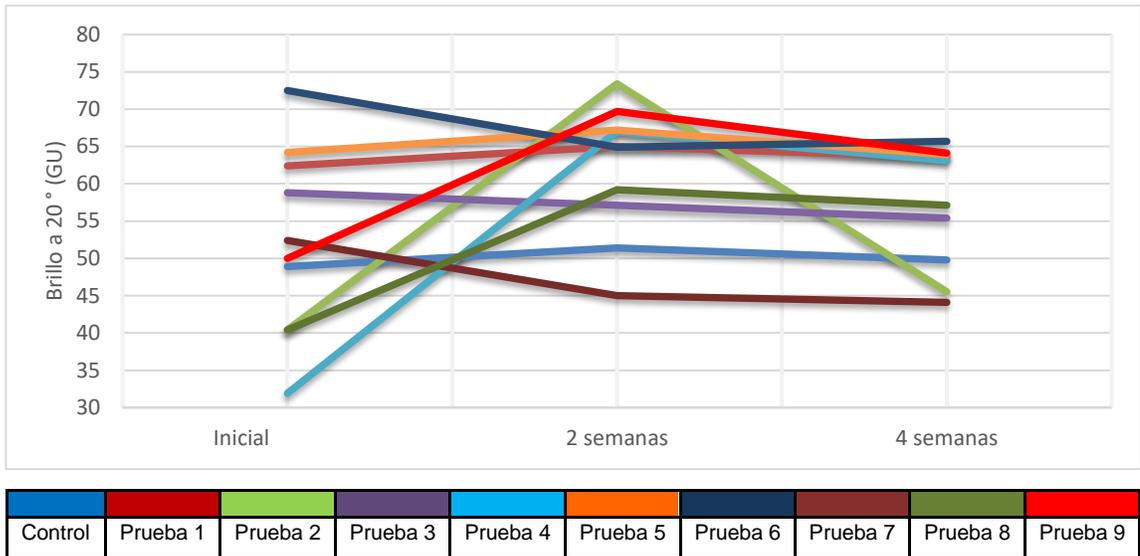
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 33. Radio de contraste en estabilidad mecánica



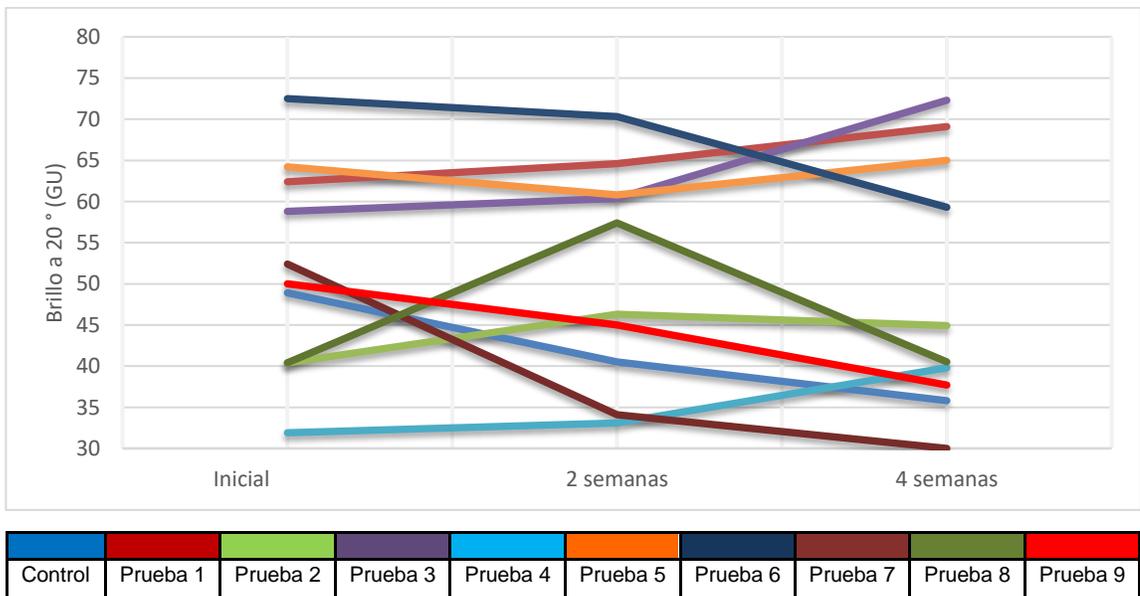
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 34. Brillo a 20 ° en estabilidad acerada



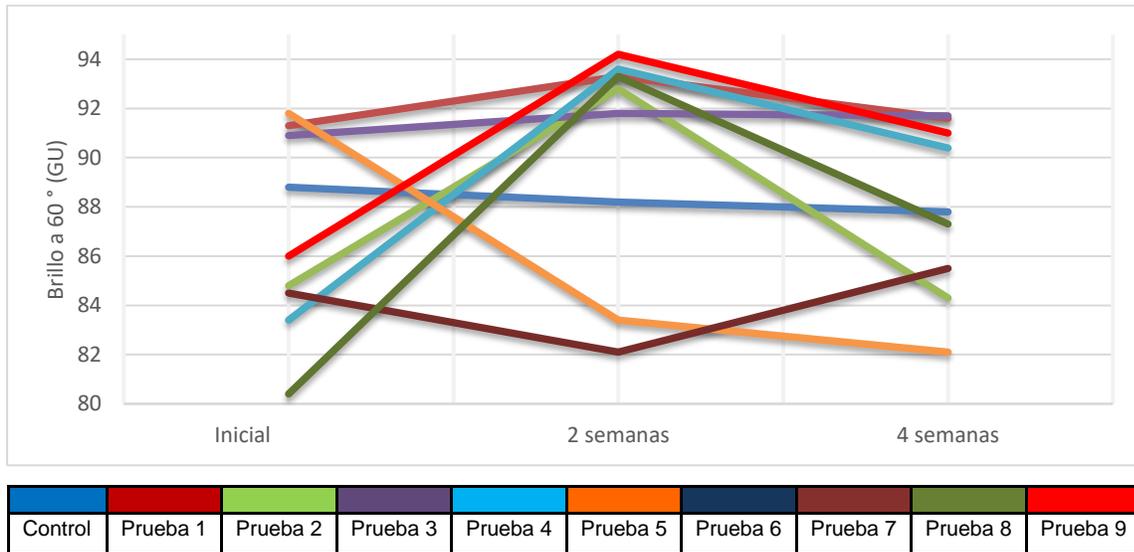
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 35. Brillo a 20 ° en estabilidad mecánica



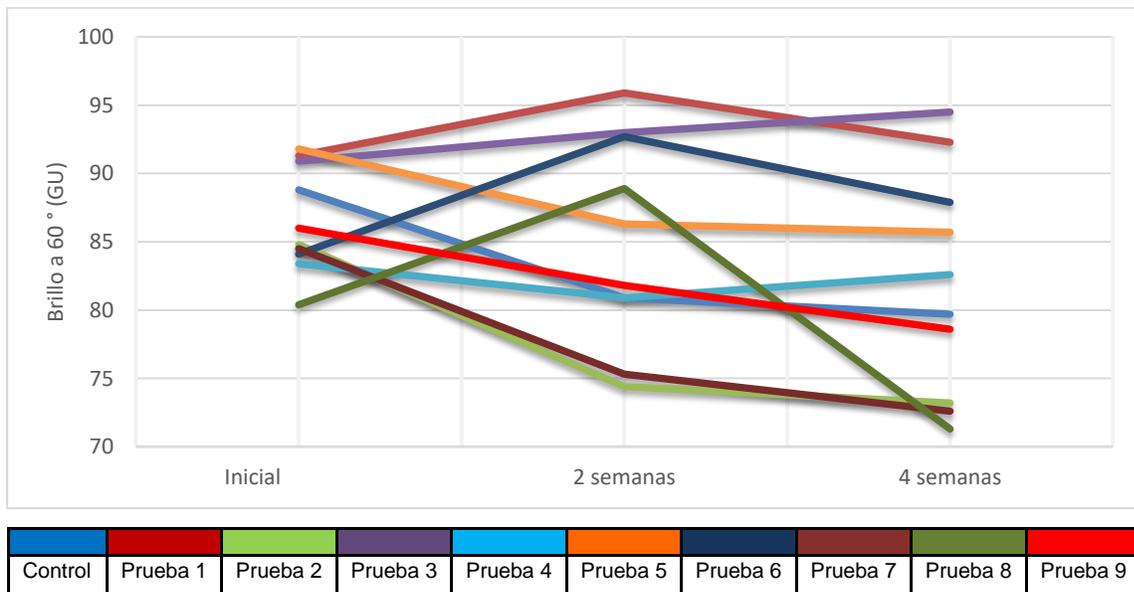
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 36. **Brillo a 60 ° en estabilidad acerada**



