

**EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD DE BASES PIGMENTARIAS DE
DIFERENTES QUIMICAS DE PINTURAS**

KAREN ALEJANDRA TORRES NAVAS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

**EVALUACIÓN DE COMPATIBILIDAD EN BASES PIGMENTARIAS DE
DIFERENTES QUIMICAS DE PINTURAS**

KAREN ALEJANDRA TORRES NAVAS

**Proyecto integral de grado para optar el titulo
INGENIERO QUIMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente de Jurado
Ing. Edgar Fernando Moreno

Jurado 1
Ing. Juan Camilo Cely

Jurado 2
Ing. Felipe Correa

Bogotá D.C, Agosto de 2018.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General de la Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los Elaboración propia

DEDICATORIA

A mi padre, **Jairo Torres**, no hay palabras para describirlo, pero todo es para él.

A mi mamá **Edith Navas**, todo lo que haga siempre será para enorgullecerla.

A mi hermano **Camilo Torres**, por quien quise llegar hasta este punto de mi carrera para demostrarle que los sacrificios otorgan grandes recompensas.

AGRADECIMIENTOS

Podría extenderme en agradecimientos, porque el apoyo que estuve recibiendo fue inmenso, en primera instancia agradecerle a Dios, por el solo hecho de estar escribiendo esto ya todo es gracias a él; a mi padre, Jairo Torres, quien siempre ha demostrado que las cosas se pueden, el esfuerzo que ha hecho para poder culminar este trabajo, realizar mis sueños, el agradecimiento es inmenso, porque no solo es un apoyo económico, gracias por aconsejarme y darme las pautas para saber tomar decisiones, como la de escoger la ingeniería química. ¡Gracias Papá!

A mi mamá Edith Navas, por su compañía y esfuerzo que hace para lograr la meta, a Omar Beltrán, apoyo incondicional.

A mis tíos Navas, a cada uno le debo el poder estar culminando este proceso, cada uno estuvo apoyándome a lo largo de estos años.

A la empresa que respaldo el proyecto de grado por brindarme la confianza de realizar el proyecto en sus instalaciones y en su nombre. Muy agradecida con la ingeniera Paula Mazo, por su apoyo y guía durante el tiempo que se realizó el proyecto; con el ingeniero Cesar López, por brindarme su información con la experiencia y los conocimientos en el campo de recubrimientos y por sus consejos en el ámbito religioso. A todo el equipo de Investigación & Desarrollo y Calidad quienes con sus conocimientos ayudaron a formar la experiencia laboral que obtuve durante este proyecto, no puedo estar más agradecida con todo el conocimiento que obtuve gracias a todos los trabajadores del laboratorio de la empresa.

A mi orientador de trabajo de grado Fernando Moreno, por su acompañamiento y asesoramiento para la finalidad del proyecto.

No puedo finalizar sin agradecer a mis amigos, cada uno estuvo aportando de diferentes maneras con el apoyo emocional e intelectual.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	pág. 22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 PINTURAS	24
1.1.1 Componentes de la pintura	24
1.1.1.1 Resina o Vehículo	25
1.1.1.2 Aditivo	25
1.1.1.3 Solvente	25
1.1.1.4 Pigmento	25
1.1.2 Tipos de pintura	26
1.1.2.1 Uretano	26
1.1.2.2 Epóxica	27
1.1.2.3 Alquídica.	27
1.2 PASTAS PIGMENTARIAS	27
1.2.1 Amarillo Cromo	27
1.2.2 Naranja Molibdeno	28
1.2.3 Verde GNX.	29
1.3 PROCESO DE DISPERSIÓN	29
1.3.1 Humectación	29
1.3.1.1 Adhesión	30
1.3.1.2 Penetración	30
1.3.1.3 Propagación	30
1.3.2 Dispersión	30
1.3.3 Estabilización	31
1.4 MOLIENDA	31
1.4.1 Componentes del proceso	32
1.4.2 Variables de operación	32
1.4.2.1 Carga de medio de molienda	32
1.4.2.2 Velocidad de rotación	32
1.5 TEORIA DEL COLOR	32
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	35
2.1 ELABORACIÓN DE LA PASTA PIGMENTARIA	35
2.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS	35
2.2.1 Balanza Ohaus EC	36
2.2.2 Molino y Agitador Cowles	36
2.2.3 Grindómetro Hegman	37
2.2.4 Viscosímetro Brookfield	38

2.2.5	Analizador de humedad halógeno HE73	38
2.2.6	Estufa Marca Memmert	39
2.2.7	Aplicador tipo Bird	40
2.2.8	Lenetas marca Neurtek	40
2.2.9	Pistola para pintar marca Devilbiss	41
2.2.10	Cámara UV Marca QUV	41
2.2.11	Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta	42
2.2.12	Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint	43
2.3	MEJORES CONDICIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LAS DISPERSIONES PIGMENTARIAS	43
2.3.1	Determinación de mejor concentración pigmento-dispersante	44
2.3.1.1	Definición de colores y concentraciones a trabajar	44
2.3.1.2	Evaluación de variables	45
2.3.2	Establecimiento de las mejores condiciones del proceso de molienda	47
2.4	DESEMPEÑO EN LAS PINTURAS EPOXI, URETANO Y ALQUÍDICO OBTENIDAS EN LAS DISPERSIONES PIGMENTARIAS	47
2.4.1	APLICACIÓN EN LÁMINAS	47
2.4.2	EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PINTURA	48
2.4.2.1	Brillo	48
2.4.2.2	Esfuerzo de color	48
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
3.1	DETERMINACIÓN MEJORES CONCENTRACIONES PARA LAS PASTAS PIGMENTARIAS	49
3.1.1	Amarillo Cromo	49
3.1.1.1	Finura de molienda (tamaño de partícula)	50
3.1.1.2	Viscosidad (antes y después de estabilidad)	51
3.1.1.3	Porcentaje de sólidos	53
3.1.1.4	Sedimentación (prueba después de estabilidad)	55
3.1.1.5	Esfuerzo de color	55
3.1.2	Análisis estadístico para las pastas Amarillo Cromo	57
3.1.2.1	Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del amarillo cromo	57
3.1.2.2	Análisis gráficos de efectos para la obtención de las pastas Amarillo Cromo	58
3.1.2.3	Optimización del modelo para la obtención de la pasta color amarillo cromo	60
3.1.3	Naranja Molibdeno	61
3.1.3.1	Finura de molienda (tamaño de partícula)	61
3.1.3.2	Viscosidad (antes y después de estabilidad)	62
3.1.3.3	Porcentaje de sólidos	64
3.1.3.4	Sedimentación (prueba después de estabilidad)	65
3.1.3.5	Esfuerzo de color	66

3.1.4	Análisis de los resultados estadísticos para las pastas pigmentarias en Naranja Molibdeno	67
3.1.4.1	Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del naranja molibdeno	68
3.1.4.2	Análisis gráficos de efectos para la obtención de las pastas Naranja Molibdeno	69
3.1.4.3	Optimización del modelo para la obtención de la pasta color Naranja Molibdeno	71
3.1.5	Verde GNX	72
3.1.5.1	Finura de molienda (tamaño de partícula)	73
3.1.5.2	Viscosidad (antes y después de estabilidad)	74
3.1.5.3	Porcentaje de sólidos	76
3.1.5.4	Sedimentación (prueba después de estabilidad)	77
3.1.5.5	Esfuerzo de color	77
3.1.6	Análisis estadístico de los resultados de las pastas pigmentarias verde gnx	79
3.1.6.1	Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del verde gnx	80
3.1.6.2	Análisis de gráficos de efectos para la obtención de las pastas Verde gnx	81
3.1.6.3	Optimización del modelo para la obtención de la pasta verde gnx	83
3.2	MEJORES CONDICIONES MOLIENDA	84
3.2.1	Finura de molienda (tamaño de partícula)	85
3.2.2	Viscosidad	86
3.2.3	Esfuerzo de color	87
3.2.4	Análisis estadístico de los resultados para las pastas pigmentarias en la operación de molienda	87
3.2.4.1	Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) para el proceso de molienda	88
3.2.4.2	Optimización del modelo para la obtención de la pasta en el proceso de molienda	89
3.3	DESEMPEÑO EN LAS PINTURAS	90
3.3.1	Amarillo Cromo	90
3.3.1.1	Brillo	90
3.3.1.2	Esfuerzo de color	93
3.3.2	Naranja Molibdeno	95
3.3.2.1	Brillo	95
3.3.2.2	Esfuerzo de color	98
3.3.3	Verde Gnx	100
3.3.3.1	Brillo	100
3.3.3.2	Esfuerzo de color	103
4.	ANALISIS DE COSTOS	107
4.1	COSTO PASTA PIGMENTARIA	107
4.1.1	Amarillo Cromo.	107

4.1.2	Naranja Molibdeno	108
4.1.3	Verde Gn	108
4.2	COSTO CARGA CIRCONIO	109
4.3	COSTO ENERGÉTICO	109
4.4	COMPARACIÓN CON PRECIOS DE PLANTA	110
5.	CONCLUSIONES	113
6.	RECOMENDACIONES	116
	BIBLIOGRAFIA	116
	ANEXOS	119

LISTA TABLAS

	pág.
Tabla 1. Diseño experimentos para amarillo cromo	44
Tabla 2. Diseño experimentos para naranja molibdeno	45
Tabla 3. Diseño experimentos para verde gnx	45
Tabla 4. Diseño de experimentos para molienda	47
Tabla 5. Cantidad reactivos Amarillo Cromo (base de cálculo 1000g)	49
Tabla 6. Medida de finura de molienda. (30 minutos)	50
Tabla 7. Mediciones de viscosidad para Amarillo Cromo antes y después de estabilidad.	52
Tabla 8. Medidas de porcentaje de sólidos para Amarillo Cromo	53
Tabla 9. Esfuerzo color (valor L*) de las lenetas antes y después de estabilidad.	56
Tabla 10. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Amarillo Cromo	57
Tabla 11. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)	58
Tabla 12. Optimización del modelo polinomial para la obtención de pasta amarillo cromo	60
Tabla 13. Cantidad reactivos para Naranja Molibdeno	61
Tabla 14. Tamaño de partícula en 30 minutos	61
Tabla 15. Viscosidades para Naranja Molibdeno en cP	63
Tabla 16. Medida del porcentaje de solidos antes de estabilidad.	64
Tabla 17. Esfuerzo color (valor L*) de las lenetas antes y después de estabilidad	66
Tabla 18. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Naranja Molibdeno	68
Tabla 19. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)	69
Tabla 20. Optimización del modelo polinomial para la obtención de pasta Naranja Molibdeno	71
Tabla 21. Cantidad reactivos para Verde GNX (base de cálculo 1000g)	73
Tabla 22. Medida de finura de molienda.	73
Tabla 23. Viscosidades antes y después de estabilidad para Verde Gnx	75
Tabla 24. Porcentaje de sólidos para Verde GNX	76
Tabla 25. Esfuerzo de color (valor *L) de las lenetas antes y después de estabilidad.	78
Tabla 26. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Verde Gnx.	80
Tabla 27. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)	81
Tabla 28. Optimización del modelo polinomial para la obtención	

de pasta verde gnx	83
Tabla 29. Orden y variables de cada ensayo	85
Tabla 30. Medida finura de molienda en 30 minutos.	85
Tabla 31. Medición de viscosidad para los ensayos de molienda	86
Tabla 32. Esfuerzo de color (valor *L) para los ensayos de molienda.	87
Tabla 33. Respuestas de proceso de molienda.	87
Tabla 34. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)	89
Tabla 35. Optimización del modelo polinomial para la obtención de la pasta en el proceso de molienda.	89
Tabla 36. Brillo de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	90
Tabla 37. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz	92
Tabla 38. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	93
Tabla 39. Esfuerzo de color de las láminas Uretano	94
Tabla 40. Brillo de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	95
Tabla 41. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz	96
Tabla 42. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	98
Tabla 43. Esfuerzo de color de las láminas Uretano	99
Tabla 44. Brillo de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	101
Tabla 45. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz	102
Tabla 46. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	103
Tabla 47. Esfuerzo de color de las láminas Uretano	105
Tabla 48. Costo de materia para las pastas pigmentarias	107
Tabla 49. Costo de materia prima para el amarillo Cromo	108
Tabla 50. Costo de materia prima para el naranja molibdeno	108
Tabla 51. Costo de materia prima para el verde gnx	109
Tabla 52. Datos de potencia de los instrumentos	109
Tabla 53. Cálculo del consumo eléctrico.	110
Tabla 54. Porcentaje de pigmento en cada química de pintura.	111

LISTA IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Pigmento amarillo cromo	28
Imagen 2. Pigmento color naranja molibdeno	28
Imagen 3. Pigmento verde gnx	29
Imagen 4. Humectación del pigmento	30
Imagen 5. Dispersión del pigmento	31
Imagen 6. Espacio de color CIELAB	33
Imagen 7. Balanza Ohaus.	36
Imagen 8. Molino y agitador Cowles.	36
Imagen 9. Grindometro Hegman	37
Imagen 10. Viscosímetro brookfield DV II +Pro	38
Imagen 11. Analizador de Humedad.	39
Imagen 12. Aplicador tipo Bird Cuadrado.	40
Imagen 13. Leneta	40
Imagen 14. Pistola Devilbiss	41
Imagen 15. Cámara UV	42
Imagen 16. Espectrofotómetro	42
Imagen 17. Reflectómetro	43
Imagen 18. Finura de partícula amarillo cromo	51
Imagen 19. Finura de partícula Naranja Molibdeno	62
Imagen 20. Ensayos después de estabilidad para Naranja Molibdeno	65
Imagen 21. Aplicación NA-1 Antes estabilidad (AE) y después estabilidad (DE)	67
Imagen 22. Finura de partícula Verde GNX	74
Imagen 23. Aplicación VE-9 antes (AE) y después de estabilidad (DE).	79

LISTA GRÁFICAS

	pág.
Grafica 1. Comparación viscosidades antes y después de estabilidad	52
Grafica 2. Comparación esfuerzo color de estabilidad antes y después de estabilidad.	56
Grafica 3. Gráfico de efectos para el esfuerzo de color (*L) amarillo cromo.	59
Grafica 4. Gráfico de efectos para la viscosidad para Amarillo Cromo.	59
Grafica 5. Gráficos de contorno para el esfuerzo de color (*L) para amarillo cromo	60
Grafica 6. Viscosidades antes y después de estabilidad para Naranja Molibdeno	63
Grafica 7. Comparación de luminosidad antes y después de estabilidad	66
Grafica 8. Efectos para esfuerzo de color (*L) Naranja Molibdeno	70
Grafica 9. Efectos para la viscosidad para Naranja Molibdeno	71
Grafica 10. Contorno para el esfuerzo de color (*L) para Naranja Molibdeno	72
Grafica 11. Comparación viscosidades antes y después de estabilidad para Verde gnX	75
Grafica 12. Comparación esfuerzo de color antes y después de estabilidad	78
Grafica 13. Grafica efectos para esfuerzo de color Verde gnX	82
Grafica 14. Grafica efectos para la viscosidad en Verde gnX.	83
Grafica 15. Gráfico de contorno para el esfuerzo de color (*L) para verde gnX	84
Grafica 16. Valores de brillo para las láminas epóxicas y alquídicas.	91
Grafica 17. Valores de brillo para las láminas uretanos y barnices.	92
Grafica 18. Valores de esfuerzo de color para las láminas epóxicas y alquídicas.	93
Grafica 19. Valores de esfuerzo de color para las láminas uretanos.	95
Grafica 20. Valores de brillo para las láminas epóxicas y alquídicas	96
Grafica 21. Valores de brillo para las láminas uretanos y barnices	97
Grafica 22. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epoxico y Alquidico	99
Grafica 23. Valores de esfuerzo de color para las láminas uretanos	100
Grafica 24. Valores de brillo para las láminas epóxicas y alquídicas	101
Grafica 25. Valores de brillo para las láminas uretanos y barnices.	103
Grafica 26. Valores de esfuerzo de color para las láminas epóxicas y alquídicas.	104
Grafica 27. Valores de esfuerzo de color para las láminas uretanos	105

LISTA ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Ecuación de esfuerzo para color amarillo cromo	58
Ecuación 2. Ecuación para Naranja Molibdeno	69
Ecuación 3. Ecuación para verde gn _x	81
Ecuación 4. Ecuación para el proceso de molienda	88
Ecuación 5. Ecuación calculo energético	110

LISTA DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso experimental para las pastas pigmentarias	pág. 46
Diagrama 2. Proceso de la elaboración de pinturas	48

GLOSARIO

ADHERENCIA: la capacidad de la pintura para permanecer unida al lugar donde haya sido aplicada.