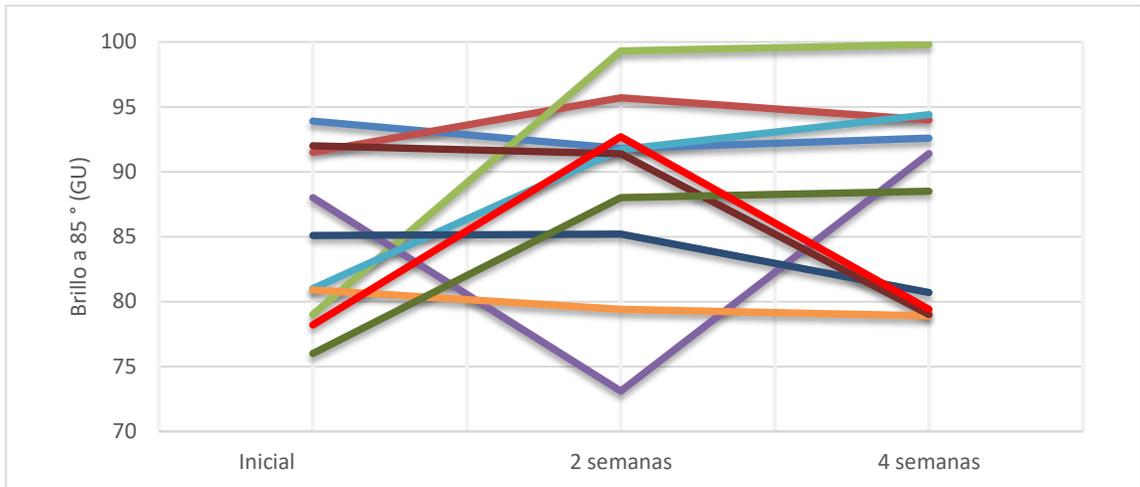
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 37. **Brillo a 60 ° en estabilidad mecánica**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

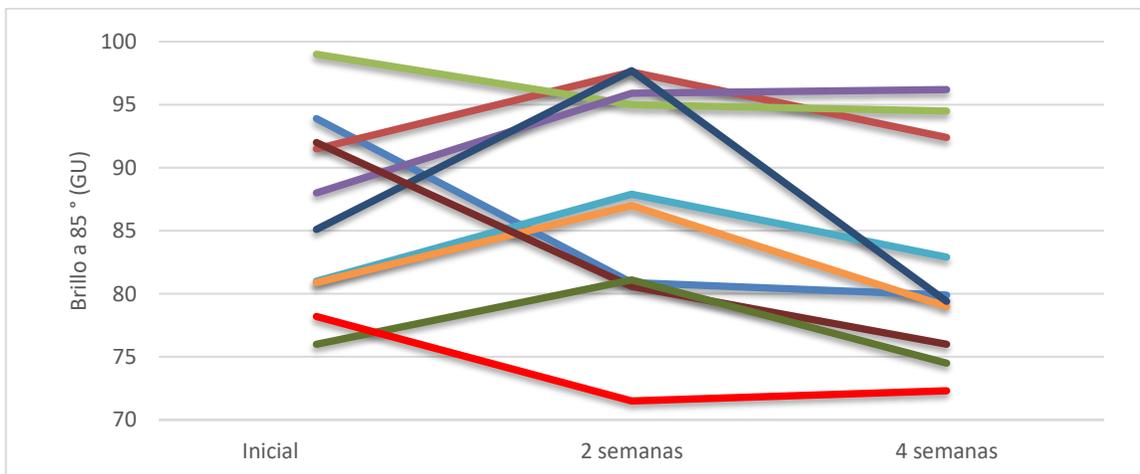
Figura 38. **Brillo a 85 ° en estabilidad acerada**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

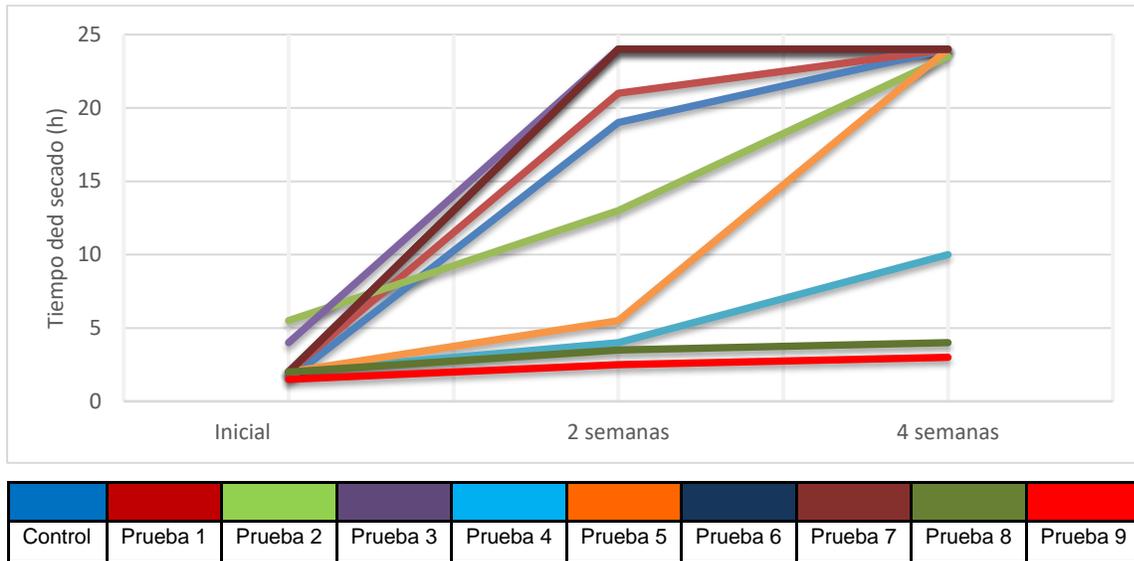
Figura 39. **Brillo a 85 ° en estabilidad mecánica**



Control	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9
---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

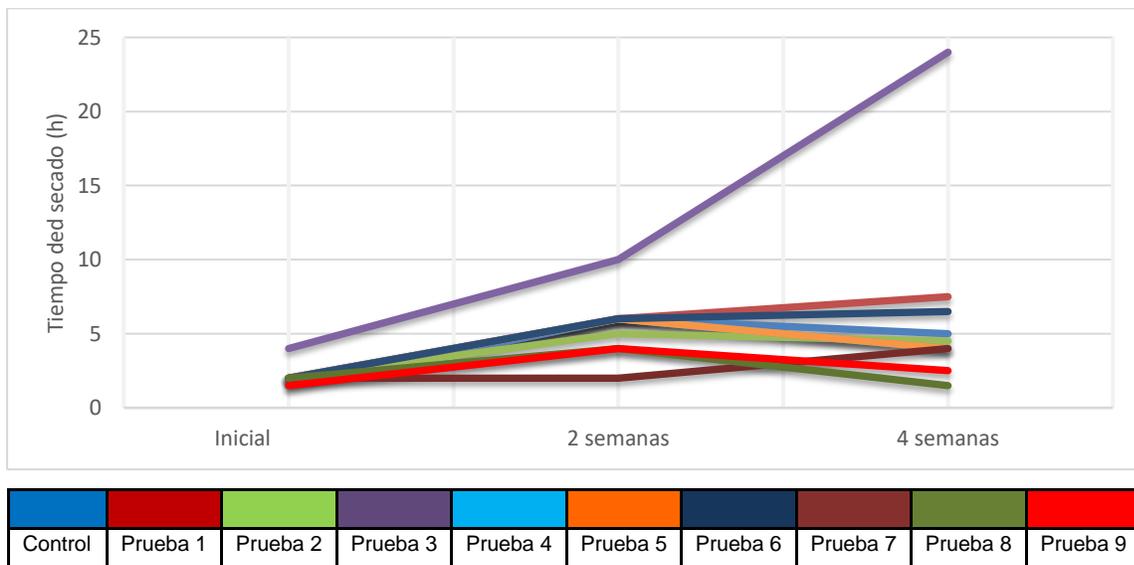
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 40. **Tiempo de secado en estabilidad acerada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Figura 41. **Tiempo de secado en estabilidad mecánica**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La prueba control de la pintura blanca presenta una viscosidad inicial de 109 KU lo cual se encuentra dentro del rango de especificación, pero al momento de someterse a estabilidad acelerada y estabilidad mecánica la viscosidad aumenta hasta 140 KU lo que equivale a un porcentaje de incremento del 28,44 %, volviendo a la pintura propensa a gelar además de poder influir al secado haciéndolo lento y deficiente lo cual se comprueba al llegar hasta 21 horas como indican las figuras 22 y 23.