AGLOMERADO: moléculas húmedas unidas entre sí por la adhesión de la resina.

AISLAMIENTO TERMICO: espacio limitado para evadir la transmisión de calor a otros cuerpos.

AM-#: nombre de los ensayos para las experimentaciones con amarillo cromo.

BARNIZ: base transparente para cubrir y proteger las pinturas.

BRILLO: observación demostrada por la cantidad en reflejación de la luz sobre una superficie.

CATALIZADOR: medio por el que acelera o retarda una reacción química.

cP: llamado centipoise, es la unidad para medir la viscosidad de las pastas pigmentarias en este proyecto. Equivale a minipascal segundo (mPa*s)

CURADO: tiempo para que la pintura tenga un secado completo con el fin de obtener resistencia en la aplicación.

CODIGO INDEX: nombre genérico que se asigna para cada colorante, correspondiente de la base de datos de La Sociedad de tintoreros y coloristas, y de la asociación americana de químicos y coloristas textiles. A cada colorante o pigmento se le asigna un color referido de la base del color o de la clasificación química.¹

DISPERSIÓN: estado en el que el pigmento se encuentra disuelto en el vehículo.

EFECTO REOLOGICO TRIXOTROPICO: comportamiento de los fluidos que cuando se someten a fuerzas de cizallamiento obtienen cambio en la viscosidad, disminuyéndola, el efecto es la tardanza finita que tienen los fluidos para alcanzar el equilibrio.

¹ HEINRICH ZOLLINGER, química del color. Síntesis, propiedades y aplicaciones de colorantes y pigmentos orgánicos. [Consultado en junio 12 de 2018]

ESFUERZO DE COLOR: variable de la lectura en el espacio Cielab para el análisis de un valor cuantitativo en las pastas pigmentarias

FLOCULO: partículas aglutinadas en sustancias coloidales en un medio líquido como el agua, en este proyecto de grado, en un dispersante.

FLUIDEZ: estado de la pintura en la que permite un fácil manejo de la misma.

HEGMAN: unidades de medida para el tamaño de finura en el grindómetro.

0 Hegman=100 μm

4 Hegman=50 μm

8 Hegman=0 μm

HIDROFOBO: mezclas que no se pueden realizar con agua porque sus moléculas se repelen entre sí.

LOD: principio de materia seca, LOD es un método que determina la proporción de humedad de una muestra mediante el análisis de la pérdida de peso de una muestra al calentarla. La pérdida de peso se interpreta como la pérdida de humedad de la muestra²

MANEJABILIDAD: estado de la pintura en la que permite una aplicación y toma de datos con facilidad.

MILS: unidades de medida para el grosor de la aplicación en la Leneta con el aplicador tipo Brid.

1 Mils=25.4 micras

1 micra= 10^{-6}mm

MEZCLA: unión de dos o más sustancias generando cambios físicos para un producto final.

NA-#: nombre de los ensayos para las experimentaciones con naranja molibdeno.

PASTAS PIGMENTARIAS: mezcla constituida en su mayor cantidad por pigmento con el fin de darle color a una pintura

PODER TINTOREO: facilidad de pasar su tonalidad de color de una sustancia a otra

² METTLER TOLEDO. ¿Qué es un analizador de humedad y cómo funciona? Principio de materia seca LOD. [Consultado en junio 12 de 2018], Disponible en:

https://www.mt.com/int/es/home/library/FAQ/laboratory-weighing/what-is-a-moisture-analyzer.html#question_moisture_3

PRECISIÓN: es la proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, bajo condiciones especificadas³

SOLIDEZ A LA LUZ: se refiere a la resistencia que tiene el pigmento para la duración de la iluminación que tiene el color ante la luz.

VE-#: nombre de los ensayos para las experimentaciones con verde gnX.

VOLATILIDAD: para la empresa de trabajo, se refiere al pigmento denso, fino, casi intangible.

³ Mediciones MEYCA. Laboratorio de calibraciones Nro 43. Incertidumbre, exactitud y precisión en las mediciones [Consultado en junio 12 de 2018], Disponible en: http://www.medicionesmeyca.com/?page_id=79

RESUMEN

Para la elaboración de las pinturas, se lleva a cabo la preparación de una pasta pigmentaria por cada química de pintura, lo que hace que el inventario y los costos de producción sean altos, por ende, la importancia del proyecto en curso, ya que analizando el comportamiento de tres colores de pigmento (uno orgánico, dos inorgánicos) se ejecuta una comparación con una pasta patrón durante la aplicación de pintura para encontrar una pasta universal que le sirva a todas las químicas de pintura. En este documento se observará el comportamiento de cada relación de concentraciones planteadas, el resultado de la mejor pasta pigmentaria por color, las mezclas que comparándolas con las bases de cada química sean más compatibles para de esta manera reducir tiempos, movimientos, disminuir inventarios, bajar nivel de vertimientos y estandarizar el color para diferentes químicas de pinturas.

Como objetivo en este proyecto se encontró la mejor pasta pigmentaria que sea compatible con todas las químicas de pintura, para esto, se realizaron varios ensayos por color, para amarillo Cromo, naranja Molibdeno y verde gnX. Estableciendo las mejores condiciones en la obtención de la dispersión pigmentaria. En el proceso de encontrar las mejores condiciones se estudió dos aspectos fundamentales en la preparación de las pastas pigmentarias, el primero que son las mejores concentraciones (según norma interna de la empresa) de las materias primas (especialmente del pigmento y dispersante) para llevar a cabo la preparación de la pasta y el segundo las mejores condiciones de molienda (según norma interna de la empresa). Se escogió analizar esas dos variables ya que, para la finalidad de una pasta pigmentaria, la concentración de pigmento y dispersante es lo que define las circunstancias para ser apta en una pintura con aplicabilidad en exteriores. Las variables de respuesta que se estudiaron en el diseño de experimentos fueron la viscosidad en centipoise (cP) Y el esfuerzo de color del eje *L, accediendo encontrar las mejores relaciones de los factores que permitió obtener la pasta con la menor viscosidad, mayor estabilidad y menor cantidad de pigmento y dispersante

A la pasta pigmentaria para cada color seleccionada después del análisis estadístico, se le evaluó el desempeño y compatibilidad en diferentes químicas de pinturas tales como epóxica, alquídica y uretano aplicadas en láminas metálicas. Las pruebas realizadas a las pinturas fueron el esfuerzo de color y brillo.

Finalmente se realizó un análisis de costos para observar el ahorro que podía generar el desarrollo de una pasta compatible a todas las químicas de pintura.

Palabras clave: pigmento, pasta pigmentaria, química de pintura, dispersante, molienda, viscosidad, porcentaje sólidos, tamaño molienda, epoxi, uretano, Alquídico, desempeño, compatibilidad.

INTRODUCCIÓN

En la compañía se busca ser líder en el mercado con un mejoramiento continuo de sus productos manejando sus recursos y procesos sostenibles de manera responsable para el medioambiente y la comunidad, una de las líneas de producción es la elaboración de pinturas, las cuales se obtienen mediante mezcla de resina aglomerante, cargas, disolvente y pigmento. Este último no se incorpora de forma sólida, sino mediante una pasta pigmentaria previamente elaborada, en donde el pigmento se dispersa sobre un vehículo con un dispersante por medio de la operación de molienda.

La empresa en la actualidad cuenta con un proceso de elaboración de pastas pigmentarias por cada tipo de química de pintura y color, generando un inventario alto. La estimación de las concentraciones de pigmento, vehículo y dispersante resulta ser empírica, ya que el juicio se basa en la experiencia de quien está realizando el trabajo, por ende, los estudios son muy escasos y la información de la compatibilidad entre los sistemas químicos es limitada.

En este trabajo se evaluó la compatibilidad de pastas pigmentarias con las diferentes químicas de pintura. Se observó el comportamiento de tres colores variando las concentraciones pigmento/dispersante, sumado a esto, por la importancia que tiene el equipo en este proceso, se analizó las sobresalientes condiciones de molienda, esto para mejorar el poder tintóreo de las dispersiones pigmentarias. Encontrando la principal relación de pigmento/dispersante se mezcla con base blanca y barniz y así observar las variables que definen si esa composición es compatible.

Finalmente se realizó un análisis de costos en donde se calculan los costos de cada pasta pigmentaria y de la energía en kW-h consumida por el equipo de molienda, y una comparación de costos anuales entre los ensayos escogidos y la pasta patrón, con el fin de encontrar una diferencia y ver la viabilidad del proyecto con el fin de disminuir costos y movimientos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la compatibilidad en bases pigmentarias de diferentes químicas de pinturas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer las mejores condiciones para la obtención de dispersiones en pigmentos orgánicos e inorgánicos.
- Determinar el desempeño en las pinturas epoxi, uretano y Alquídico obtenidas con las dispersiones pigmentarias.
- Realizar análisis de costos del proceso de obtención de pastas pigmentarias.

1. GENERALIDADES

En este capítulo se hará una inducción de los conceptos básicos que se manejan en este proyecto, se describirá el uso y funcionamiento de cada elemento, se encontrará la diferencia y compatibilidad que tiene cada química de pintura en este trabajo con las pastas patrón de la compañía, adicionalmente se observará el significado de la pasta pigmentaria, lo que se necesita para llegar a tener una, la materia prima necesitada, la compatibilidad que tiene cada elemento para poder ser mezclado y la definición de colores a trabajar, en estos colores se detallará el comportamiento que tiene con el ambiente o al ser mezclados por medio de la teoría del color.

Por la importancia que tiene el equipo de molienda para este proceso, se especificará qué tipo de molienda es, las variables que tienen esta operación y el funcionamiento de cada una.

1.1 PINTURAS

La pintura es un sistema disperso que se utiliza para la protección, decoración y señalización del lugar en que se haya aplicado. Generalmente se constituye por sólidos dispersados en un medio el cual se le llama vehículo, esta pintura es una mezcla homogénea o coloide y se aplica sobre superficies relativamente delgadas, que al cabo del tiempo esa capa sólida se adhiere a la superficie. El responsable de la capa formadora de película es el vehículo, ya que es un aglutinante dispuesto en un solvente que lleva resinas, aditivos y plastificantes si es necesario. Usualmente la pintura resultante (de consistencia fluida) se aplica por medio de brochas o el método conveniente según el caso y es empleada para decorar o proteger alguna superficie. Las propiedades de las pinturas varían según el uso que se ha de hacer de ellas y del acabado que se desee⁴

1.1.1 Componentes de la pintura. En la dispersión de la pintura se encuentran varios componentes para llegar a esa mezcla homogénea o coloide, estos se dividen en; resina o vehículo, aditivos y pigmento. La parte líquida de la pintura se conoce como el vehículo, el pigmento y el aditivo tiene como función principal proporcionar el color superficial que satisfaga la estética para lo que se usara.

⁴ Enciclopedia de tecnología química Tomo XII. Primera edición en español. Pinturas pág. 405.
[Consultado en enero 22 de 2018]

1.1.1.1 Resina o Vehículo. Componente que tiene como trabajo mantener las partículas unidas cuando la pintura está seca, pasando por un proceso de polimerización o secado. Los polímeros confieren a las pinturas las propiedades que definen los diferentes tipos de producto según su resistencia química, dureza, elasticidad, adherencia, viscosidad, secado, etc. Pueden ser acrílica, vinílica, poliéster, poliuretano, epoxi, Alquídico etc⁵. La resina que se utilizará en este proyecto es proporcionada por la empresa, siendo un producto con buena compatibilidad en diferentes químicas de pinturas, compuesto por una mezcla de varios solventes para que haya facilidad en la dispersión con el pigmento. (Según norma interna de la empresa)

1.1.1.2 Aditivo. Tienen bastante influencia en las propiedades físicas y químicas de la pintura, aunque las cantidades que se añaden son muy pocas, por lo general no pasan del 5%. Estos aditivos pueden mejorar el comportamiento de las pinturas ya que en la mayoría de casos según la composición del aditivo y la mezcla tiende a reducir costos aumentando la durabilidad.

1.1.1.3 Solvente. Es el componente usado para diluir la mezcla más fácilmente para que la mezcla tenga una reducción en la cantidad de sólidos, Modifica la viscosidad en la pintura y tiene gran valor en el tiempo de secado, escurrido y nivelación. Este solvente para el proyecto será un dispersante obtenido por los distribuidores de la empresa. Es basado en poliéster, compatible por su cadena polimérica para todos los pigmentos.

1.1.1.4 Pigmento. Productos en polvo insolubles por si mismos en el medio líquido de la mezcla para la pasta pigmentaria con la responsabilidad de suministrarle color a la mezcla, mejorar protección en contra la corrosión, mejorar la resistencia y duración de la pasta. Su homogeneidad con la mezcla se hace por suspensión coloidal. Los pigmentos se pueden dividir en orgánicos e inorgánicos, en donde se consume una gran cantidad en toda la mezcla, ya que la tarea es dar máxima cobertura, economía, opacidad, entre otras. En este proyecto se llevará a cabo el uso de dos pigmentos orgánicos y uno inorgánico. Se seleccionaron pigmentos de los que ya se le ha hecho producción para comparar continuamente con un patrón.

⁵ ALONSO FELIPE, José Vicente. PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización. Universidad Politécnica de Madrid. 2013. [Consultado en enero 22 de 2018]

- **Pigmentos Orgánicos.** Esta clase de pigmentos suelen ser de origen natural, es decir, vegetal o animal, pero con el tiempo se han desarrollado los de origen sintético, que son derivados de los hidrocarburos como anilinas. Es muy fácil identificar estos pigmentos, ya que por ser orgánicos en su composición química tienen por lo menos un Carbono. Pero una gran diferencia con los pigmentos inorgánicos, es que estos tienen una mayor tonalidad al pintarse.

En estos pigmentos se pueden encontrar variedad como: Naranja de pirazolona, Rojo DPP, Azul ftalocianina, Negro de humo, Verde GNX, Violetas de quinacridona, entre otros. Cabe mencionar que estos colores por lo general son limpios y tienen buen poder tintóreo, es decir, desarrollan su color con facilidad.

- **Pigmentos inorgánicos.** Los pigmentos inorgánicos se obtienen a partir de minerales, estos pueden ser Nativos o de tierras, que por lo general son arcillas de silicatos de aluminio con hidróxidos férricos, entre otros. Pero también hay Artificiales o sintéticos, que no se encuentran en la naturaleza, sino que son producidos por reacciones químicas sobre metales. Estos son más estables y sólidos. Aquí se encuentran colores como; Amarillo de cromo, Amarillo de hierro, Naranja molibdeno, Azul de ultramar, Negro óxido, Blanco de titanio, Verde óxido de cromo, etc. Estos pigmentos no tienen carbono en su composición y la capacidad de pintar en estos es menor a la de los pigmentos orgánicos.

1.1.2 Tipos de pintura. En la industria de pinturas se encuentran diferentes químicas de pinturas, estas se comportan diferente según su composición, estas al ser aplicadas varían en el resultado de aplicabilidad en superficies

1.1.2.1 Uretano. La pintura uretano se creó para ser superior a la pintura de esmalte con respecto a su durabilidad, sin embargo, ésta se puede aplicar en un esmalte si la superficie se prepara primero. Esta pintura la usan mucho para exteriores ya que los rayos ultravioletas no generan defectos en las superficies pintadas con uretano. Se usa generalmente para la industria de automóviles. Esta pintura es producto de la reacción de isocianatos y alcoholes polihidricos. Su principal característica es el aislamiento térmico, tienen óptima elasticidad y flexibilidad, también constan con una buena resistencia a la abrasión.

1.1.2.2 Epóxica. Son pinturas con gran resistencia química, adherencia al cemento, tienen secado rápido y se pueden mezclar con alquitranes obteniendo impermeabilidad y resistencia al agua. Se transporta en dos envases, en uno contiene resina epoxi y en la otra el catalizador o endurecedor. La pintura epóxica es un polímero termoestable que al mezclarse con un agente catalizador se endurece para tener beneficios como alta resistencia térmica hasta de 70°C, alta resistencia eléctrica. Las más frecuentes son producto de la reacción de epoclorohidrina y bisfenol-a.

La propiedad de la resina varía dependiendo de la resina base agente de curado y diferentes agentes que se cambian en la polimerización

1.1.2.3 Alquídic. Es una pintura al aceite, se diferencia de las demás porque usan una resina para unir los pigmentos al solvente oleoso. Una gran ventaja de estas pinturas es que son muy fácil de limpiar, solo es necesario agua y jabón para remover el color de esta pintura. Este es un polímero producto de la reacción de polioles y poliácidos, son productos modificados con ácidos grasos naturales o sintéticos.

1.2 PASTAS PIGMENTARIAS

Las pastas pigmentarias o dispersiones pigmentarias son el principal componente de la pintura, hay una por cada química de pintura lo que genera altos tiempos de producción y costos, es una mezcla en el que el pigmento se disuelve en el vehículo generando la coloración de la mezcla por medio de la molienda. En este caso, para obtener las pastas pigmentarias se hará la experimentación utilizando tres pigmentos; Amarillo Cromo, Naranja Molibdeno y Verde GNX.

1.2.1 Amarillo Cromo. Es un cromato de plomo estabilizado $PbCrO_4$ ($CrH_2O_4.Pb$) con código índice 34. Polvo amarillo oscuro profundo, rojizo y vino. Tiene aceptable solidez a la luz, a la intemperie y a los ácidos, es poco resistente a los álcalis. Resiste 5 minutos aproximadamente a 180°C. En condiciones más severas tiende a ennegrecerse. Es insoluble en disolventes orgánicos y acuosos. No tiene tendencia a la migración. Uno de los peligros de este pigmento es que es una sustancia nociva. Es una sustancia de bajo peso molecular. Para mayor información observar en anexo A la ficha técnica.

Imagen 1. Amarillo Cromo Cl. 34



Fuente: montagro, pigmentos orgánicos. Amarillo cromo [Consultado 25 de enero de 2018].

1.2.2 Naranja Molibdeno. Este es un Sulfocromolibdato de plomo extra estabilizado al color, su tono es un naranja rojizo con numero de index NS 38. Este polvo naranja con tono rojizo tiene buena solidez a la luz, es un pigmento inorgánico con facilidad para trabajar en pinturas tintas y plásticos. Para mayor información observar en anexo B la ficha técnica

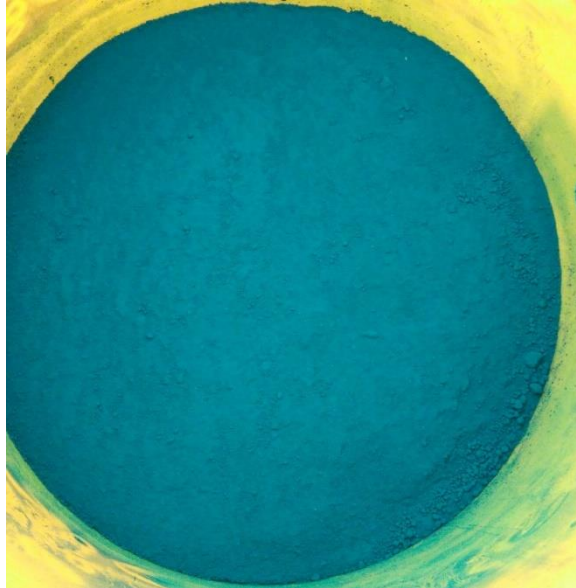
Imagen 2. Naranja Molibdeno C.I. 38



Fuente: elaboración propia

1.2.3 Verde GNX. Este es un pigmento orgánico, con alta volatilidad. Se puede encontrar como verde phthalocyanine, con color index 7. Este pigmento es insoluble en solventes orgánicos, agua y alcalinos. Tiene buenas propiedades de solidez y una alta solidez a la luz. Para mayor información observar en anexo C la ficha técnica.

Imagen 3. Verde gnx C.I. 7



Fuente: elaboración propia

1.3 PROCESO DE DISPERSIÓN

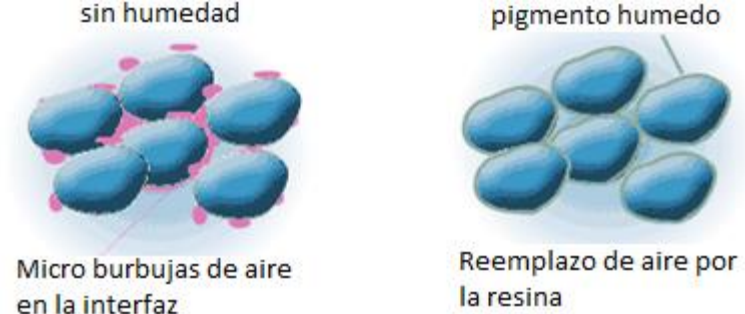
En el proceso de la elaboración de pinturas, se realiza una premezcla en donde se adiciona el pigmento, dispersante y vehículo, esto con el fin de que se realice una dispersión del pigmento en el medio líquido, esto es previo a la fase de molienda, para que el material formador de película y el solvente correspondiente tengan una homogenización necesaria para pasar al proceso de la operación unitaria.

El proceso de dispersión tiene como objetivo lograr una rápida, eficaz y estable dispersión del pigmento con una mínima aplicación de energía.

Para la elaboración de la pasta pigmentaria se necesitan tres pasos fundamentales; Humectación, Dispersión y Estabilización.

1.3.1 Humectación. En este proceso el aire y humedad se desplaza de la superficie entre las partículas del pigmento y aglomerados, sustituyéndose por la solución de la resina, la interfaz pigmento - aire se vuelve en solución de pigmento - resina. (ver imagen 4)

Imagen 4. Humectación del pigmento



Fuente: dispersing process. [Consultado 25 de enero de 2018]
<http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

Durante esta incorporación de pigmentos sobre la superficie se observan tres etapas: Adhesión, penetración y propagación.

1.3.1.1 Adhesión. En esta primera etapa se involucra el contacto de las partículas asociadas del pigmento (aglomerados) de una determinada rugosidad superficial con el vehículo. Una vez que el contacto entre las dos fases se ha producido, la superficie del líquido debe extenderse para humectar un área irregular del sólido ligeramente superior debido a su rugosidad.⁶

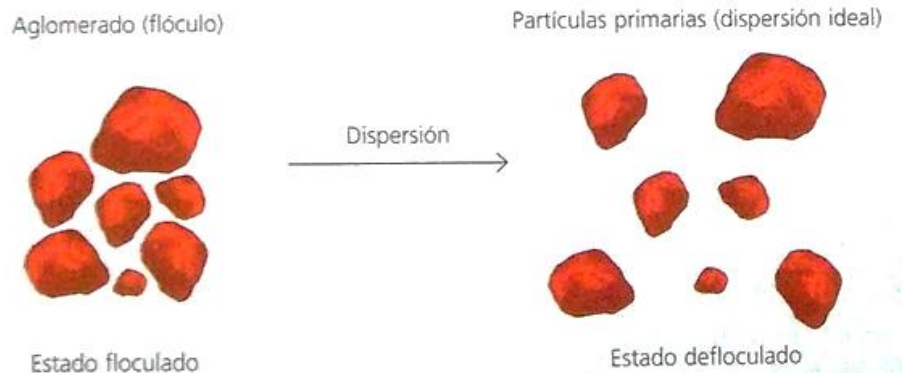
1.3.1.2 Penetración. Seguido a la etapa de adhesión, el vehículo ingresa por capilaridad en los poros del pigmento, en este caso el rendimiento disminuye porque esta penetración solo está en la superficie externa, en este caso el pigmento parcialmente humectado está aislado porque el aire que está en los intersticios hace que el acceso del vehículo se demore un poco más y por ende la humectación interna se retarde.

1.3.1.3 Propagación. Finalmente, el vehículo ya se encuentra sobre la superficie formando una película con pocas moléculas de espesor, observando que en el sistema se encuentran dos fases; líquido-sólido y líquido-aire.

1.3.2 Dispersión. En este paso, las partículas del pigmento ya están humectadas y gracias a la operación de molienda las cargas elevadas de pigmento bajan su viscosidad. En este proceso los aglomerados de pigmento se disgregan en partículas más pequeñas (ver imagen 5). Todo proceso de dispersión necesita de energía para que los aglomerados del pigmento se puedan minimizar.

⁶ GIUDICE, Carlos; PEREYRA, Andrea. Tecnología de pinturas y recubrimientos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional- Argentina (2009). [Consultado en enero 25 de 2018]

Imagen 5. Defloculación del pigmento en dispersión.



Fuente: manual de recubrimientos TEGO. Aditivos humectantes y dispersantes. [Consultado 25 de enero de 2018]

En la imagen 5 se observa en primera instancia las partículas aglomeradas, partículas en flóculos, que se forman cuando el pigmento se humedece de resina, obteniendo un sólido tendiendo a depositarse al final de los frascos, para ser sedimentación.

1.3.3 Estabilización. En esta etapa el vehículo por lo general se adsorbe en las partículas del pigmento, de esta manera se observará que habrá floculas en el envase. Esta estabilidad se realiza por medio de calor, el aumento de la temperatura en estas pastas pigmentarias hace que pueda variar el diámetro medio de las partículas.

Para estabilizar la fina distribución de las partículas, las moléculas de aditivo deben estar firmemente adsorbidas en la superficie del pigmento. Esto significa que las moléculas de aditivo necesitan grupos o segmentos que puedan interactuar fuertemente con la superficie de los pigmentos mediante enlaces iónicos, interacciones dipolares o puentes de hidrógeno. Existen varios mecanismos posibles dependiendo de que se trate de formulaciones acuosas o a base de disolventes.⁷

1.4 MOLIENDA

Para la desintegración del pigmento y realización de mezcla homogénea para las pastas pigmentarias se usa la molienda, que es una operación unitaria que pulveriza y desintegra el material sólido, se refiere a una reducción de tamaño de partículas blandas, débilmente ligadas entre ellas. No produce cambio en las partículas, solo les reduce su tamaño. Las variables que afectan el proceso de molienda para este proyecto son: volumen de carga a molino, densidad del grano, carga del talón, hojas

⁷ TEGO, Dispers. ADITIVOS, HUMECTANTES Y DISPERSANTES. Página 87. [Consultado en enero 25 de 2018]

de diseño, tamaño de perlas, velocidad de bombeo, velocidad de rotor, temperatura y tiempo de residencia también incluyen las variables como: densidad del producto, potencia de entrada, viscosidad de producto y métodos operativos. Los métodos más empleados en el proceso de molienda son el impacto, frotamiento de cizalla, compresión y cortado⁸

1.4.1 Componentes del proceso. Este proceso de molienda consta del Molino (capacidad de 1 Litro) y el dispersor Cowles. En el molino se deposita toda la mezcla y es en donde se realiza la dispersión pigmentaria de este proyecto, y el dispersor cowles es el disco-diente que gira a altas velocidades (3320 RPM) para que las partículas se sometan a altas turbulencias, generando el proceso de dispersión entre el pigmento y los demás componentes.

1.4.2 Variables de operación. Los factores que al modificarlos determinan la mayor capacidad del molino y las mejores condiciones de operación según las requeridas en dicho proceso, para la realización de este proyecto se tendrán en cuenta las siguientes variables:

1.4.2.1 Carga de medio de molienda. La carga de medios molienda (micro-esferas) hace que la pasta se desintegre por el roce que hay entre las partículas de mineral y las de pigmento, dependiendo que cantidad se adicione al molino se obtiene la solidificación de la pasta.

1.4.2.2 Velocidad de rotación. En la rotación del molino, él va elevando su carga, esto para que haya suficiente fuerza y las partículas del pigmento se puedan separar entre sí, en la velocidad se genera un aumento de temperatura la cual es importante en el proceso porque por medio de este aumento la mezcla va obteniendo su forma, la velocidad genera una fuerza de cizallamiento para que las partículas del mineral y el pigmento choquen y las partículas del pigmento se vayan reduciendo hasta mezclarse de manera homogénea con el vehículo y dispersante.

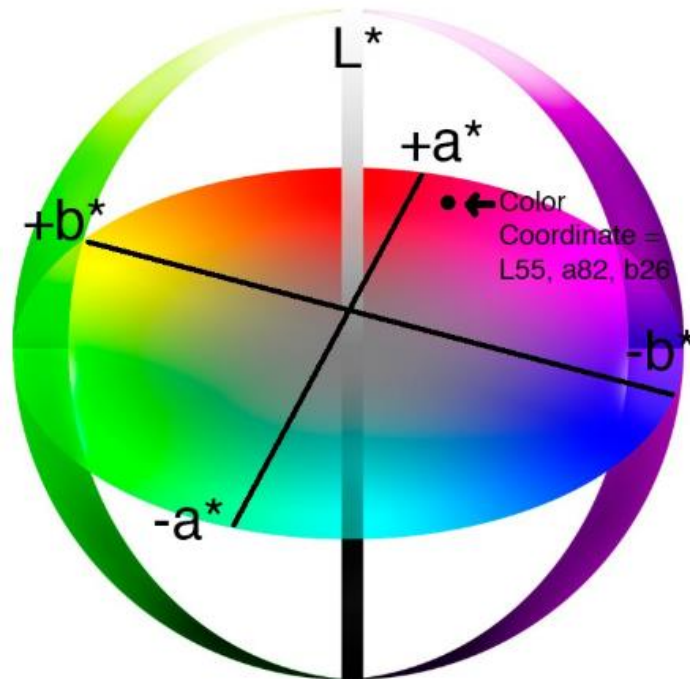
1.5 TEORÍA DEL COLOR

Después de estar lista la pasta pigmentaria se realiza el análisis de color, para esto se usa el espacio de color $L^*a^*b^*$, también llamado color CIELAB, es uno de los más populares para evaluar el color de un objeto. Este espacio correlaciona los valores numéricos de color consistente con la percepción de la vista humana.

⁸ ANNTI MANTYNEN, ZAKHAROV ALEXEY, Optimización de los parámetros de molienda en la producción de pastas colorantes. [Consultado abril 30 de 2018].

El espacio de color CIELAB, es un sistema cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas L^* , a^* , b^* , son magnitudes adimensionales que corresponden al blanco como punto de referencia.⁹

Imagen 6. Espacio de color CIELAB



Fuente: comisión Internacional de iluminación.
Espacio Cielab [Consultado 30 de junio de 2018]

La coordenada L^* tiene como nombre CLARIDAD y toma valores entre 0 y 100, en donde los dos extremos son el blanco y el negro.

La coordenada a^* , b^* tiene como nombre CROMATICIDAD y junto con la claridad definen el color de un estímulo, tomando en el eje x el valor de $-a^*$ y a^* en donde los dos extremos son verde y rojo, y en la coordenada z están los valores de $-b^*$ y b^* con sus colores extremos amarillo y azul.

El lenguaje que se utiliza para expresar las coordenadas en la teoría cielab y analizar este estudio, es el esfuerzo de color, creando escalas para expresar en forma exacta un color, teniendo términos como matiz, luminosidad y saturación. Para estas medidas se utilizan instrumentos como espectrofotómetro y

⁹ Uniroja; Color de vino, La medida practica del color, Capitulo 4 [Consultado 30 de enero de 2018]

colorímetros, determinando el espacio en el plano cartesiano y generando un determinado valor para la lectura de cada coordenada.

La diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se la conoce como Delta (Δ). Deltas por L^* (ΔL^*), a^* (Δa^*) y b^* (Δb^*) pueden ser positivas (+) o negativas (-). La diferencia total, Delta E (ΔE^*), sin embargo, siempre es positiva. Éstas son expresadas como:

ΔL^* = diferencia en luz y oscuridad (+ = más luminoso, - = más oscuro)

Δa^* = diferencia en rojo y verde (+ = más rojo, - = más verde)

Δb^* = diferencia en amarillo y azul (+ = más amarillo, - = más azul)

ΔE^* = diferencia total de color¹⁰

¹⁰ KONICA MINOLTA; Entendiendo el espacio de color CIEL*A*B [Consultado 11 de junio de 2018]. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta que el objetivo de este proyecto es evaluar la compatibilidad de diferentes químicas de pinturas para encontrar una pasta pigmentaria que sirva para unificar las pastas, se lleva a cabo la experimentación de diferentes concentraciones para ser aplicadas y comparadas con las pastas patrón que se manejan en la planta. En este capítulo se realizará la descripción del desarrollo experimental llevado a cabo en este trabajo. Los cuales son: metodología para la elaboración de la pasta pigmentaria, descripción de equipos de fabricación y caracterización de los mismos, selección de las pastas que obtengan resultados viables para la aplicación, evaluación de las condiciones de molienda, y la evaluación de las pinturas de las diferentes químicas.