El aumento de viscosidad está asociado a la incorporación de una ligera cantidad de aire, lo que afecta la densidad y la cantidad de sólidos por peso en la pintura. Para el caso de la fineza la cual debe ser 7 H, la estabilidad acelerada no se cumple a las cuatro semanas, ya que se forma una aglomeración de partículas que genera grumos con lo cual la fineza se pierde.

Para el caso del RC, se mantuvo el valor dentro de los rangos de especificación y en el caso de la blancura se tiene una pérdida de esta debido a la resina alquídica, ya que se oxida brindando una tonalidad ligeramente amarilla o sucia al momento de aplicar.

Para el brillo medido en los ángulos de 20 °, 60 ° y 85 °, se tiene una pérdida de brillo en los tres ángulos a las dos y cuatro semanas de estabilidad, el brillo es dado por la resina alquídica.

La prueba 1 de la pintura blanca se completó con una resina externa las propiedades entran en el rango de especificación a excepción de la viscosidad la

cual se encuentra en 135 KU al inicio, por lo cual desde el inicio presenta una apariencia gelatinosa desfavorable, dicho comportamiento se da debido a que la curva de viscosidad diluida de la resina externa presenta valores más altos que la de la resina de planta.

En la prueba 2 de la pintura blanca se dispersó en el laboratorio por treinta minutos la emulsión ya fabricada en planta, las propiedades cumplen al inicio los rangos de especificación. A pesar de que la viscosidad inicialmente se encuentra dentro del rango de especificación a las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica alcanza valores entre 138-140 KU.

La prueba 3 de la pintura blanca se completó con una resina externa además de que dispersó en el laboratorio por treinta minutos a la emulsión ya fabricada en planta, las propiedades que no cumplen desde el inicio con el rango de especificación son la viscosidad y brillo a 60 °.

La prueba 4 de la pintura blanca se realizó con la emulsión hecha con el equipo de laboratorio, las propiedades que no cumplen desde el inicio con el rango de especificación son el RC y brillo a 60 °, esto se debe a que no la emulsión no es estable en las condiciones de agitación trabajadas.

La prueba 5 de la pintura blanca se realizó con una nueva fórmula de emulsión hecha con el equipo de laboratorio, las propiedades cumplen al inicio los rangos de especificación, se cumplió la relación " $D_a/D_T=1/3$ donde D_a es el diámetro del agitador y D_T es el diámetro del tanque"⁶.

⁶ MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 45.

Después de las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica las pinturas de las pruebas 1, 2, 3, 4 y 5 no presentan grumos ni sedimentación por lo cual la fineza no se pierde y continúa siendo 7 H, por lo cual no es un parámetro óptimo para discriminar la mejor fórmula.

La densidad de las pruebas 1, 2, 3, 4 y 5 presentan un porcentaje de incremento menor del 1 % con respecto a su valor inicial, por lo cual no es un parámetro óptimo para discriminar la mejor fórmula

La viscosidad es una propiedad que afecta desde el inicio la apariencia de la pintura o como la percibe el consumidor final, por lo que se debe llegar al valor establecido en el rango de especificación, las pruebas que no cumplen con la viscosidad desde el inicio son las pruebas 1 y 3, en ambas se utilizó una resina externa, con ello se determina que la resina alquídica de planta presenta mejores resultados para la fórmula de pintura blanca. En el caso de la prueba 2 y 4 la viscosidad inicial se encuentra dentro del rango de especificación, sin embargo, a las dos y cuatro semanas se presenta incremento con el cual sobrepasan el valor del rango de especificación. Por eso la viscosidad es un parámetro adecuado para discriminar la mejor fórmula ya que debe cumplir con el valor inicial del rango de especificación y también estar dentro del rango al pasar las 2 y 4 semanas de estabilidad como se puede observar en la figura 6 y 7.

Los sólidos por peso de las pruebas 1, 2, 3, 4 y 5 se encuentran dentro del rango de especificación al inicio, 2 semanas y 4 semanas variando poco como se observa en las figuras 8 y 9, por lo cual no es un parámetro determinante para discriminar la mejor fórmula.

El RC de las pruebas 1, 2, 3 y 5 se encuentran dentro del rango de especificación, y como se observa en las figuras 12 y 13 no se considera un parámetro adecuado para discriminar la mejor fórmula.

La blancura de las pruebas 1, 2, 3 4 y 5 se encuentran dentro del rango de especificación al inicio, sin embargo, disminuye al transcurrir las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica. Al perder blancura la pintura tiende a amarillear y desfavorece el color inicial por lo cual se considera un parámetro determinante para discriminar la mejor fórmula.

Al momento de realizar la medición de brillo se anotan los valores de los 3 ángulos, sin embargo, actualmente en Planta Superbia únicamente se necesita del ángulo a 60 ° para la aprobación del lote. Los brillos tienden a aumentar o disminuir como se observa en las figuras 16 a la 21, el brillo se puede ver afectado por la temperatura y humedad y actualmente donde se dejan secar las lenetas donde se aplica la pintura para realizar la medición de brillo no cuenta con un deshumidificador y aire acondicionado para mantener continuas las condiciones en las que seque la leneta. Por lo cual no puede considerarse un parámetro apropiado para discriminar la mejor fórmula

El secado de las pruebas 1, 2, 3 4 y 5 se encuentran dentro del rango de especificación al inicio, sin embargo, aumenta al transcurrir las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica. El registrador de tiempo de secado se encuentra en un ambiente controlado por lo cual se considera un parámetro adecuado para discriminar la mejor fórmula.

Para la pintura blanca los parámetros óptimos para discriminar la mejor prueba en estabilidad acelerada y mecánica son la viscosidad, blancura y

secado, al observar las imágenes 6, 7, 14, 15, 22 y 23 se determina que la mejor prueba para la pintura blanca es la 5.

La prueba control de la pintura negra presenta una viscosidad inicial de 112,1 KU lo cual se encuentra dentro del rango de especificación, pero no sigue dentro del rango de especificación al someterse a estabilidad acelerada y estabilidad mecánica. El aumento de viscosidad en la pintura incorpora una ligera cantidad de aire lo que afecta la densidad y la cantidad de sólidos por peso en la pintura. La pintura no presenta grumos ni sedimentación por lo cual la fineza se mantiene en 7 H.

Para el RC, al ser un color negro su poder cubriente es alto debido al tinte negro utilizado en la formulación, por ello el valor en el rango de especificación debe estar entre 99-100 el cual se cumple desde el inicio.

Para el brillo medido en los ángulos de 20 °, 60 ° y 85 °, se tiene una pérdida de brillo en los tres ángulos a las dos y cuatro semanas de estabilidad, el brillo es dado por la resina alquídica.

La prueba 1 de la pintura negra se completó con una resina externa las propiedades iniciales entran en el rango de especificación a excepción de la viscosidad la cual se encuentra en 140 KU, por lo cual desde el inicio presenta una apariencia gelatinosa desfavorable.