2.1. ELABORACIÓN DE LA PASTA PIGMENTARIA

Para la elaboración de la pasta pigmentaria, se utilizó un molino de 1.5 L para una carga total de materias primas de 1 kg. Se procederá a agregar en primer lugar el vehículo (este vehículo se divide en dos solventes), después de esto se agrega el dispersante, y por último se agrega el pigmento. Luego se agrega las micro-esferas de Circonio, (inicialmente, se agregará 1 kg para tener una relación 1:1 y así poder analizar el comportamiento de las pastas variando las concentraciones de pigmento y dispersante). Para el estudio de las mejores condiciones de molienda esta cantidad de Circonio varía para estudiar las mejores condiciones de molienda. Luego este molino se lleva a montaje en donde se somete al proceso de molienda, con un agitador cowles, se deja por un tiempo de 30 minutos constante para toda la experimentación (escogido por estudios previamente), para que a los 15 y 30 minutos se mida el tamaño de molienda con el grindómetro Hegman, el tamaño óptimo de esta pasta debe estar entre 7 y 8 H que equivale a 7.11×10^{-3} y 8.11×10^{-3} μm . Basado en la norma ISO1524; determina la finura de molienda y el método para determinarla.

2.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS

En este proyecto todos los equipos de laboratorio fueron suministrados por la empresa de respaldo. La experimentación se realizó en sus respectivas instalaciones, en el laboratorio del departamento de Investigación.

2.2.3. Grindómetro Hegman. Este equipo se utiliza para determinar la finura de una molienda o el aglomerado que puede terminar en una dispersión. La escala Hegman o National Standard, está abreviada en el grindómetro como "NS". La escala Hegman va de 0 a 8, siendo el número más alto de Hegman el que determina la partícula más pequeña¹¹. Para este proyecto se tuvo bastante uso de este ya que determinaba que tan fina estaba la molienda en el transcurso de la mezcla para la pasta pigmentaria. Este grindómetro es en acero inoxidable con dos ranuras, la anchura de cada una es de 25 mm y con una longitud de 165 mm (ISO 1524) (Según norma interna de empresa de respaldo)

Imagen 9. Grindometro Hegman BGD242/3



Fuente: elaboración propia

El grindometro es un bloque plano de acero con dos ranuras cuneiformes en las que varía la profundidad uniformemente, desde la profundidad máxima en un extremo hasta el valor cero en el otro extremo del bloque¹²

La conversión de unidades Hegman a micrómetros es la siguiente:

0 Hegman=100 μm

4 Hegman=50 μm

8 Hegman=0 μm

¹¹ TPM, Equipos S.A. De D.V. Equipo de medición industrial [Consultado en diciembre 5 de 2017]. Disponible en http://tpmequipos.com/998081_Grindometro-Medidor-De-Finura-Hegman-BGD242-3.html

¹² BYK, Empresa de aditivos, Dispersión, instrumentos, grindometro. [consultado 31 de julio de 2018]

2.2.4. Viscosímetro Brookfield. Este equipo se basa en el principio de la viscosimetría rotacional, se mide en unidades centipoise captando la torsión (resistencia viscosa) que hay cuando la aguja gira a una velocidad constante inmersa en la muestra a determinar. Este instrumento se usó para hallar la viscosidad en todas las pastas pigmentarias.

Imagen 10. Viscosímetro brookfield DV II +Pro

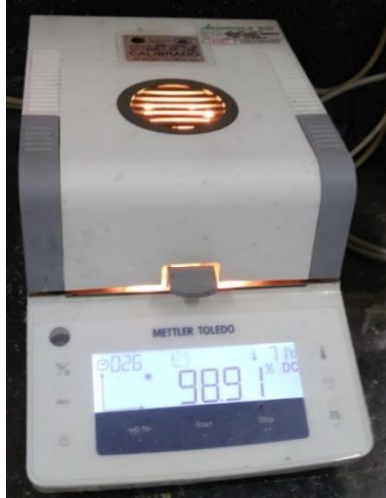


Fuente: elaboración propia

2.2.5. Analizador de humedad halógeno HE73. Equipo utilizado para estipular la pérdida de solvente en el proceso de molienda en las pastas pigmentarias, esto para conservar una buena calidad de la mezcla y garantizar un periodo óptimo de conservación. El analizador de humedad funciona según el principio termogravimétrico, también conocido como principio de «materia seca» (LOD). Consta de dos componentes: una balanza y una unidad de calentamiento. La primera para medir el peso inicial de la muestra, después el Segundo componente calienta y seca la muestra. Cuando se deja de perder peso, el instrumento calcula la proporción de humedad¹³

¹³ METTLER TOLEDO. ¿Qué es un analizador de humedad y como se usa? [Consultado 5 de diciembre de 2017] Disponible en: <https://www.mt.com/mx/es/home/library/FAQ/laboratory-weighing/what-is-a-moisture-analyzer.html>

Imagen 11. Analizador de Humedad HE73



Fuente: elaboración propia

2.2.6. Estufa Marca Memmert. Esta estufa es universal y trabaja en un rango de 30°C a 300°C. En estas estufas el aire exterior se calienta en una cámara de precalentamiento y se mezcla con el aire del interior, para que no haya alteraciones en las características de las muestras¹⁴. Usada para el almacenamiento de las pastas pigmentarias durante 10 días a 60°C para analizar la prueba de estabilidad. Tiene una capacidad máxima de 60 kg.

Imagen 11. Estufa universal UN/30



Fuente:

memmert. Experts in Thermostatics. Consultado [6 de febrero 2018]. Disponible en: <https://www.memmert.com/es/el-producto/estufas-estufas-de-secado/estufa-universal/#!filters=%7B%7D>

¹⁴ Memmert, Experts in thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado [Consultado 5 de diciembre de 2017]. Disponible en: <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espanol-D10027.pdf>

2.2.7. Aplicador tipo Bird. Este equipo con 8 espesores en unidades mills sirve para generar diferentes medidas de revestimiento. Es un aplicador en acero inoxidable con bordes rectos para generar una película uniforme al momento de hacer la aplicación de las pastas pigmentarias. Sus dimensiones son de 15 cm x 15 cm. Usado en la aplicación de las pastas pigmentarias sobre las lenetas, para después analizar el esfuerzo de color.

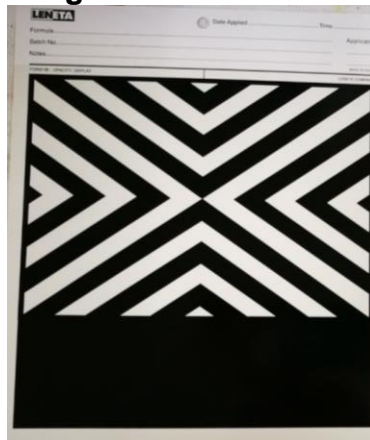
Imagen 12. Aplicador tipo Bird Cuadrado.



Fuente: elaboración propia

2.2.8. Lenetas marca Neurtek. Son cartulinas blancas o negras, estas se usan para medidas de reflectancia o para comparar opacidad y color en los recubrimientos¹⁵

Imagen 13. Leneta



Fuente: elaboración propia

¹⁵ NEURTEK Instruments. Cartulinas LNETA para ensayos de pinturas y tintas “sin componentes UV” [Citado 6 de diciembre de 2017] Disponible en: http://www.neurtek.com/descargas/neurtek_cartulinas_leneta_es.pdf

2.2.9. Pistola para pintar marca Devilbiss. Con este instrumento se aplican las pinturas formuladas con las pastas optimas a las láminas metálicas, es un atomizador con presiones entre 3500 y 7500 psi, su disparo es ligero y responde a últimos avances y tecnologías de alta duración y calidad. Este equipo regula la presión en aplicación secado para lograr una aspersion óptima¹⁶

Imagen 14. Pistola Devilbiss



Fuente: ifexport. Equipos de pintura. Devilbiss. [10 de febrero de 2018].

2.2.10. Cámara UV Marca QUV. Este equipo es una cámara de envejecimiento que reduce el tiempo de daño causado por la luz solar, la lluvia y el rocío. Para simular este envejecimiento se exponen las láminas metálicas aplicadas con las diferentes pinturas a la luz ultravioleta, estas altas temperaturas. El uso de las lámparas que hay en esta cámara simulan los efectos de la luz solar y la humedad que hay en el periodo que se deja simula la lluvia y el rocío que puede haber en el ambiente, con estos elementos se reduce en aproximadamente días o semanas el tiempo comparado al dejarlos a condiciones naturales¹⁷ (ISO 16474-3). Las especificaciones del equipo se observan en el anexo D.

¹⁶ifexport. Equipos de pintura. Devilbiss. [Citado 10 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.acabadoindustrial.com/2016/02/25/pistolas-de-pintar-devilbiss-2/>

¹⁷Q-LAB. QUV ACCELERATED WEATHERING TESTER. [Citado el 6 de diciembre de 2017] Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>

Imagen 15. Cámara UV



Fuente: elaboración propia

2.2.11. Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta. Este equipo se utilizó para evaluar el color y apariencia de las muestras hechas en el laboratorio. Tiene una alta precisión para encontrar el color de pigmentos según su opacidad o brillo. Sus capacidades avanzadas ayudan a establecer y cumplir con los estándares de calidad de color eficientemente, mantener la consistencia en cada lote de material y comunicar el color internamente y a través de la cadena de abastecimiento¹⁸

Imagen 16. Espectrofotómetro CR-600D



Fuente: Konika Minolta. Sensing Americas.
Consultado: [15 de febrero 2018].

¹⁸ Konika Minolta. Espectrometros portatiles. [Citado el 6 de diciembre de 2017] Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-600d-spectrophotometer/>

2.2.12. Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint. Este instrumento se usa para medir el brillo superficial en recubrimientos de pintura para este proyecto. Por medio de la fuente de luz incandescente y un receptor fotosensitivo se observa el haz de luz brillante hacia la muestra según un ángulo predeterminado, de esta manera mide su brillo¹⁹. El reflectómetro tiene tres ángulos de trabajo, el de 20° para mediciones de alto brillo, el de 60° para acabados desde mate hasta espejo, el de 85° para superficies de bajo brillo. Para este proyecto se utilizó el ángulo de 60° ya que es la medición estándar. Según el estándar, ASTM D4039, que habla del método y estandarización de medición de brillo en superficies de alto brillo²⁰

Imagen 17. Reflectómetro Novo-Gloss. Versión 8.22



Fuente: elaboración propia

2.3. MEJORES CONDICIONES PARA LA OBTENCION DE LAS DISPERSIONES PIGMENTARIAS

En esta sección se analizarán las variables que afectan la pasta pigmentaria, específicamente con el diseño de experimentos, se enfoca en las dos variables respuesta, viscosidad y esfuerzo de color, se especificará por color las concentraciones y los resultados en las variables respuesta. En la parte del proceso de molienda se demostrará los cambios que se realizaron y sus respectivos análisis de variables. Lo anterior para tener una lista de resultados y condiciones para escoger los mejores resultados, buscando tener una pasta con las mejores concentraciones de materia prima reduciendo la viscosidad, aumentando el esfuerzo de color.

¹⁹ Representaciones adendorf. Equipos y suministros para la industria. [citado el 6 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.adendorf.net/brillometro-de-20-60-85-1999-gu-p-386.html>

²⁰ ASTM International, Productos y Servicios. Estándares y publicaciones, Productos Estándares. ASTM D4039 - 09 (2015). [consultado 31 de julio de 2018]

2.3.1. Determinación de la mejor concentración pigmento-dispersante. El diseño de experimentos empleado fue un diseño factorial 3^2 en donde se experimentan 3 niveles con 2 factores (% pigmento y % dispersante) y las respuestas para la optimización fueron: esfuerzo de color y viscosidad. Adicionalmente se describen otras pruebas realizadas como porcentaje de sólidos, estabilidad y finura de partícula.

2.3.1.1. Definición de colores y concentraciones a trabajar. Los colores que se evaluaron fueron: dos inorgánicos (Amarillo cromo y Naranja Molibdeno) y uno orgánico (Verde GNX) cuyas propiedades fueron descritas en la sesión 1.2, los niveles fueron establecidos de acuerdo con lo recomendado a los proveedores. En el diseño de experimentos 3^2 , se seleccionaron las variables: porcentaje de pigmento y la otra el porcentaje de dispersante (los porcentajes de cada variable respecto al total de la mezcla y al pigmento respectivamente), ya que estas afectan el desempeño de las pinturas respecto a la intensidad del color y al costo de los productos. El diseño estadístico que permita obtener las pastas por color que minimice la viscosidad y maximice el esfuerzo de color, fueron seleccionadas para formular las pinturas para posteriormente realizar el correspondiente proceso como se observa en el diagrama 1.

En las tablas 1, 2 y 3 se muestra el valor para cada nivel en su respectivo color, en la variable pigmento, se tomó porcentaje respecto a la mezcla total ya que es la materia prima que más se utiliza en la mezcla, para la segunda variable dispersante se toma el porcentaje respecto al pigmento. Observando los tres niveles, en donde respecto al pigmento el valor por debajo es el menor y el alto es el que tiene mayor cantidad de pigmento. Estos valores son suministrados por la empresa por las investigaciones anteriormente realizadas en esta.

Tabla 1. Variables y niveles evaluados para amarillo cromo

Niveles	Variables	
	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
-1	65	5
0	73	11
1	81	17

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Variables y niveles evaluados para naranja molibdeno

Niveles	Variables	
	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
-1	65	6
0	74	12
1	83	18

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Variables y niveles evaluados para verde gnx

Niveles	Variables	
	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
1	30	40
0	28	33
-1	26	26

Fuente: elaboración propia.

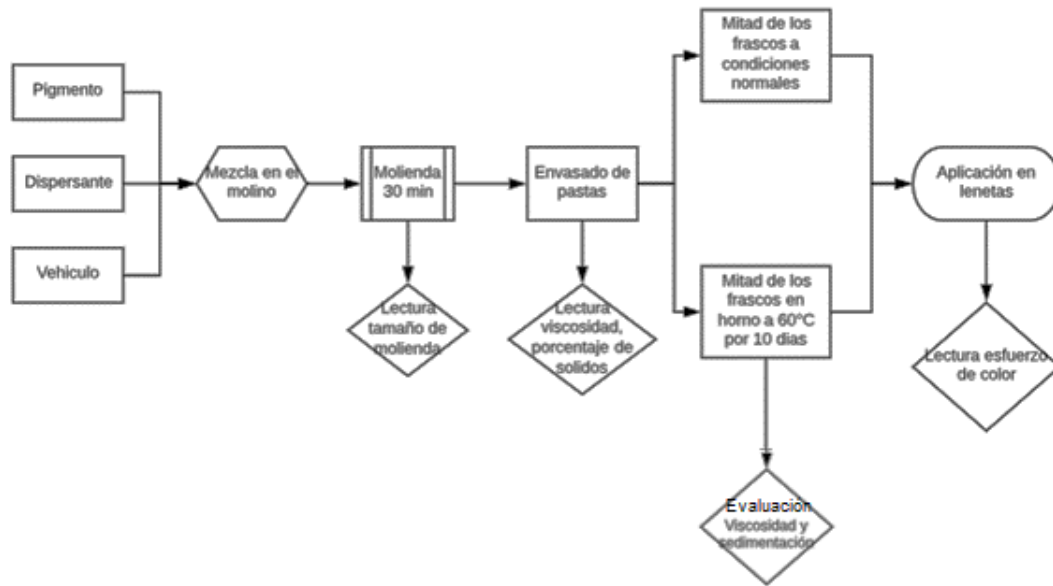
2.3.1.2. Evaluación de variables. De acuerdo a las normas internas de la empresa, la descripción de las propiedades evaluadas a las pastas pigmentarias se muestra a continuación

- **Finura de partícula.** Consiste en aplicar una muestra de la pasta pigmentaria en el grindómetro de Hegman (descrito en numeral 2.2.3), se hace lectura dos veces, la primera a los 15 minutos, la segunda a los 30 minutos, esta medición se realiza hasta alcanzar un rango de finura de 7 a 8 H. Con esta variable se busca obtener una capa homogénea.
- **Viscosidad.** Para la lectura de la viscosidad se emplea un viscosímetro brookfield (descrito en numeral 2.2.4), Esta medición se realiza a las pastas antes y después de estabilidad y al patrón de la planta, en donde se espera que la diferencia de las pastas no supere un 20%.
- **Porcentaje de sólidos.** Para el porcentaje de sólidos se utiliza el analizador de humedad (descrito en numeral 2.2.5), a una temperatura aproximadamente de 150°C (según norma interna de la empresa de trabajo), esperando que no se haya perdido cantidad de sólidos mayor a 30%.
- **Estabilidad.** Las muestras se dividieron en dos, la mitad de ellas se dejaron en frascos expuestos a condiciones ambientales, la otra mitad se llevaron a la estufa Memmert (descrito en numeral 2.2.6), en donde se deja por 10 días a una

temperatura de 65°C, para observar su comportamiento bajo el efecto de la alta temperatura, se compara con los frascos que quedan fuera de este horno, se observó la sedimentación, se notó una gran diferencia entre los frascos que quedaron expuestos al ambiente y los que estuvieron en la estufa en todos los ensayos.

- Esfuerzo de Color.** Para el esfuerzo de color se hace una mezcla con base blanca y con barniz tipo uretano para ambas, se realiza con los dos para comparar el comportamiento entre ellas, en estas mezclas la cantidad de pigmento debe ser constante para todos los ensayos, para estas mezclas se usaron las pastas que se dejaron en el ambiente todo el tiempo y se compara con las muestras patrón de la planta, para observar el esfuerzo de color de los ensayos, esto por medio de la aplicación de una pequeña muestra de cada pasta en una leneta (descrito en numeral 2.2.8). Estas lenetas al momento en que se hayan secado, se les mide con el espectrofotómetro (descrito en numeral 2.2.11) la luminosidad y colorimetría que obtuvieron. Esta medición no debe superar los 10*L niveles.

Diagrama 1. Proceso experimental para las pastas pigmentarias



2.3.2. Establecimiento de las mejores condiciones del proceso de molienda.

En este proyecto las condiciones de molienda juegan un papel fundamental para obtener una buena experimentación, teniendo en cuenta que al encontrar unas mejores condiciones con menores esfuerzos se puede generar un ahorro de movimientos y costos para la planta. En este caso, se hará un diseño de experimentos factorial que consiste en realizar las mayores combinaciones posibles para observar el comportamiento de las variables respuesta con los factores escogidos, para obtener el menor tamaño de partícula en el menor tiempo evaluando tres niveles para las variables: cantidad de micro-esferas de circonio y la velocidad de rotor como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Variables y niveles para molienda

Niveles	Variables	
	Velocidad rotor (RPM)	Cantidad Zr (g)
-1	860	500
0	1580	750
1	1750	1000

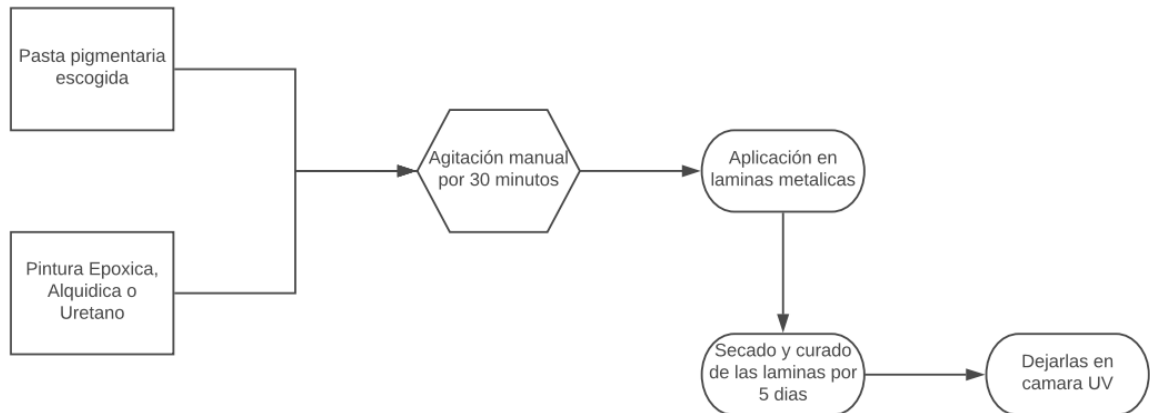
Para este diseño de experimentos en la operación de molienda las variables respuesta que se tienen en cuenta son similares a las de las pastas pigmentarias; el tamaño de partícula, viscosidad, esfuerzo color. Se escogen estas 3 variables ya que son las que determinan el desempeño de las pastas pigmentarias.

2.4. DESEMPEÑO EN LAS PINTURAS EPOXI, URETANO Y ALQUIDICO OBTENIDAS EN LAS DISPERSIONES PIGMENTARIAS

El desempeño de las pastas o dispersiones pigmentarias se evalúa con la aplicación de la mezcla de estas pastas con base blanca y con barniz, esto respectivamente con cada química de pintura, estas mezclas se aplican en láminas metálicas, para posteriormente llevarlas a la exposición de rayos UV, esto para en pocas horas o tiempo, ver el comportamiento que pueden para su tiempo de vida.

2.4.1. Aplicación en láminas. La pintura + base, proceden a ser aplicadas con la Pistola Devilbiss (Descrita en numeral 2.2.9) en láminas metálicas previamente lijadas con una superficie plana, y desengrasadas. Con esta aplicación se observará los primeros comportamientos de compatibilidad de las pinturas realizadas, comparándolas con las pinturas patrón que actualmente utilizan en la empresa. Éstas láminas se dejarán a condiciones normales aproximadamente por 4 días, para el secado de las mismas. En el diagrama 2 se observan los pasos correspondientes para la aplicación de las láminas, es un proceso interno de la empresa de trabajo.

Diagrama 2. Aplicación de pintura en láminas metálicas para la compatibilidad.



Se realiza agitación manual para observar el comportamiento de la mezcla, en caso de que se necesite agregar aditivo para próximas experimentaciones.

2.4.2. Evaluación de los diferentes tipos de pintura. Para determinar las variables en las pinturas se llevan las aplicaciones en las láminas metálicas después del tiempo de curado y secado a la cámara UV (descrita en numeral 2.2.10), allí estas pinturas experimentarán exposición a UV durante un tiempo diferente para cada química ya que las cadenas poliméricas en cada pintura se comportan distinto para el secado, en el caso de las pinturas uretano (descritas en el numeral 1.1.2.1) el tiempo es de cada 600 horas y en las alquídicas y epóxicas (descritas en numeral 1.1.2.2 y 1.1.2.3 respectivamente) se tomarán medidas cada 24 horas. Las variables que se tendrán en cuenta en este proceso serán: Brillo y esfuerzo de color.

2.4.2.1. Brillo. Tras la exposición de radiación UV las láminas obtienen ciertos cambios en su reflejo, por ende, con el reflectómetro (descrito en numeral 2.2.12) a una incidencia de luz de 60°C se evidenciará la pérdida de brillo en las pinturas.

2.4.2.2. Esfuerzo de color. La luminosidad en el eje L^* y el color en los ejes $-a^*$, $+a^*$, $-b^*$ y $+b^*$ de las láminas se medirán con un espectrofotómetro (descrito en numeral 2.2.11). Este esfuerzo de color se mide antes y después de la exposición a radiación UV (descrito en numeral 2.3.1.2), para demostrar la diferencia que ha tenido respecto a las pinturas patrón.

Después de la explicación del diseño de experimentos y de cada variable a estudiar se procede a realizar la experimentación, analizando cada resultado para finalmente llegar al objetivo principal del trabajo, encontrar la pasta que sea compatible con todas las químicas de pintura, es decir, la pasta que tenga comportamientos similares con las pastas patrón de la planta, sumado a esto, las pastas que demuestren un brillo constante en donde no se deteriore y el color tienda a aumentar.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados del análisis y comportamiento de cada pasta pigmentaria por color, siguiendo la metodología e instrumentos detallados en el numeral 2. Con los resultados obtenidos se harán las correspondientes comparaciones y se escogerán las mejores condiciones de pasta para la empresa y para el proyecto, que finalmente tiene como objetivo encontrar una pasta compatible con todas las químicas de pintura.

Inicialmente se detallarán los resultados de las pastas con los pigmentos en el orden indicado en el numeral 2.3.1.1. Luego de esto, se analizará las mejores condiciones de molienda para después con las pastas pigmentarias escogidas mezclarlas con la base blanca y barniz para llevar a comprarlas con las pastas patrones.

3.1. DETERMINACIÓN MEJORES CONCENTRACIONES PARA LAS PASTAS PIGMENTARIAS

En esta sección se determinará las mejores concentraciones de pigmento y dispersante que generan los comportamientos sobresalientes de todos los experimentos para cada color, se evaluará la viscosidad, porcentaje de sólidos, tamaño de molienda para encontrar la pasta que genere menor viscosidad con una menor concentración de pigmento y esfuerzo de color, recordando que el tiempo de molienda se mantiene constante en 30 minutos. Con el diseño de experimentos se permite obtener el ensayo que presente mayor esfuerzo de color (*L) con la menor viscosidad y menor proporción de dispersante.

3.1.1. Amarillo Cromo. Para este pigmento inorgánico (descrito en numeral 1.2.1) En la tabla 5 se muestra el diseño de experimentos basado en las variables y niveles reportadas en la Tabla 1.

Tabla 5. Cantidad reactivos Amarillo Cromo (base de cálculo 1000g)

Ensayo	Pigmento (g)	% Pigmento	Dispersante (g)	% Dispersante	Vehículo (g)
AM-1	650	65	115	17	235
AM-2	650	65	74	11	276
AM-3	650	65	33	5	317
AM-4	730	73	129	17	141
AM-5	730	73	83	11	187
AM-6	730	73	37	5	233
AM-7	810	81	141	17	59
AM-8	810	81	91	11	109
AM-9	810	81	41	5	159

3.1.1.1. Finura de molienda (tamaño de partícula). Para llegar al tamaño de partícula ideal los ensayos se dejaron por media hora leyendo cada 15 minutos en el grindómetro el tamaño de molienda, para obtener una finura aproximada de 7 a 8 H (según norma ISO 1524). Los resultados son los siguientes:

Tabla 6. Medida de finura de molienda. (30 minutos)

Ensayo	15 minutos (H)	30 minutos (H)
AM-1	7	7
AM-2	7.5	7.5
AM-3	7.5	7.5
AM-4	7.5	7.5
AM-5	7.5	7.5
AM-6	8	8
AM-7	7.5	8
AM-8	7.5	7.5
AM-9	8	7.5

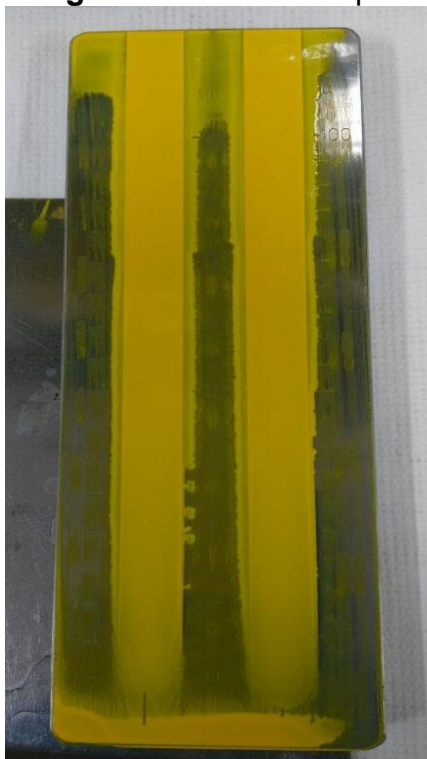
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados reportados en la Tabla 6, puede verse que todas las muestras cumplen con la finura requerida (7-8H), un tiempo de 15 minutos es suficiente para alcanzar esta condición.

El porcentaje de pigmento y dispersante no afectan en gran medida el tamaño de partícula, hay que darle tiempo suficiente al sistema de molienda para disgregar los aglomerados.

Todas las muestras después de leer su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.3.1.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de estas pastas a altas temperaturas (60°C).

Imagen 18. Tamaño de partícula



Fuente: elaboración propia

En la imagen 18 se observa la finura de partícula para el amarillo cromo, con resultado de 7.5 H. Es visible una capa homogénea, sin grumos y con facilidad de manejo, este es el comportamiento ideal para los ensayos.

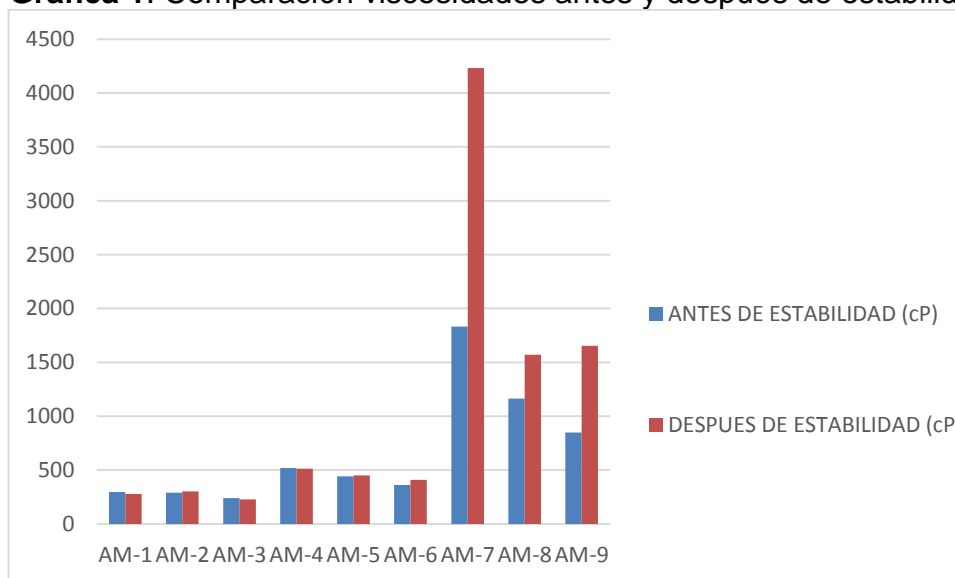
3.1.1.2. Viscosidad (antes y después de estabilidad). La viscosidad para estas pastas pigmentarias se obtuvo por la medición de los frascos antes y después de estabilidad (ver sesión 2.3.1.2), en el viscosímetro de brookfield (descrito en numeral 2.2.4) en donde arrojaron los resultados mostrados en la tabla 7, gráfica 1.

Tabla 7. Mediciones de viscosidad para Amarillo Cromo antes y después de estabilidad.

Ensayo	Antes de estabilidad (cP)	Después de estabilidad (cP)	% cambio
AM-1	297	277	6.73
AM-2	290	302	4.14
AM-3	240	228	5.00
AM-4	518	513	0.97
AM-5	440	450	2.27
AM-6	361	410	13.57
AM-7	1832	4232	131.00
AM-8	1163	1571	35.08
AM-9	848	1654	95.05

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 1. Comparación viscosidades antes y después de estabilidad



En la gráfica 1 se representan los datos de la tabla 7, comparando las viscosidades de cada ensayo antes y después de estabilidad. Con ésta gráfica se detalla la diferencia que tienen entre sí cada ensayo. Se observa que en el caso del AM-7 la viscosidad después de estabilidad aumenta en más de 1000 centipoise, esto debido a la cantidad de pigmento y dispersante ya que son el más alto de los demás ensayos, el aumento de viscosidad se debe a que el pigmento que hay en este ensayo se flocula con facilidad para quedarse asentado en el envase y por la cantidad de dispersante hace que la mezcla quede viscosa, recordando que esta es una mezcla coloidal, las sustancias por las moléculas grandes que tienes forman coloides moleculares, generando floculación al final del envase. En los ensayos AM-8 y AM-9 se observa una viscosidad de 1000 a 1500 centipoise por la misma razón,

solo que para estos ensayos el dispersante es más bajo, lo que hace que la diferencia no sea representativa con respecto a las demás.

Al observar los ensayos AM-1 al AM-6, se observa un comportamiento a mantenerse constante o un cambio muy pequeño, esto por la baja cantidad de dispersante generando que las uniones de las partículas no se coagulen en gran cantidad, ya que, por ser coloidal, entre más dispersante exista por ser hidrófobo genera mayor floculación. Por ende, para la finalidad de este proyecto los mejores resultados estarían entre el AM-1 y AM-6.

3.1.1.3. Porcentaje de sólidos. En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de sólidos para cada ensayo del amarillo cromo.