La prueba 2 de la pintura negra se dispersó en el laboratorio por treinta minutos a la emulsión ya fabricada en planta, la propiedad que no cumplen con el rango de especificación es el brillo a 60 °.

La prueba 3 de la pintura negra se completó con una resina externa además de que se dispersó en el laboratorio por treinta minutos a la emulsión ya fabricada en planta, la propiedad que no cumple desde el inicio con el rango de especificación es la viscosidad.

La prueba 4 de la pintura negra se realizó con la emulsión hecha en con el equipo de laboratorio, la propiedad que no cumple desde el inicio con el rango de especificación es el brillo a 60 °.

La prueba 5 de la pintura negra se realizó con una nueva fórmula de emulsión hecha con el equipo de laboratorio, las propiedades cumplen al inicio los rangos de especificación.

La prueba 6 de la pintura negra presenta una modificación en el porcentaje de los secantes cobalto, zirconio y calcio al 0,06 %, 0,17 % y 0,21 % respectivamente, la propiedad que no cumple desde el inicio con el rango de especificación es el brillo a 60 °.

La prueba 7 de la pintura negra presenta una modificación en el porcentaje de los secantes cobalto, zirconio y calcio al 0,12 %, 0,10 % y 0,20 % respectivamente, las propiedades que no cumple desde el inicio con el rango de especificación son la viscosidad y el brillo a 60 °.

La prueba 8 de la pintura negra presenta una adición de 0,1 % de complejo de cobalto, las propiedades que no cumple desde el inicio con el rango de especificación son la viscosidad y el brillo a 60 °.

La prueba 9 de la pintura negra presenta una adición de 0,2 % de complejo de cobalto, las propiedades cumplen al inicio los rangos de especificación.

Después de las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica las pinturas de las pruebas 1-9 no presenta grumos ni sedimentación por lo cual la fineza no se pierde y continúa siendo 7 H, por lo cual no es un parámetro decisivo para discriminar la mejor fórmula.

La densidad de las pruebas 1-9 presentan un porcentaje de incremento menor del 1% con respecto a su valor inicial, por lo cual no es un parámetro esencial para discriminar la mejor fórmula

La viscosidad es un parámetro que desde el inicio debe estar en el rango de especificación y no aumentar de manera que obtenga una apariencia tixotrópica o gelatinosa. Las pruebas que no cumplen con la viscosidad desde el inicio son las pruebas 1 y 3, 7 y 8. En las pruebas 1 y 3 se utilizó una resina externa, con ello se determina que la resina alquídica de planta presenta mejores resultados para la fórmula de pintura negra. En el caso de las pruebas 2, 5 y 6 la viscosidad inicial se encuentra dentro del rango de especificación, sin embargo, a las dos y cuatro semanas se presenta incremento con el cual sobrepasan el valor del rango de especificación. Por eso la viscosidad es un parámetro óptimo para discriminar la mejor fórmula ya que debe cumplir con el valor inicial del rango de especificación y también cumplir dentro del rango al pasar las 2 y cuatro semanas de estabilidad como se puede observar en la figura 26 y 27.

Los sólidos por peso de las pruebas 1-9 se encuentran dentro del rango de especificación al inicio, 2 semanas y 4 semanas variando poco como se observa en las figuras 28 y 29, por lo cual no es un parámetro crítico para discriminar la mejor fórmula.

El RC de las pruebas 1-9 se encuentran dentro del rango de especificación, y como se observa en las figuras 32 y 33 no se considera un parámetro esencial para discriminar la mejor fórmula.

Para la pintura negra con respecto al brillo ocurre lo mismo que con la pintura blanca, que al no tener un ambiente controlado no puede considerarse un parámetro adecuado para discriminar la mejor fórmula

El secado de las pruebas 1-9 se encuentran dentro del rango de especificación al inicio, sin embargo, aumenta al transcurrir las 2 y 4 semanas de estabilidad acelerada y mecánica. El registrador de tiempo de secado se encuentra en un ambiente controlado por lo cual se considera un parámetro determinante para discriminar la mejor fórmula.

Para la pintura negra los parámetros óptimos para discriminar la mejor prueba en estabilidad acelerada y mecánica son la viscosidad, secado, al observar las figuras 26, 27, 40 y 41 determina que la mejor prueba para la pintura blanca es la 9.

CONCLUSIONES

1. La resina alquídica de planta utilizada actualmente presenta mejores resultados en las propiedades iniciales que la resina alquídica externa.
2. Los parámetros determinantes para discriminar la fórmula de pintura con mejor estabilidad acelerada y mecánica en la pintura blanca son la viscosidad, blancura y secado.
3. Los parámetros determinantes para discriminar la fórmula de pintura con mejor estabilidad acelerada y mecánica en la pintura negra son la viscosidad, y secado.
4. En la pintura blanca la prueba 5 presenta mejoras con respecto a la viscosidad, blancura y secado con respecto a la prueba control. Teniendo un costo de \$ 0,0072/gal mayor, debido al cambio de formulación en la emulsión.
5. En la pintura negra la prueba 9 presenta mejoras con respecto a la viscosidad, y secado con respecto a la prueba control. Teniendo un costo de \$ 0,0787/gal mayor, ya que se añade el de complejo de cobalto.
6. La estabilidad acelerada permite determinar en 4 semanas el futuro comportamiento de la pintura de 6 meses a 1 año; por ello es un método eficaz y rápido para analizar si la formulación propuesta es la adecuada y evitar futuros reclamos.

7. La estabilidad mecánica permite determinar si la pintura presenta problemas al momento de ser sometida a fuerzas internas o externas, por lo que es un método eficaz para determinar si la pintura no presentara cambios al momento de trasladarla.
8. Para la pintura blanca como se observa en las figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 se acepta la hipótesis nula ya que no existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, solidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo a 20 °, brillo a 60 ° y brillo a 85 ° al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.
9. Para la pintura blanca como se observa en las figuras 14, 15, 22 y 23 se acepta la hipótesis alternativa ya que, si existe dependencia lineal de los valores de blancura y secado al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica, ya que la resina con el paso del tiempo tiende a amarillentar por su contenido de aceite afectando así directamente la blancura.
10. Para la pintura negra como se observa en las figuras 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39 se acepta la hipótesis nula ya que no existe dependencia lineal de los valores de viscosidad, peso por galón, solidos por peso, fineza, radio de contraste, brillo a 20 °, brillo a 60 ° y brillo a 85 ° al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.
11. Para la pintura negra como se observa en las figuras 40 y 41 se acepta la hipótesis alternativa ya que si existe dependencia lineal de los valores de secado al ser sometida a estabilidad acelerada y mecánica.

RECOMENDACIONES

1. Implementar una habitación en ambiente controlado para el secado de lenetas, de esta manera las condiciones serán las mismas durante todo el proceso de secado y podrá tenerse mejor control del brillo en cada pintura.
2. Establecer rangos de especificación para las propiedades de brillo en sus distintos ángulos de medición a 20 ° y 60 °.
3. Evitar utilizar en rango de especificación solo mínimos o máximos. Debe colocarse ambos es decir colocar rangos con límites inferior y superior para cada medición.
4. Utilizar equipo calibrado y en el caso del viscosímetro, registrador de tiempo de secado y el Data Color se debe contar con un certificado de calidad para evitar desviaciones o valores incorrectos.
5. Implementar la estabilidad acelerada y mecánica para los desarrollos de nuevas fórmulas y también en las ya existentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALONSO FELIPE, José Vicente. *Pinturas, Barnices y Afines: Composición, formulación y caracterización*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2013. 235 p.
2. BARRIOS MIX, Juan Carlos. *Síntesis Orgánica de Pigmentos Monoazóicos por medio de los Métodos Sustitiosen Fase Acuosa por Microondas y su Utilización en Pintura Artística*. Trabajo de graduación de maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2004. 130 p.
3. BENTLEY, John. *Introduction to Paint Chemistry and principles of paint technology*. London: Chapman & Hall. 1998. 298 p.
4. CALVO CARBONELL, Jordi. *Pinturas y Barnices: Tecnología básica*. España: Díaz de Santos. 2014. 407 p.
5. FREITAG, Werner; STOYE, Dieter. *Paints, Coatings and Solvents*. Alemania: Wiley-VCH. 1993. 401 p.
6. GIUDICE, Carlos; PEREYRA, Andrea. *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos. Componentes, formulación, manufactura y control de calidad*. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. 2009. 250 p.