Tabla 8. Medidas de porcentaje de sólidos para Amarillo Cromo

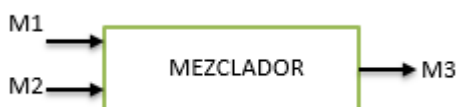
Ensayo	% sólidos
AM-1	69.41
AM-2	66.84
AM-3	65.31
AM-4	76.54
AM-5	74.61
AM-6	73.3
AM-7	84.05
AM-8	83.19
AM-9	80.04

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se observa el porcentaje de sólidos de cada ensayo, al comparar este porcentaje con la cantidad de pigmento inicial (observada en la tabla 5) se identifica que la cantidad de pigmento inicial es proporcional al porcentaje de sólidos, esto debido a que depende de la cantidad de materia no volátil, al tener pigmento y dispersante no volátiles, el porcentaje de sólidos aumenta.

A continuación, se muestra el balance de materia para corroborar la información anterior.

Diagrama 3. Balance materia para la mezcla



En donde M1, es el pigmento y M2 es la mezcla de aditivos y dispersante, M3 es el producto obtenido de la experimentación. Ahora, recordando que la masa de entrada debe ser igual a la de la salida se plantea la siguiente ecuación.

Ecuación 1. Balance de materia

$$M1 * X1 + M2 * X2 = M3 * X3$$

Como los datos de M1 y M2 se tienen, se procede a despejar X3 que es el valor del porcentaje de sólidos al final de la mezcla. El despeje de la ecuación es el siguiente:

Ecuación 2. Ecuación para hallar X3

$$X3 = \frac{(M1 * X1) + (M2 * X2)}{1000} * 100$$

Para este balance de materia se obtienen los siguientes resultados de porcentaje de sólidos.

Tabla 9. Balance materia

Ensayo	Balance
AM-1	70%
AM-2	68%
AM-3	66%
AM-4	77%
AM-5	76%
AM-6	74%
AM-7	83%
AM-8	82%
AM-9	81%

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la diferencia con el porcentaje de sólidos no supera el 5% en cada ensayo, es decir, la experimentación arrojó resultados de los que se esperaba.

3.1.1.4. Sedimentación (prueba después de estabilidad). Esta es una prueba basada en la cantidad de pigmento que queda al final del envase, es una prueba cualitativa y de comparación para observar los ensayos realizados y observar que cantidad de pigmento genera esta sedimentación, se les realizó pruebas no solo con la pasta patrón sí no entre los 9 ensayos. Para las muestras de amarillo cromo que poseen el 5% de dispersante, es decir, los frascos AM-3, AM-6 y AM-9 presentan sedimentación del pigmento, es decir, las partículas del pigmento no se dispersaban bien, debido a que la cantidad de dispersante hace que el pigmento se aglomere en el tiempo y por gravedad genere asentamiento. Un ejemplo de una pasta pigmentaria sedimentada y otra sin sedimentar se muestra a continuación.

Imagen 19. Diferencia de envase sedimentado y no sedimentado



Fuente: industrias aerosil. Agente Sediméntate.
Consultado 10 de junio de 2018.

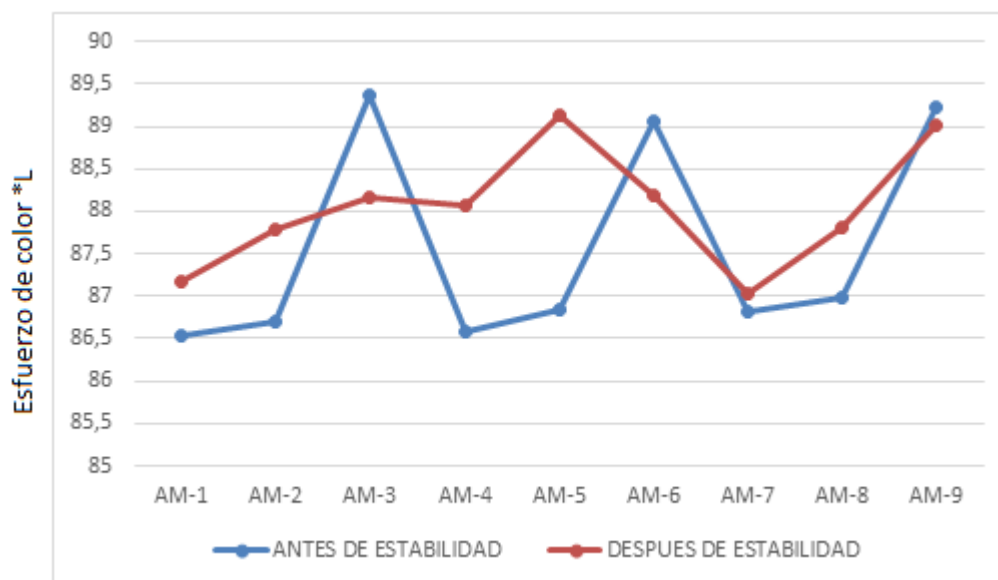
3.1.1.5. Esfuerzo de color. La medición del esfuerzo de color fue descrita en la sesión 2.2.11, cuyos resultados antes y después de estabilidad se reportan en la Tabla 10 y gráfica 2. El porcentaje de cambio se refiere a la diferencia de esfuerzo de color que tuvieron las pastas antes y después de estabilidad.

Tabla 10. Esfuerzo color (valor L*) de las lenetas antes y después de estabilidad.

Ensayo	Antes de estabilidad	Después de estabilidad	%cambio
AM-1	86.54	87.17	- 0.73
AM-2	86.71	87.79	- 1.25
AM-3	89.37	88.16	1.35
AM-4	86.58	88.07	- 1.72
AM-5	86.85	89.14	- 2.64
AM-6	89.07	88.19	0.99
AM-7	86.82	87.02	- 0.23
AM-8	86.99	87.82	- 0.95
AM-9	89.23	89.01	0.25

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2. Comparación esfuerzo color de estabilidad antes y después de estabilidad.



En la gráfica 2 se observa una tendencia de aumento en luminosidad para los ensayos después de estabilidad, una de las razones es la mayor concentración de pigmento por pérdida del vehículo, la segunda, por la degradación del pigmento debido a la temperatura a la que son sometidas las pastas en la prueba de estabilidad. En los ensayos con más porcentaje de pigmento como el AM-7, AM-8, AM-9 se observa que la variabilidad de luminosidad es poca comparado con lo demás ensayos, ya que tienen la mayor cantidad de pigmento y menor pérdida de vehículo.

En general se puede observar que, a menor cantidad de dispersante, mayor valor de luminosidad *L, para la misma cantidad de pigmento, esto puede ser debido a que la molécula o polímero dispersante tiene una fuerte interacción con el pigmento disminuyendo su capacidad para intensificar el color.

3.1.2. Análisis estadístico para las pastas Amarillo Cromo. En la tabla 11 se muestran los valores obtenidos para los factores y niveles descritos en la tabla 1.

Tabla 11. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Amarillo Cromo

Ensayo	% Pigmento	% Dispersante	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
AM-1	65	17	297	86.54
AM-2	65	11	290	86.71
AM-3	65	5	240	89.37
AM-4	73	17	518	86.58
AM-5	73	11	361	86.85
AM-6	73	5	440	89.07
AM-7	81	17	1832	86.82
AM-8	81	11	1163	86.99
AM-9	81	5	848	89.23

Fuente: elaboración propia.

En este proyecto de grado se presenta como Hipótesis nula: Hay una diferencia de la viscosidad y esfuerzo de color después de estabilidad entre los niveles, lo que evidencia que el factor afecta sobre la variable respuesta y como Hipótesis alternativa: No hay diferencia entre los diferentes niveles, el factor no tiene efectos sobre la variable respuesta se procede a realizar el diseño de experimentos.

3.1.2.1. Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del amarillo cromo. Los factores fueron codificados de tal manera que A (C1 en las gráficas) sea % de pigmento y B (C2 en las gráficas) % de dispersante. El análisis estadístico ANOVA para la superficie de respuesta del esfuerzo de color (*L) en la tabla 12, mostro que 3 coeficientes tienen un valor –P menor de 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza de 95%.

Por otro lado, los términos B, B², son significativos ya que los valores de “Prob>F” fueron menores que 0.05, sin embargo, fueron considerados todos los términos y no se redujo el modelo.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,7394% de la variabilidad en Esfuerzo Color. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más

adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 99,3049%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,103976%.

La ecuación polinomial con el mejor ajuste encontrado para el esfuerzo de color (*L) es:

Ecuación 3. Ecuación de esfuerzo para color amarillo cromo

$$\text{Esfuerzo de color} = +86.78 + 0.070 A - 1.29 B + 0.10 AB + 0.11 A^2 + 1.08 B^2$$

Tabla 12. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	12.41	5	2.48	229.6	0.0005
AA	0.029	1	0.029	2.72	0.1977
BB	9.96	1	9.96	921.16	<0.0001
AB	0.044	1	0.044	4.08	0.1367
A	0.024	1	0.024	2.24	0.2315
B	2.35	1	2.350	217.78	0.0007
Error total	0.032	3	0.011		
Total (corr.)	12.44	8			

Fuente: Design Expert 7.0

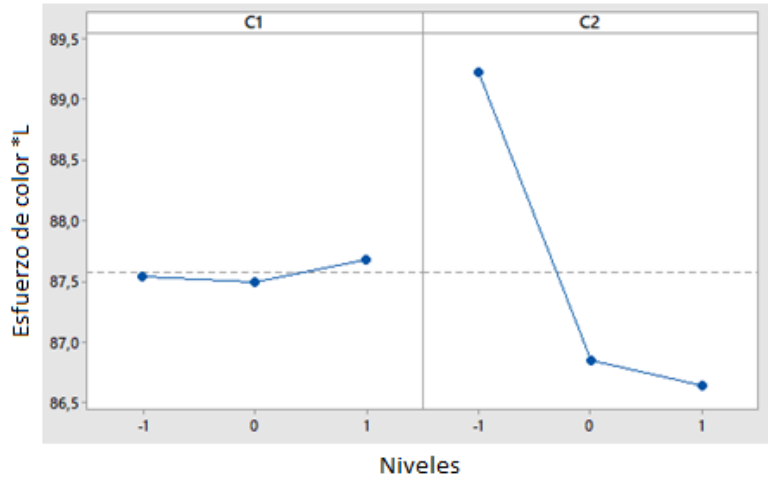
En la tabla 12 se observa en la primera columna las fuentes, que son los factores del diseño de experimentos, la segunda columna es la suma de cuadrados, que es el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta.

Por otro lado, las columnas de grados de libertad (GI) describen las sumas asociadas de cuadrados. La columna de cuadrado medio es una estimación de la varianza. La razón -F, es la distribución F y prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas. El valor -P, es la columna con la que se obtiene una referencia para aceptar o rechazar la hipótesis del trabajo.

3.1.2.2. Análisis gráficos de efectos para la obtención de las pastas Amarillo Cromo. Para los gráficos 3 y 4 se usó el programa Elaboración propia licencia de 30 días, en este programa los datos del pigmento son el Factor C1 (A) y el porcentaje de dispersante es el factor C2 (B), dicho esto, el factor que más afecta el esfuerzo de color para el color amarillo cromo es el porcentaje de dispersante (Factor C2), se observa que al aumentar de nivel la variable respuesta disminuye, esto debido a la posible interacción química que existe entre el pigmento y el dispersante que disminuye la intensidad del color.

La cantidad de pigmento (factor C1) no afecta en gran medida el *L, sin embargo, existe la tendencia de tener un mayor valor al aumentar la cantidad.

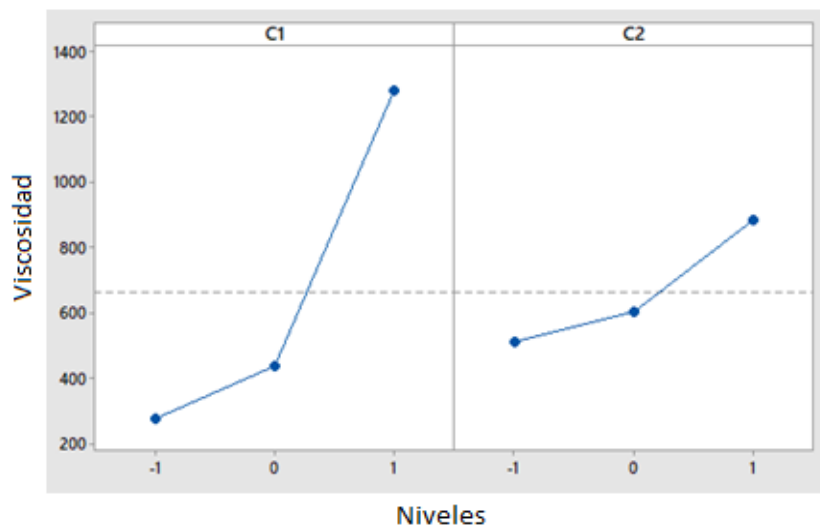
Grafica 3. Gráfico de efectos para el esfuerzo de color (*L) amarillo cromo, donde C1 es % Pigmento y C2 % dispersante.



Fuente: elaboración propia.

Para la viscosidad el comportamiento se muestra la gráfica 4, se observa que el factor que más afecta en este caso es el porcentaje de pigmento (factor C1), cuando se aumenta la cantidad incrementa el valor, esto debido a la cantidad de sólidos que se están presentando en el momento de la mezcla, lo que hace que la pasta sea viscosa, en cambio cuando se aumenta el porcentaje de dispersante hay un ligero incremento de la viscosidad (100cP) esto es debido al efecto reológico tixotrópico del mismo.

Grafica 4. Gráfico de efectos para la viscosidad para Amarillo Cromo, donde C1 es % Pigmento y C2 % dispersante.



Fuente: elaboración propia.

3.1.2.3. Optimización del modelo para la obtención de la pasta color amarillo cromo. El mejor diseño experimental es aquel que permita obtener el mayor esfuerzo de color (*L) con la menor viscosidad y la menor proporción de dispersante, con el objetivo de obtener una pasta con propiedades y desempeño equivalente o mejor que la usada actualmente, la optimización se realizó utilizando el software Design Expert 7.0 versión prueba el cual se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Optimización del modelo polinomial para la obtención de pasta amarillo cromo

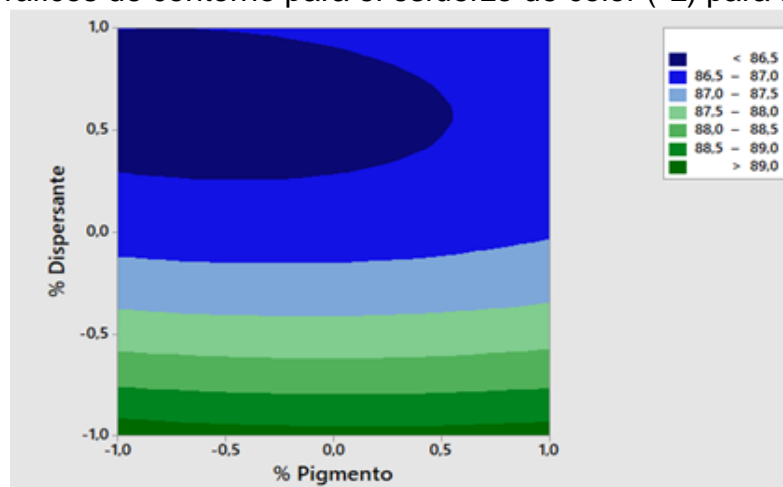
	Pigmento % A	Dispersante % B	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
Codificadas	-1	-1	243.85	89.77
Reales	65	5	240	89.37

Fuente: elaboración propia

En la tabla 13 se muestran los resultados óptimos que son los valores codificados, el ensayo con mejores resultados se encuentra en el nivel -1 de pigmento y -1 de dispersante, generando como respuesta AM-3 que son los valores reales, en el transcurso de todo el capítulo se ha demostrado que ha sido el ensayo con mejores resultados, y con el diseño de experimentos se confirma que es la pasta con las mejores condiciones para el amarillo cromo.

Explorando el gráfico de contorno mostrado en la gráfica 5 realizado con el software Minitab18 versión gratuita, se observa que la solución obtenida se encuentra en la zona del gráfico de contorno de esfuerzo de color >89 que corresponde con los resultados obtenidos.

Grafica 5. Gráficos de contorno para el esfuerzo de color (*L) para amarillo cromo



Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Naranja Molibdeno. Para este pigmento inorgánico (descrito en numeral 1.2.2) se muestra las cantidades de materia prima para los 9 experimentos en la tabla 14, basados en las variables y niveles reportados en la tabla 2.

Tabla 14. Cantidad reactivos para Naranja Molibdeno

Ensayo	Pigmento (g)	% Pigmento	Dispersante (g)	% Dispersante	Vehículo (g)
NA-1	650	65	117	18	233
NA-2	650	65	78	12	272
NA-3	650	65	39	6	311
NA-4	740	74	133	18	127
NA-5	740	74	89	12	171
NA-6	740	74	44	6	216
NA-7	830	83	147	18	33
NA-8	830	83	99	12	81
NA-9	830	83	49	6	131

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.1. Finura de molienda (tamaño de partícula). Para llegar al tamaño de partícula ideal los ensayos se dejaron por media hora leyendo cada 15 minutos en el grindómetro el tamaño, para obtener una finura aproximada de 7 a 8 H. Obtenido los resultados mostrados en la tabla 15.

Tabla 15. Tamaño de partícula en 30 minutos

Ensayo	15 minutos (H)	30 minutos (H)
NA-1	8	8
NA-2	7.5	8
NA-3	8	8
NA-4	8	8
NA-5	7.5	7.5
NA-6	8	8
NA-7	7.5	7.5
NA-8	7.5	7.5
NA-9	7.5	8

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 15 se observa que el tamaño de molienda fue óptimo desde la primera medida (a los 15 minutos). Lo que quiere decir que para este pigmento las mezclas con el dispersante fueron óptimas para el tamaño de molienda, es decir, el pigmento tiene una buena manejabilidad y capacidad de dispersante alta, sin embargo, se dejó la molienda por 15 minutos más para observar el comportamiento que obtienen las pastas después, y como se pudo notar, no hubo gran variedad. Lo ideal es que la mezcla sea constante a la hora de molienda, todos los ensayos tienen un

resultado óptimo, pero al momento de escoger se sobresaltan los ensayos: NA-1, NA-3, NA-4, NA-6. No obstante los ensayos NA-2, NA-5, NA-7, NA-8 y NA-9 con otras variables pueden resultar mejor. En la imagen 20 se muestra el comportamiento ideal del tamaño de finura en las pastas pigmentarias.

Todas las muestras después de leer su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.3.1.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de estas pastas a 60°C.

Imagen 20. Finura de partícula



Fuente: elaboración propia

En la imagen 20 se observa la finura de partícula para el naranja molibdeno, con resultado de 8 H. A simple vista es un poco difícil encontrar el valor exacto, pero se observa una fina capa homogénea, en la mayoría de los ensayos el valor no cambio mucho, pero para este resultado esperado se observa mejores comportamientos en los ensayos con tamaño de finura constante, como NA-1, NA-4 y NA-6.

3.1.3.2. Viscosidad (antes y después de estabilidad). Las viscosidades para estas pastas se midieron antes y después de estabilidad. con resultados mostrados en la tabla 16.

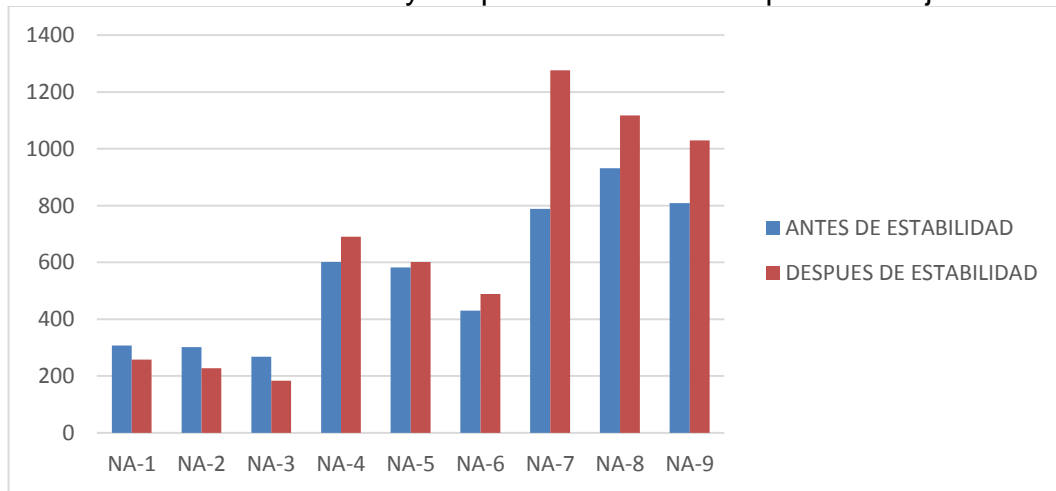
Tabla 16. Viscosidades para Naranja Molibdeno en cP

Ensayo	Antes de estabilidad (cP)	Después de estabilidad (cP)	% cambio
NA-1	307	258	15.96
NA-2	302	228	24.50
NA-3	268	184	31.34
NA-4	602	691	14.78
NA-5	582	602	3.44
NA-6	430	489	13.72
NA-7	789	1276	61.72
NA-8	932	1118	19.96
NA-9	809	1030	27.32

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 16 se observa el valor de viscosidades para todos los ensayos de naranja molibdeno, el porcentaje de cambio en unos ensayos como el NA-7 es el más alto respecto a los demás ensayos, esto debido a la cantidad de pigmento que tiene este, es de los ensayos con más pigmento y más dispersante, lo que hace que la mezcla quede grumosa y el tiempo de molienda por más que haya quedado en un tamaño esperado, después de estabilidad esa mezcla hace que el pigmento no se disperse bien entre el vehículo, teniendo como resultado asentamiento en el fondo del envase. Una pasta pigmentaria ideal sería una que con la estabilidad no variara en gran cantidad su viscosidad, ya que para una pintura final no se puede obtener una que con el tiempo sus condiciones no sean las adecuadas. En la gráfica 6 se mostrará la comparación de estos ensayos antes y después de estabilidad.

Gráfica 6. Viscosidades antes y después de estabilidad para Naranja Molibdeno



En la gráfica 6 se observa que la tendencia al aumento de viscosidad es evidenciada en los ensayos NA-7 al NA-9, estos ensayos son los que tienen mayor cantidad de pigmento, lo cual es la razón fundamental para que después de estabilidad su viscosidad haya aumentado, ya que con el calor por el que son sometidos los

ensayos genera que el pigmento se disperse en mayor proporción proporcionalmente a la cantidad de pigmento y dispersante, en este caso, por ser los ensayos con más pigmento, este se solidifica de cierta manera generando asentamientos no deseados, generando que la pasta sea más pesada con menor facilidad de manejo.

3.1.3.3. Porcentaje de sólidos. En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos del porcentaje de sólidos para los ensayos de naranja molibdeno.

Tabla 17. Medida del porcentaje de solidos antes de estabilidad.

Ensayo	% solidos
NA-1	68.17
NA-2	64.58
NA-3	63.35
NA-4	77.9
NA-5	76.91
NA-6	74.78
NA-7	82.66
NA-8	83.62
NA-9	83.58

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 17 se observa el porcentaje de solidos de cada ensayo, al comparar este porcentaje con la cantidad de pigmento inicial (observada en la tabla 13) se observa que la cantidad de pigmento inicial es proporcional al porcentaje de sólidos, esto debido a que la dependencia de la perdida de solvente, es por la volatilidad del pigmento y dispersante, ya que estos son materias primas no volátiles, el porcentaje de solidos aumenta.

De acuerdo al diagrama 3 y las ecuaciones 1 y 2 presentadas para el color amarillo, para comparar el balance de materia con el porcentaje de solidos se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 18. Balance materia

Ensayo	balance
NA-1	71%
NA-2	69%
NA-3	67%
NA-4	78%
NA-5	77%
NA-6	75%
NA-7	85%
NA-8	84%
NA-9	83%

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que la diferencia con el porcentaje de solidos no supera el 5% en cada ensayo, es decir, la experimentación arrojó resultados de los que se esperaba.

3.1.3.4. Sedimentación (prueba después de estabilidad). Como se describe en el numeral 2.3.2.2 los ensayos son sometidos a estabilidad, se les realizó una prueba de comparación entre ellas para observar como varia el comportamiento cambiando las cantidades de pigmento y dispersante, estos resultados son cualitativos y para los ensayos con el naranja molibdeno a diferencia con el amarillo cromo si fueron notorios, en la imagen 21 se observa los frascos de ensayos después de haber pasado por estabilidad, de izquierda a derecha están en orden ascendente, del NA-1 al NA-9, es notorio que los ensayos con mayor asentamiento de pigmento son del NA-7 al NA-9, en estos ensayos la cantidad de pigmento era la mayor de todos los ensayos, la cantidad de dispersante presente en esta mezcla para este pigmento no fue suficiente, generando asentamiento del pigmento y que se dividiera en dos capas, en donde en la parte de arriba se queda el vehículo, por la falta de adherencia entre el pigmento y vehículo.

Imagen 21. Ensayos después de estabilidad para Naranja Molibdeno



3.1.3.5. Esfuerzo de color. Para la lectura del esfuerzo de color se usó el espectrofotómetro (descrito en numeral 2.2.11) con el programa OnColor²¹ para encontrar la intensidad del color ya que a la vista humana es difícil de encontrar un valor exacto, el esfuerzo de color se lee en las lenetas aplicadas comparadas de antes y después de estabilidad. Los datos correspondientes de esfuerzo de color se reflejan del valor en eje L* en la tabla 19 para antes y después de estabilidad.

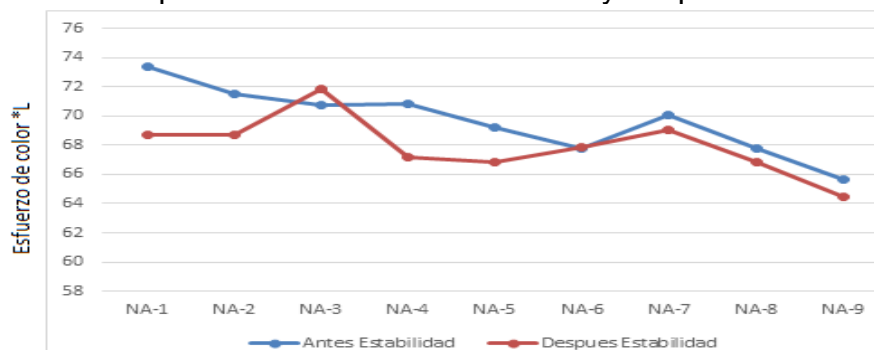
Tabla 19. Esfuerzo color (valor L*) de las lenetas antes y después de estabilidad

Ensayo	Antes Estabilidad	Después Estabilidad	% cambio
NA-1	73.4	68.71	6.39
NA-2	71.49	68.75	3.83
NA-3	70.78	71.82	- 1.47
NA-4	70.85	67.16	5.21
NA-5	69.21	66.82	3.45
NA-6	67.79	67.88	- 0.13
NA-7	70.03	69.08	1.36
NA-8	67.78	66.84	1.39
NA-9	65.64	64.46	1.80

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 19 se observa que las luminosidades de las pastas varían entre todos los ensayos, no hay un comportamiento constante entre los ensayos, sin embargo, el porcentaje de cambio de antes y después de estabilidad está en los términos establecidos para unas buenas pastas pigmentarias, el porcentaje no supera el 10% lo que indica que las cantidades en los ensayos son óptimas (Norma interna de empresa) y con el pasar del tiempo el pigmento no sufrirá cambios por las condiciones ambientales. En la gráfica 7 se analizarán los resultados para ser comparados entre sí.

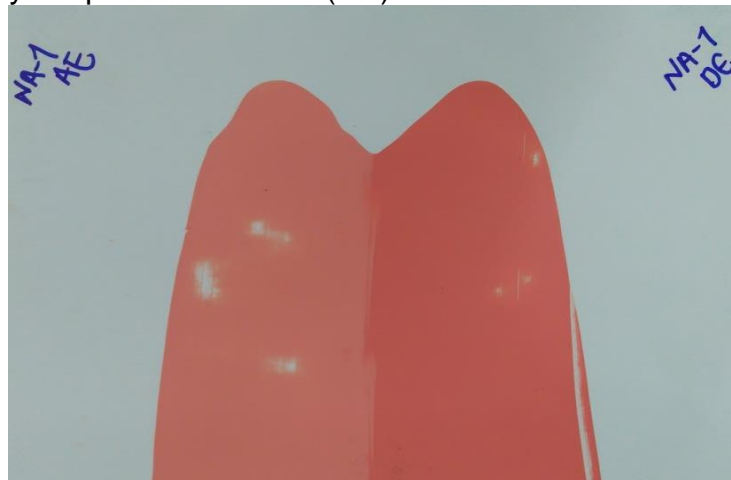
Gráfica 7. Comparación de luminosidad antes y después de estabilidad



²¹ OnColor es el programa que se utiliza para analizar y automatizar el valor exacto del esfuerzo de color. Suministrado por empresa de respaldo

En la gráfica 7 se observa una tendencia de disminución en la luminosidad después de estabilidad, es decir que el pigmento que hay en la mezcla pierde su color con el paso del tiempo y al calor, los ensayos que se mantuvieron constantes fueron los del NA-7 al NA-9, esto por la cantidad de pigmento que hay en estas mezclas, también se observa que en los ensayos con mayor pigmento y mayor dispersante son los que tienen un % de cambio mayor, debido a que la cantidad de dispersante que hay en estas mezclas genera que el color se opaque con el tiempo ya que son aglutinantes que generar que la mezcla se concentre en mayor cantidad el pigmento. En los ensayos la leneta con mayor diferencia de color es observada en el ensayo AM-1 como se observa en la imagen 22.

Imagen 22. Aplicación NA-1 Antes estabilidad (AE) y después estabilidad (DE)



Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Análisis de los resultados estadísticos para las pastas pigmentarias en Naranja Molibdeno. Las variables y el diseño experimental descrito en el numeral 2.3.1.1, para el naranja molibdeno, en la tabla 2 se muestra los niveles que se usaron y el valor de ellos. Los resultados del diseño de experimentos factorial se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Naranja Molibdeno

Ensayo	% pigmento	% dispersante	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
NA-1	65	18	307	73.4
NA-2	65	12	302	71.49
NA-3	65	6	268	70.78
NA-4	74	18	602	70.85
NA-5	74	12	582	69.21
NA-6	74	6	430	67.79
NA-7	83	18	789	70.03
NA-8	83	12	932	67.78
NA-9	83	6	809	65.64

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 20 se demuestran los datos para el diseño de experimentos, las dos variables a analizar y las variables respuesta que se necesita para esta experimentación.

En este proyecto de grado se presenta como Hipótesis nula: Hay una diferencia de la viscosidad y esfuerzo de color después de estabilidad entre los niveles, lo que evidencia que el factor afecta sobre la variable respuesta y como Hipótesis alternativa: No hay diferencia entre los diferentes niveles, el factor no tiene efectos sobre la variable respuesta se procede a realizar el diseño de experimentos

3.1.4.1. Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del naranja molibdeno. En este color se utilizó el software Statgraphics Centurion, licencia de 30 días. Para el diseño de esta tabla, el valor del pigmento es B, para el valor del dispersante se tomó el valor A. El análisis estadístico ANOVA para la superficie de respuesta del esfuerzo de color (*L) en la tabla 19 mostró que ningún efecto tiene un valor $-P$ menor a 0.05, indicando que estos dos factores son significativamente diferentes de cero, en un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 85,3396% de la variabilidad en esfuerzo de color. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 60,9055%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 3,35238%.

La ecuación polinomial con el mejor ajuste encontrado para el Esfuerzo de color (*L) es:

Ecuación 4. Ecuación para Naranja Molibdeno

$$\text{Esfuerzo de color} = +65.82 + 3.02833 A - 2.12833 B + 2.97833 A^2 + 0.465 AB + 6.90833 B^2$$

Tabla 21. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:DISPERSANTE	550,248	1	550,248	4.9	0.1138
B:PIGMENTO	271,788	1	271,788	2.42	0.2178
AA	177,409	1	177,409	1.58	0.2979
AB	0.8649	1	0.8649	0.08	0.7995
BB	954,501	1	954,501	8.49	0.0618
Error total	337,153	3	112,384		
Total (corr.)	229,975	8			

Fuente: Statgraphics Centurion

En la tabla 21 se observa en la primera columna las fuentes, que son los factores del diseño de experimentos, la segunda columna es la suma de cuadrados, que es el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta.