7. Instrumentación Analítica, S.A. *Viscosímetro*. [en línea]. <<http://www.instru.es/producto.php?fm=pinturas-espumas-tintas&gm=viscosidad&idsub=109&id=196>>. [Consulta: 3 de noviembre de 2018].
8. Koleske, Joseph. *Paint and Coating Testing Manual*. 14 ed. Philadelphia: Gardner-Sward Handbook. 1995. 893 p.
9. MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGrawHill. 2007. 1165 p.
10. Neurtek Instruments. *Brillómetro Novo-Gloss Trio con Haze*. [en línea]. <<https://www.neurtek.com/es/color-y-brillo/brillometro/brillometro-novo-gloss-trio>>. [Consulta: 3 de noviembre de 2018].
11. PALET, Antoni. *Tratado de pintura. Color, pigmentos y ensayo*. Barcelona: Universitat de Barcelona. 2002. 172 p.
12. PARRILLA ALVARADO, Pablo Estuardo. (2011). *Pinturas y Revestimientos*. Trabajo de graduación de Arquitectura. Facultad de Arquitectura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2011. 82 p.
13. SCHWEIGGER, Enrique. *Manual de Pinturas y Recubrimientos Plásticos*. España: Díaz de Santos. 2005. 286 p.

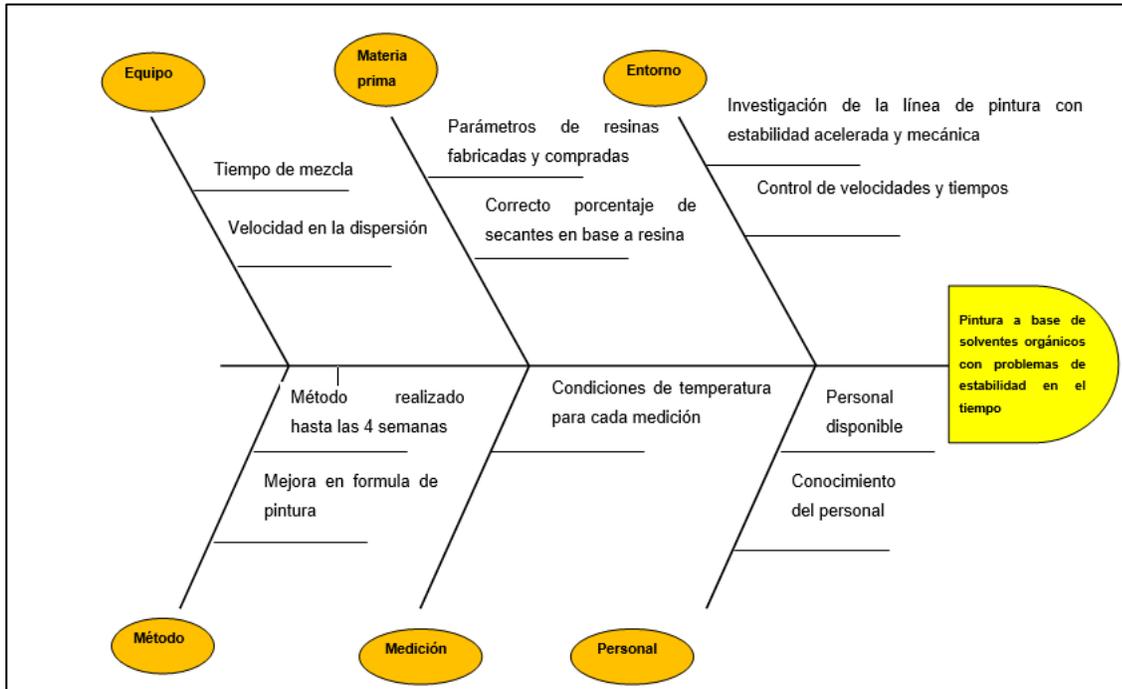
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos

Carrera	Área	Curso	Temática	Tema específico	Problema a resolver
Ingeniería Química	Área de química	Química orgánica	Solventes	Tipos de solventes orgánicos	Solventes orgánicos solubles y miscibles en las distintas formulaciones de pintura
	Área de operaciones unitarias	Flujo de fluidos (IQ-2)	Agitación y mezcla de líquidos	Aparatos para la agitación y mezcla	Correcta dispersión y mezcla en las pintura
	Área de especialización	Ciencia de los materiales	Propiedades de los materiales	Materiales líquidos y sólidos	Propiedades de las distintas materias primas utilizadas en las formulaciones de pintura
		Procesos químicos industriales	Proceso de pintura	Fabricación de pintura	Fabricación de pintura a base de solventes orgánicos
Área de ciencias básicas y complementarias	Contabilidad	Presupuesto	Presupuesto de proyectos	Presupuesto de proyecto de EPS de 6 meses en planta Superbia	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

Apéndice 3. **Datos de la prueba de control de la pintura blanca (fórmula actual de planta)**

Pintura Blanca					
prueba Control	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)	8,45	8,49	8,51	8,37	8,37
Viscosidad (KU)	109	140	140	140	140
Sólidos por peso (%)	24,15	24,19	24,11	24,74	24,34
Fineza (H)	7	7	7	0	7
RC (%)	85,80	86,33	86,19	85,89	88,37
Blancura (%)	75,03	70,45	69,52	67,38	67,08
Brillo (GU)	20°	48,7	43,8	46,6	39,7
	60°	86,6	81,7	84,9	72,8
	85°	85,3	84,8	72,7	75,9
Tiempo de secado (h)	1,5	12	11	21	21

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 4. **Datos de la prueba 1 de la pintura blanca (emulsión realizada en planta y resina externa)**

Pintura Blanca					
prueba 1	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	8,50	8,51	8,51	8,51	8,51
Viscosidad (KU)	135	138	140	139	140
%SXP	24,87	23,56	23,40	24,00	23,90
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	86,13	87,05	87,01	83,82	85,65
Blancura (%)	75,87	72,75	72,94	70,25	71,04
Brillo (GU)	20°	58,8	58,9	55,2	59
	60°	86,7	84,3	86,4	88,1
	85°	85,4	88,8	84,6	87,6
Tiempo de secado (h)	1	7	3	16	4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 5. Datos de la prueba 2 de la pintura blanca (resina de planta, emulsión realizada en planta y dispersada en laboratorio)

Pintura Blanca					
prueba 2	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)	8,44	8,45	8,47	8,49	8,49
Viscosidad (KU)	114,8	138	140	140	140
Sólidos por peso (%)	24,28	23,79	24,31	22,88	24,45
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	86,98	85,98	87,4	85,73	87,57
Blancura (%)	73,92	70,29	72,47	68,4	69,68
Brillo (GU)	20°	51,9	44,8	40,5	45
	60°	86,6	90,1	78,3	79,4
	85°	85,8	83,9	73,7	85
Tiempo de secado (h)	2	18,5	4,5	21,5	9

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 6. Datos de la prueba 3 de la pintura blanca (resina externa y emulsión realizada en planta y dispersada en laboratorio)

Pintura Blanca					
prueba 3	Inicial				
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)	8,47	8,47	8,47	8,49	8,50
Viscosidad (KU)	140	140	140	140	140
Sólidos por peso (%)	25,22	25,12	25,08	25,00	25,10
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	86,55	84,58	90,13	86,03	88,50
Blancura (%)	71,70	65,54	63,79	63,23	63,99
Brillo (GU)	20°	55,4	57,8	55,2	51,9
	60°	84,5	86,1	83,9	84,7
	85°	80,8	84,5	85,5	87,8
Tiempo de secado (h)	2	7	4,5	15	7

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 7. Datos de la prueba 4 de la pintura blanca (emulsión realizada en laboratorio y resina de planta)

Pintura Blanca					
prueba 4	Inicial				
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)	8,44	8,47	8,46	8,48	8,47
Viscosidad (KU)	111,1	120,6	137	135	137,9
Sólidos por peso (%)	23,8	24,03	23,61	23,78	24,18
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	84,48	85,82	86,36	84,30	86,23
Blancura (%)	77,02	72,28	75,74	65,69	72,43
Brillo (GU)	20°	58,2	49	27,1	26
	60°	84,6	84,3	69	66,3
	85°	85,2	83,3	67,6	64,8
Tiempo de secado (h)	2	6,5	2,5	16	7

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 8. Datos de la prueba 5 de la pintura blanca (nueva fórmula de emulsión y resina de planta)

Pintura Blanca					
prueba 5	Inicial				
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
Densidad (lb/gal)	8,47	8,47	8,46	8,48	8,48
Viscosidad (KU)	110,6	113,5	113,9	114	121
Sólidos por peso (%)	24,48	24,58	24,12	24,5	24,45
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	84,63	84,66	85,83	84,85	86,13
Blancura (%)	73,75	71,45	73,58	69,23	71,97
Brillo (GU)	20°	59,3	58,5	59,8	49,8
	60°	86,9	87,9	85,3	83,8
	85°	81,2	85,4	75,6	70,8
Tiempo de secado (h)	1,5	5	4	11	5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 9. Datos de la prueba control de la pintura negra (fórmula actual de la planta)

Pintura Negra					
prueba Control	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	7,98	8,02	8,01	8,01	8,01
Viscosidad (KU)	112,1	116,6	119,6	125	123,5
%SXP	18,48	18,97	18,28	18,94	18,61
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	100	99,87	99,96	100	100
Brillo (GU)	20°	48,9	51,4	49,8	35,8
	60°	88,8	88,2	80,9	79,7
	85°	93,9	91,8	80,9	79,9
Tiempo de secado (h)	1,5	19	6	24	5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 10. Datos de la prueba 1 de la pintura negra (emulsión realizada en planta y resina externa)

Pintura Negra					
prueba 1	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	8,03	8	8,01	8	8,02
Viscosidad (KU)	140	140	140	140	140
%SXP	20,13	19,15	19,6	19,2	19,52
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	100	99,52	99,77	100	100
Brillo (GU)	20°	62,4	65	64,6	69,1
	60°	91,3	93,3	95,9	92,3
	85°	91,5	95,7	97,6	92,4
Tiempo de secado (h)	2	21	6	24	7,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 11. Datos de la prueba 2 de la pintura negra (resina de planta y emulsión realizada en planta y dispersada en laboratorio)

Pintura Negra					
prueba 2	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	8	8,01	8,01	8,01	8
Viscosidad (KU)	119,7	117	130	120,7	140
%SXP	19,2	18,9	18,81	18,93	18,94
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	99,75	100	99,91	100	100
Brillo (GU)	20°	40,4	43,4	46,3	44,9
	60°	84,8	82,8	74,4	73,2
	85°	99	99,3	95	99,8
Tiempo de secado (h)	2	13	5	23,5	4,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 12. Datos de la prueba 3 de la pintura negra (resina externa, emulsión realizada en planta y dispersada en laboratorio)

Pintura Negra					
prueba 3	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	8	8,02	8,03	8,04	8,04
Viscosidad (KU)	140	140	140	140	140
%SXP	20,24	20,34	20,1	20,3	20,42
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	100	99,80	100	100	100
Brillo (GU)	20°	58,8	57,1	60,4	72,3
	60°	90,9	91,8	93	94,5
	85°	88	73,1	95,9	96,2
Tiempo de secado (h)	4	24	10	24	24

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 13. Datos de la prueba 4 de la pintura negra (emulsión realizada en laboratorio y resina de planta)

Pintura Negra					
prueba 4	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	7,97	8	7,99	7,99	7,99
Viscosidad (KU)	112	106,8	112,5	117,4	113,5
%SXP	18,72	18,85	18,71	18,17	18,79
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	99,66	100	99,97	100	100
Brillo (GU)	20°	31,9	67	33,1	39,8
	60°	83,4	93,6	80,9	82,6
	85°	81	91,7	87,9	82,9
Tiempo de secado (h)	2	4	6	10	4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 14. Datos de la prueba 5 de la pintura negra (nueva fórmula de emulsión y resina de planta)

Pintura Negra					
prueba 5	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	8	8	8,01	8,03	8,02
Viscosidad (KU)	116	120,2	121	120,5	122
%SXP	18,92	19,53	19,03	19,52	18,79
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	99,65	100	100	100	100
Brillo (GU)	20°	64,2	67,2	60,8	65
	60°	91,8	83,4	86,3	85,7
	85°	80,9	79,4	87	79
Tiempo de secado (h)	2	5,5	6	24	4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 15. Datos de la prueba 6 de la pintura negra (variando cobalto, zirconio y calcio al 0,6 %, 0,17 % y 0,21 % respectivamente)

Pintura Negra					
prueba 6	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	7,97	8	8
Viscosidad (KU)	119,5	113	126	111,7	129,2
%SXP	18,73	18,01	18,47	18,51	18,38
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	100	100	99,79	99,99	100
Brillo (GU)	20°	72,5	64,9	70,3	65,7
	60°	84,1	88	92,7	88,3
	85°	85,1	85,2	97,7	80,7
Tiempo de secado (h)	2	24	6	24	6,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 16. Datos de la prueba 7 de la pintura negra (variando cobalto, zirconio y calcio al 0,12 %, 0,10 % y 0,20 % respectivamente)

Pintura Negra					
prueba 7	Inicial	2 semanas		4 semanas	
	Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	7,97	7,99	7,99
Viscosidad (KU)	124,3	116,8	128	109,6	126,5
%SXP	18,34	18,66	18,41	18,9	18,38
Fineza (H)	7	7	7	7	7
RC (%)	100	99,83	99,73	100	100
Brillo (GU)	20°	52,4	45	34,1	44,1
	60°	84,5	82,1	75,3	85,5
	85°	92	91,4	80,6	79
Tiempo de secado (h)	2	24	2	24	4

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 17. **Datos de la prueba 8 de la pintura negra (añadiendo complejo de cobalto al 0,1 %)**

		Pintura Negra				
	prueba 8	Inicial	2 semanas		4 semanas	
		Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
	PXG (lb/gal)	8,01	8,01	8,02	8,02	8,02
	Viscosidad (KU)	135	123,1	139,2	119,4	127,8
	%SXP	19,00	19,11	19,26	19,56	19,44
	Fineza (H)	7	7	7	7	7
	RC (%)	100	99,42	98,3	99,76	99,49
Brillo (GU)	20°	40,4	59,2	57,4	57,1	40,5
	60°	80,4	93,3	88,9	87,3	71,3
	85°	76	88	81,1	88,5	74,5
	Tiempo de secado (h)	2	3,5	4	4	1,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 18. **Datos de la prueba 9 de la pintura negra (añadiendo complejo de cobalto al 0,2 %)**

		Pintura Negra				
	prueba 9	Inicial	2 semanas		4 semanas	
		Valor	Horno	Rodillo	Horno	Rodillo
	PXG (lb/gal)	8	8,02	8,02	8,01	8,02
	Viscosidad (KU)	112	107,6	117	113,6	117
	%SXP	18,46	18,63	18,41	18,52	18,61
	Fineza (H)	7	7	7	7	7
	RC (%)	99,96	99,3	99,24	99,85	99,1
Brillo (GU)	20°	50	69,7	45	64,1	37,7
	60°	86	94,2	81,8	91	78,6
	85°	78,2	92,7	71,5	79,4	72,3
	Tiempo de secado (h)	1,5	2,5	4	3	2,5

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 19. **Porcentaje de incremento en pintura blanca, prueba de control en estabilidad acelerada**

Pintura Blanca				
prueba Control	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,45	8,49	8,37	-0,95 %
Viscosidad (KU)	109	140	140	28,44 %
%SXP	24,15	24,19	24,74	2,44 %
Fineza (H)	7	7	0	-100,00 %
RC (%)	85,8	86,33	85,89	0,10 %
Blancura (%)	75,03	70,45	67,38	-10,20 %
Brillo (GU)	20°	48,7	43,8	-18,48 %
	60°	86,6	81,7	-15,94 %
	85°	85,3	84,8	-11,02 %
Tiempo de secado (h)	1,5	12	21	1300,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 20. **Porcentaje de incremento en pintura blanca, prueba de control en estabilidad cerrada**

Pintura Blanca				
prueba Control	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,45	8,51	8,37	-0,95 %
Viscosidad (KU)	109	140	140	28,44 %
%SXP	24,15	24,11	24,34	0,79 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	85,8	86,19	88,37	3,00 %
Blancura (%)	75,03	69,52	67,08	-10,60 %
Brillo (GU)	20°	48,7	46,6	-24,02 %
	60°	86,6	84,9	-12,59 %
	85°	85,3	72,7	-16,53 %
Tiempo de secado (h)	1,5	11	21	1300,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 21. Prueba 1 de la pintura blanca en estabilidad acelerada

Pintura Blanca				
prueba 1	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,5	8,51	8,51	0,12 %
Viscosidad (KU)	135	138	139	2,96 %
%SXP	24,87	23,56	24	-3,50 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,13	87,05	83,82	-2,68 %
Blancura (%)	75,87	72,75	70,25	-7,41 %
Brillo (GU)	20°	58,8	58,9	0,34 %
	60°	86,7	84,3	1,61 %
	85°	85,4	88,8	2,58 %
Tiempo de secado (h)	1	7	16	1500,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 22. Prueba 1 de la pintura blanca en estabilidad mecánica

Pintura Blanca				
prueba 1	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,5	8,51	8,51	0,12 %
Viscosidad (KU)	135	140	140	3,70 %
%SXP	24,87	23,4	23,9	-3,90 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,13	87,01	85,65	-0,56 %
Blancura (%)	75,87	72,94	71,04	-6,37 %
Brillo (GU)	20°	58,8	55,2	-9,52 %
	60°	86,7	86,4	0,12 %
	85°	85,4	84,6	0,12 %
Tiempo de secado (h)	1	3	4	300,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 23. **Prueba 2 de la pintura blanca en estabilidad acelerada**

Pintura Blanca				
prueba 2	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,44	8,45	8,49	0,59 %
Viscosidad (KU)	114,8	138	140	21,95 %
%SXP	24,28	23,79	22,88	-5,77 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,98	85,98	85,73	-1,44 %
Blancura (%)	73,92	70,29	68,4	-7,47 %
Brillo (GU)	20°	51,9	44,8	-13,29 %
	60°	86,6	90,1	-8,31 %
	85°	85,8	83,9	-0,93 %
Tiempo de secado (h)	2	18,5	21,5	975,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 24. **Prueba 2 de la pintura blanca en estabilidad mecánica**

Pintura Blanca				
prueba 2	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,44	8,47	8,49	0,59 %
Viscosidad (KU)	114,8	140	140	21,95 %
%SXP	24,28	24,31	24,45	0,70 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,98	87,4	87,57	0,68 %
Blancura (%)	73,92	72,47	69,68	-5,74 %
Brillo (GU)	20°	51,9	40,5	-25,09 %
	60°	86,6	78,3	-10,74 %
	85°	85,8	73,7	-15,27 %
Tiempo de secado (h)	2	4,5	9	350,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 25. **Prueba 3 de la pintura blanca en estabilidad acelerada**

Pintura Blanca				
prueba 3	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,47	8,47	8,49	0,24 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	25,22	25,12	25	-0,87 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,55	84,58	86,03	-0,60 %
Blancura (%)	71,7	65,54	63,23	-11,81 %
Brillo (GU)	20°	55,4	57,8	-6,32 %
	60°	84,5	86,1	0,24 %
	85°	80,8	84,5	8,66 %
Tiempo de secado (h)	2	7	15	650,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 26. **Prueba 3 de la pintura blanca en estabilidad mecánica**

Pintura Blanca				
prueba 3	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,47	8,47	8,5	0,35 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	25,22	25,08	25,1	-0,48 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	86,55	90,13	88,5	2,25 %
Blancura (%)	71,7	63,79	63,99	-10,75 %
Brillo (GU)	20°	55,4	55,2	1,62 %
	60°	84,5	83,9	-1,30 %
	85°	80,8	85,5	4,21 %
Tiempo de secado (h)	2	4,5	7	250,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 27. **Prueba 4 de la pintura blanca en estabilidad acelerada**

Pintura Blanca					
prueba 4	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento	
	Valor	Horno	Horno		
PXG (lb/gal)	8,44	8,47	8,48	0,47 %	
Viscosidad (KU)	111,1	120,6	135	21,51 %	
%SXP	23,8	24,03	23,78	-0,08 %	
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %	
RC (%)	84,48	85,82	84,3	-0,21 %	
Blancura (%)	77,02	72,28	65,69	-14,71 %	
Brillo (GU)	20°	58,2	49	41,9	-28,01 %
	60°	84,6	84,3	80,4	-4,96 %
	85°	85,2	83,3	80,8	-5,16 %
Tiempo de secado (h)	2	6,5	16	700,00 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 28. **Prueba 4 de la pintura blanca en estabilidad mecánica**

Pintura Blanca					
prueba 4	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento	
	Valor	Rodillo	Rodillo		
PXG (lb/gal)	8,44	8,46	8,47	0,36 %	
Viscosidad (KU)	111,1	137	137,9	24,12 %	
%SXP	23,8	23,61	24,18	1,60 %	
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %	
RC (%)	84,48	86,36	86,23	2,07 %	
Blancura (%)	77,02	75,74	72,43	-5,96 %	
Brillo (GU)	20°	58,2	27,1	26	-55,33 %
	60°	84,6	69	66,3	-21,63 %
	85°	85,2	67,6	64,8	-23,94 %
Tiempo de secado (h)	2	2,5	7	250,00 %	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 29. **Prueba 5 de la pintura blanca en estabilidad acelerada**

Pintura Blanca				
prueba 5	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,47	8,47	8,48	0,12 %
Viscosidad (KU)	110,6	113,5	114	3,07 %
%SXP	24,48	24,58	24,5	0,08 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	84,63	84,66	84,85	0,26 %
Blancura (%)	73,75	71,45	69,23	6,13 %
Brillo (GU)	20°	59,3	58,5	3,20 %
	60°	86,9	87,9	5,64 %
	85°	81,2	85,4	3,20 %
Tiempo de secado (h)	1,5	5	11	633,33 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 30. **Prueba 5 de la pintura blanca en estabilidad mecánica**

Pintura Blanca				
prueba 5	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,47	8,46	8,48	0,12 %
Viscosidad (KU)	110,6	113,9	121	9,40 %
%SXP	24,48	24,12	24,45	-0,12 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	84,63	85,83	86,13	1,77 %
Blancura (%)	73,75	73,58	71,97	-2,41 %
Brillo (GU)	20°	59,3	59,8	-16,02 %
	60°	86,9	85,3	-3,57 %
	85°	81,2	75,6	-12,81 %
Tiempo de secado (h)	1,5	4	5	233,33 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 31. **Prueba control de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba Control	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	7,98	8,02	8,01	0,38 %
Viscosidad (KU)	112,1	116,6	125	11,51 %
%SXP	18,48	18,97	18,94	2,49 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,87	100	0,00 %
Brillo (%)	20°	48,9	51,4	1,84 %
	60°	88,8	88,2	-1,13 %
	85°	93,9	91,8	-1,38 %
Tiempo de secado (h)	1,5	19	24	1500,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 32. **Prueba control de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba Control	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	7,98	8,01	8,01	0,38 %
Viscosidad (KU)	112,1	119,6	123,5	10,17 %
%SXP	18,48	18,28	18,61	0,70 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,96	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	48,9	40,5	-26,79 %
	60°	88,8	80,9	-10,25 %
	85°	93,9	80,9	-14,91 %
Tiempo de secado (h)	1,5	6	5	233,33 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 33. Prueba 1 de la pintura negra en estabilidad acelerada

Pintura Negra				
prueba 1	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,03	8	8	-0,37 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	20,13	19,15	19,2	-4,62 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,52	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	62,4	65	1,92 %
	60°	91,3	93,3	0,33 %
	85°	91,5	95,7	2,73 %
Tiempo de secado (h)	2	21	24	1100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 34. Prueba 1 de la pintura negra en estabilidad mecánica

Pintura Negra				
prueba 1	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,03	8,01	8,02	-0,12 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	20,13	19,6	19,52	-3,03 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,77	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	62,4	64,6	10,74 %
	60°	91,3	95,9	1,10 %
	85°	91,5	97,6	0,98 %
Tiempo de secado (h)	2	6	7,5	275,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 35. **Prueba 2 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 2	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8	8,01	8,01	0,12 %
Viscosidad (KU)	119,7	117	120,7	0,84 %
%SXP	19,2	18,9	18,93	-1,41 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,75	100	100	0,25 %
Brillo (GU)	20°	40,4	73,4	12,62 %
	60°	84,8	92,8	-0,59 %
	85°	79	99,3	26,33 %
Tiempo de secado (h)	5,5	13	23,5	327,27 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 36. **Prueba 2 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 2	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8	8,01	8	0,00 %
Viscosidad (KU)	119,7	130	140	16,96 %
%SXP	19,2	18,81	18,94	-1,35 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,75	99,91	100	0,25 %
Brillo (GU)	20°	40,4	46,3	11,14 %
	60°	84,8	74,4	-13,68 %
	85°	99	95	-4,55 %
Tiempo de secado (h)	2	5	4,5	125,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 37. **Prueba 3 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 3	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8	8,02	8,04	0,50 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	20,24	20,34	20,3	0,30 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,8	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	58,8	57,1	-5,78 %
	60°	90,9	91,8	0,88 %
	85°	88	73,1	3,86 %
Tiempo de secado (h)	4	24	24	500,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 38. **Prueba 3 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 3	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8	8,03	8,04	0,50 %
Viscosidad (KU)	140	140	140	0,00 %
%SXP	20,24	20,1	20,42	0,89 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	100	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	58,8	60,4	22,96 %
	60°	90,9	93	3,96 %
	85°	88	95,9	9,32 %
Tiempo de secado (h)	4	10	24	500,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 39. Prueba 4 de la pintura negra en estabilidad acelerada

Pintura Negra				
prueba 4	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	7,97	8	7,99	0,25 %
Viscosidad (KU)	112	106,8	117,4	4,82 %
%SXP	18,72	18,85	18,17	-2,94 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,66	100	100	0,34 %
Brillo (GU)	20°	31,9	67	97,81 %
	60°	83,4	93,6	8,39 %
	85°	81	91,7	16,54 %
Tiempo de secado (h)	2	4	10	400,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 40. Prueba 4 de la pintura negra en estabilidad mecánica

Pintura Negra				
prueba 4	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	7,97	7,99	7,99	0,25 %
Viscosidad (KU)	112	112,5	113,5	1,34 %
%SXP	18,72	18,71	18,79	0,37 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,66	99,97	100	0,34 %
Brillo (GU)	20°	31,9	33,1	24,76 %
	60°	83,4	80,9	-0,96 %
	85°	81	87,9	2,35 %
Tiempo de secado (h)	2	6	4	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 41. **Prueba 5 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 5	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8	8	8,03	0,37 %
Viscosidad (KU)	116	120,2	120,5	3,88 %
%SXP	18,92	19,53	19,52	3,17 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,65	100	100	0,35 %
Brillo (GU)	20°	64,2	67,2	-0,47 %
	60°	91,8	83,4	-10,57 %
	85°	80,9	79,4	-2,47 %
Tiempo de secado (h)	2	5,5	24	1100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 42. **Prueba 5 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 5	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8	8,01	8,02	0,25 %
Viscosidad (KU)	116	121	122	5,17 %
%SXP	18,92	19,03	18,79	-0,69 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,65	100	100	0,35 %
Brillo (GU)	20°	64,2	60,8	1,25 %
	60°	91,8	86,3	-6,64 %
	85°	80,9	87	-2,35 %
Tiempo de secado (h)	2	6	4	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 43. **Prueba 6 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 6	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	8	0,50 %
Viscosidad (KU)	119,5	113	111,7	-6,53 %
%SXP	18,73	18,01	18,51	-1,17 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	100	99,99	-0,01 %
Brillo (GU)	20°	72,5	64,9	-9,38 %
	60°	84,1	88	4,99 %
	85°	85,1	85,2	-5,17 %
Tiempo de secado (h)	2	24	24	1100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 44. **Prueba 6 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 6	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	8	0,50 %
Viscosidad (KU)	119,5	126	129,2	8,12 %
%SXP	18,73	18,47	18,38	-1,87 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,79	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	72,5	70,3	-18,21 %
	60°	84,1	92,7	4,52 %
	85°	85,1	97,7	-6,70 %
Tiempo de secado (h)	2	6	6,5	225,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 45. **Prueba 7 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 7	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	7,99	0,38 %
Viscosidad (KU)	124,3	116,8	109,6	-11,83 %
%SXP	18,34	18,66	18,9	3,05 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,83	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	52,4	45	-15,84 %
	60°	84,5	82,1	1,18 %
	85°	92	91,4	-14,13 %
Tiempo de secado (h)	2	24	24	1100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 46. **Prueba 7 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 7	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	7,96	7,97	7,99	0,38 %
Viscosidad (KU)	124,3	128	126,5	1,77 %
%SXP	18,34	18,41	18,38	0,22 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,73	100	0,00 %
Brillo (GU)	20°	52,4	34,1	-42,75 %
	60°	84,5	75,3	-14,08 %
	85°	92	80,6	-17,39 %
Tiempo de secado (h)	2	2	4	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 47. Prueba 8 de la pintura negra en estabilidad acelerada

Pintura Negra				
prueba 8	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8,01	8,01	8,02	0,12 %
Viscosidad (KU)	135	123,1	119,4	-11,56 %
%SXP	19	19,11	19,56	2,95 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	99,42	99,76	-0,24 %
Brillo (GU)	20°	40,4	59,2	41,34 %
	60°	80,4	93,3	8,58 %
	85°	76	88	16,45 %
Tiempo de secado (h)	2	3,5	4	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 48. Prueba 8 de la pintura negra en estabilidad mecánica

Pintura Negra				
prueba 8	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8,01	8,02	8,02	0,12 %
Viscosidad (KU)	135	139,2	127,8	-5,33 %
%SXP	19	19,26	19,44	2,32 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	100	98,3	99,49	-0,51 %
Brillo (GU)	20°	40,4	57,4	0,25 %
	60°	80,4	88,9	-11,32 %
	85°	76	81,1	-1,97 %
Tiempo de secado (h)	2	4	1,5	-25,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 49. **Prueba 9 de la pintura negra en estabilidad acelerada**

Pintura Negra				
prueba 9	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Horno	Horno	
PXG (lb/gal)	8	8,02	8,01	0,12 %
Viscosidad (KU)	112	107,6	113,6	1,43 %
%SXP	18,46	18,63	18,52	0,33 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,96	99,3	99,85	-0,11 %
Brillo (GU)	20°	50	69,7	28,20 %
	60°	86	94,2	5,81 %
	85°	78,2	92,7	1,53 %
Tiempo de secado (h)	1,5	2,5	3	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.

Apéndice 50. **Prueba 9 de la pintura negra en estabilidad mecánica**

Pintura Negra				
prueba 9	Inicial	2 semanas	4 semanas	% incremento
	Valor	Rodillo	Rodillo	
PXG (lb/gal)	8	8,02	8,02	0,25 %
Viscosidad (KU)	112	117	117	4,46 %
%SXP	18,46	18,41	18,61	0,81 %
Fineza (H)	7	7	7	0,00 %
RC (%)	99,96	99,24	99,1	-0,86 %
Brillo (GU)	20°	50	45	-24,60 %
	60°	86	81,8	-8,60 %
	85°	78,2	71,5	-7,54 %
Tiempo de secado (h)	1,5	4	2,5	66,67 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2019.