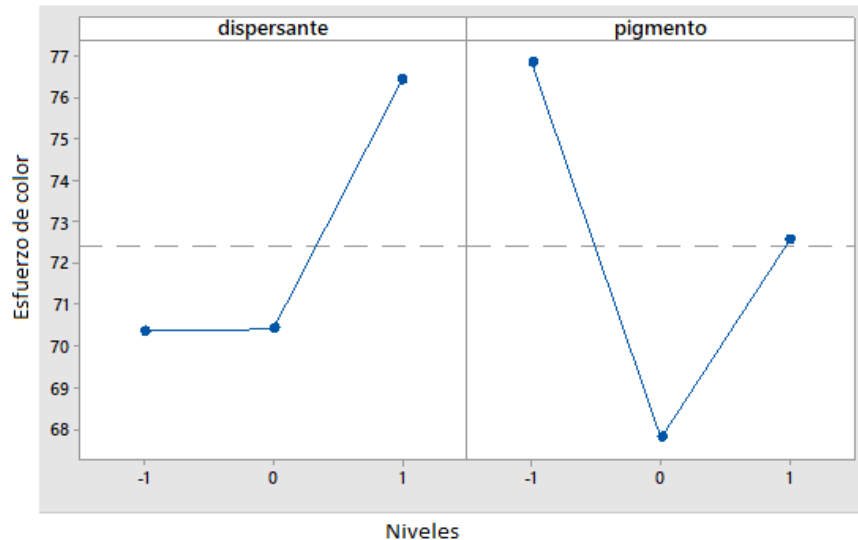
Por otro lado, las columnas de grados de libertad describen las sumas asociadas de cuadrados. La columna de cuadrado medio es una estimación de la varianza. La razón -F, es la distribución F y prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas. El valor -P, es la columna con la que se obtiene una referencia para aceptar o rechazar la hipótesis del trabajo.

3.1.4.2. Análisis gráficos de efectos para la obtención de las pastas Naranja Molibdeno. Para los gráficos 8 y 9 se usó el programa Elaboración propia, dicho esto se empieza a analizar el gráfico 8 que demuestra los resultados para el esfuerzo de color, como se puede observar en dicho gráfico, los dos factores afectan el esfuerzo de color para el naranja molibdeno, en este caso existe una sinergia entre la menor cantidad de pigmento y la menor cantidad de dispersante para lograr el efecto de aumentar el esfuerzo de color, esto debido a que cuando en las pastas la carga del pigmento no es lo suficientemente saturada y tiene buena dispersión, realizando un buen proceso de adherencia con el vehículo y dispersante, generando así que su luminosidad aumente con el calor, resultado esperado para esta experimentación.

Adicionalmente se observa que el factor pigmento tiene un cambio mayor entre sus niveles que él se observa en dispersante, para el pigmento del nivel 0 al 1 se observa una diferencia de 5 *L aproximadamente, del nivel -1 al 0 se observa una disminución en la luminosidad y esto debido a que la cantidad de pigmento en el nivel 0 con la mezcla de dispersante no fue la necesaria para suplir la adhesión del pigmento, en cambio para el dispersante se observa que el cambio de -1 a 0 es nulo, se mantiene constante, lo que quiere decir que para el esfuerzo de color el

factor que influye en la luminosidad de las pastas es el pigmento.

Grafica 8. Efectos para esfuerzo de color (*L) Naranja Molibdeno



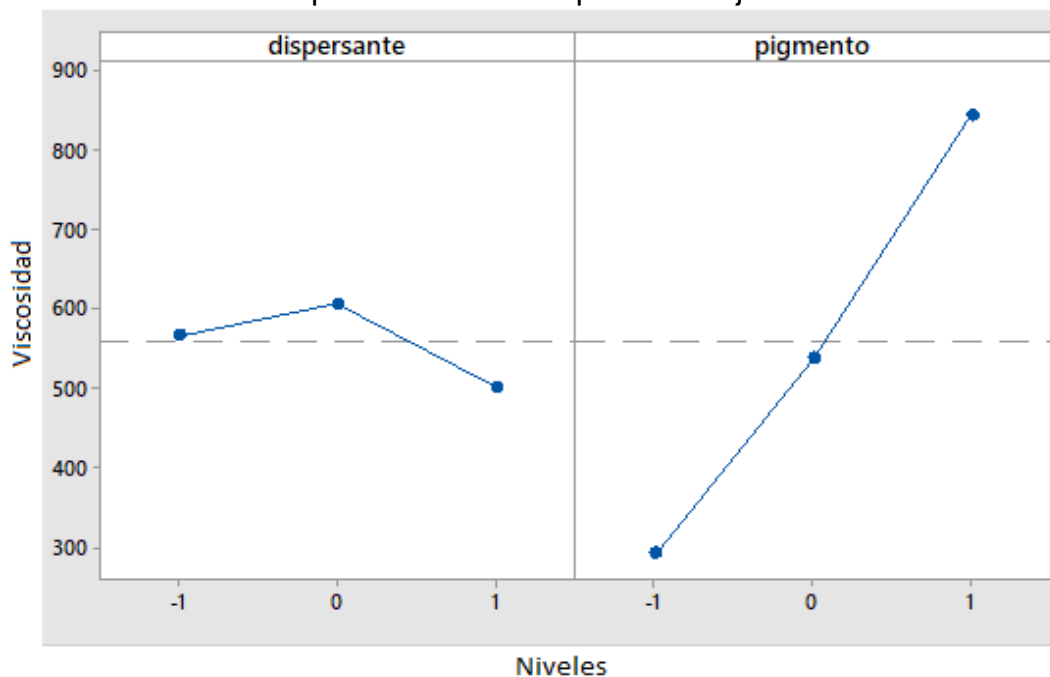
Fuente: elaboración propia.

Después de analizar los efectos de cada factor en la gráfica 8 para el esfuerzo de color, se procede a analizar los efectos del factor pigmento y dispersante para la viscosidad de las pastas, factor que indica el comportamiento de una pasta con condiciones para ser aplicada.

Ahora bien, para la gráfica 9 se analiza el comportamiento de la viscosidad con los dos factores, observando que el factor que afecta en mayor proporción es el porcentaje de pigmento, al aumentar la carga incrementa su valor, en cambio, al disminuir el porcentaje de dispersante su viscosidad se reduce (100cP), esto debido al efecto reológico tixotrópico del mismo.

En este efecto de la viscosidad se observa que, en el caso del dispersante, la variabilidad es muy poca entre los 3 niveles, máximo de 100cP (como se observa en el cambio de nivel -1 a 0). Pero para el factor del pigmento, se observa una tendencia creciente proporcionalmente a la cantidad de pigmento, es decir, al aumentar el porcentaje de pigmento se ve aumentada la viscosidad, razón apenas lógica, ya que, al encontrar más pigmento en la mezcla, esta genera partículas en donde se disperse en menor cantidad con el dispersante, generando una pasta pesada.

Grafica 9. Efectos para la viscosidad para Naranja Molibdeno



Fuente: elaboración propia.

3.1.4.3. Optimización del modelo para la obtención de la pasta color Naranja Molibdeno. El mejor diseño experimental es aquel que permita obtener el mayor esfuerzo de color (*L) con la menor viscosidad y la menor proporción de dispersante, con el objetivo de obtener una pasta con propiedades y desempeño equivalente o mejor que la usada actualmente, la optimización se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion versión prueba el cual se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Optimización del modelo polinómico para la obtención de pasta Naranja Molibdeno

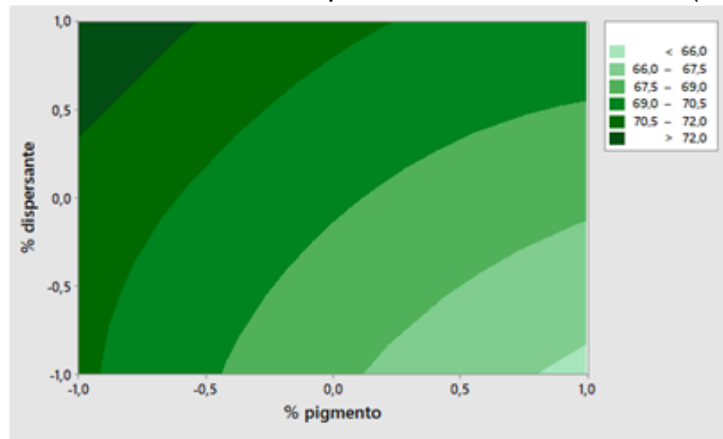
	Pigmento % A	Dispersante % B	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
Codificadas	-1	1	357.9	80.3994
Reales	65	18	307	73.4

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 22 se muestran los resultados óptimos, con el diseño de experimentos se observa que la pasta con las mejores condiciones es la NA-1, en el transcurso de todo el capítulo se ha demostrado que ha sido el ensayo con mejores resultados, y con el diseño de experimentos se afirma que es la pasta con las mejores condiciones para el amarillo cromo.

Para un análisis con mayor profundidad basado en cálculos se explora el gráfico de contorno mostrado en la gráfica 10 realizado con el software Elaboración propia versión gratuita, se observa que la solución se encuentra en la zona del gráfico de contorno de esfuerzo de color mayor a 72 que corresponde con los resultados obtenidos y al experimento NA-1

Gráfica 10. Contorno para el esfuerzo de color (*L)



Fuente: elaboración propia

Un factor importante para escoger el mejor ensayo fue la viscosidad, observada en la gráfica 9, en donde se observa que los mejores resultados se obtuvieron en el nivel 1 respecto al porcentaje de pigmento, sin embargo con los resultados de la gráfica 8 también se escoge como óptima la pasta NA-1 ya que es en donde mayor esfuerzo de color se presenta, en el desarrollo del capítulo se pueden ver los resultados que demuestran que el ensayo NA-1 estaba en las mejores condiciones para ser aplicada. Por ende, la pasta escogida es NA-1, siendo viable para la continuación del trabajo.

3.1.5. Verde GNX: Este pigmento a diferencia de los dos anteriores trabajados es orgánico (descrito en numeral 1.2.3). Siguiendo los datos expuestos en la tabla 3 (descrita en numeral 2.3.1.1) se realiza la tabla 23 evidenciando los valores de materia prima para la obtención de la pasta pigmentaria.

Tabla 23. Cantidad reactivos para Verde GNX (base de cálculo 1000g)

Ensayo	Pigmento(g)	% Pigmento	Dispersante (g)	% Dispersante	Vehículo (g)
VE-1	300	30	120	40	535
VE-2	300	30	100	33	600
VE-3	300	30	80	26	620
VE-4	280	28	112	40	308
VE-5	280	28	93	33	627
VE-6	280	28	74	26	646
VE-7	260	26	104	40	636
VE-8	260	26	86	33	654
VE-9	260	26	68	26	672

Fuente: elaboración propia.

3.1.5.1. Finura de molienda (tamaño de partícula). Para llegar al tamaño de partícula ideal los ensayos se dejaron por media hora leyendo cada 15 minutos en el grindómetro el tamaño, para obtener una finura aproximada de 7 a 7.5 H. Obtenido los resultados mostrados en la tabla 24.

Tabla 24. Medida de finura de molienda.

Ensayo	15 minutos (H)	30 minutos (H)
VE-1	6.5	7
VE-2	6.5	7
VE-3	6.5	8
VE-4	7	7.5
VE-5	7.5	7.5
VE-6	7	7
VE-7	7	7.5
VE-8	7.5	7.5
VE-9	7	7.5

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 24 se observa que para este pigmento verde gnX el tamaño de molienda estuvo en un rango de 7 a 7.5 en la mayoría de los ensayos, para los primeros 15 minutos se observa un tamaño muy pequeño, es decir con grumos aun, de 6.5 para los ensayos con mayor cantidad de pigmento, esto por la poca manejabilidad que tiene el verde gnX por tratarse de un pigmento orgánico, sin embargo para los 30 minutos ya llega al tamaño de 7H, que es un tamaño al que llegan todas las pastas pigmentarias con buenos comportamientos. Para los demás ensayos fue más rápido llegar al tamaño ideal para la finura que es 7 a 7.5, con el tiempo este se mantuvo constante, lo que quiere decir que la cantidad de pigmento y dispersante en estas mezclas estuvo en condiciones de llevar al producto a un buen proceso de

molienda obteniendo una finura de partícula generada sin grumos y con fácil manejabilidad. En la imagen 23 se observa el comportamiento de un buen tamaño de partícula en una pasta pigmentaria.

Todas las muestras después de leer su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.3.1.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de estas pastas a altas temperaturas.

Imagen 23. Finura de partícula



Fuente: elaboración propia

En la imagen 23 se observa la capa homogénea de la pasta pigmentaria para ser llevadas al siguiente paso del proceso, se observa una fina aplicación sin grumos y sólidos en el transcurso de la aplicación. En este caso la finura fue de 7.5 mostrando una capa homogénea.

3.1.5.2. Viscosidad (antes y después de estabilidad). La viscosidad para estas pastas se midieron los frascos antes y después de estabilidad con una paleta, en el viscosímetro de brookfield (descrito en numeral 2.2.4). Para esta prueba se tuvo en cuenta dos unidades de medida (descrito en numeral 2.3.1.2), para facilidad de datos se usó solo las unidades (cP) y los resultados fueron los mostrados en la tabla 25.

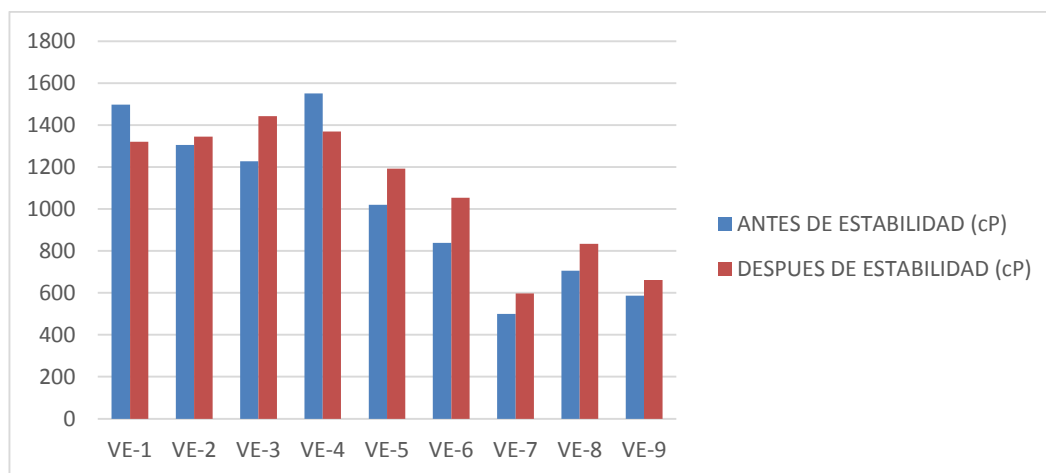
Tabla 25. Viscosidades antes y después de estabilidad para Verde Gnx

Ensayo	Antes de estabilidad (cP)	Después de estabilidad (cP)	% cambio
VE-1	1497	1320	11.82
VE-2	1305	1345	3.07
VE-3	1227	1443	17.60
VE-4	1551	1369	11.73
VE-5	1020	1192	16.86
VE-6	838	1054	25.78
VE-7	499	597	19.64
VE-8	705	833	18.16
VE-9	587	661	12.61

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 25 se observa el cambio que se obtuvo para las pastas pigmentarias después de ser sometidas al aumento de temperatura. En los ensayos VE-3, VE-5, VE-6, VE-7, VE-8 y VE-9 se observa el cambio en un rango de 12 a 17 %. Por la volatilidad de este pigmento orgánico la viscosidad se mostró por encima de los 1000 cP para los primeros 6 ensayos que en este caso a diferencia de los ensayos con los pigmentos inorgánicos son los de mayor cantidad de pigmento. Para los ensayos VE-7 al VE-9 se observa una viscosidad menos a 1000 cP y con un porcentaje de cambio promedio de 16%, mayor a el cambio de los ensayos VE-1 al VE-6 que es de 13%, esto se debe a la cantidad de pigmento que hay en los ensayos, este pigmento por ser volátil es muy pesado, lo que genera un proceso de molienda más complejo, obteniendo una pasta con poca fluidez y mayor viscosidad. En la gráfica 11 se muestra una comparación entre las dos viscosidades

Gráfica 11. Comparación viscosidades antes y después de estabilidad para Verde gnx



En la gráfica 11 se observa los datos de la tabla 25 para observar la comparación de las viscosidades de antes y después de estabilidad, se observa una tendencia de aumento de viscosidad para las pastas después de estabilidad, indicio de una buena dispersión de pigmento en la mezcla, en los casos de los ensayos AM-1 al AM-5 se observa una alta viscosidad debido a que son los ensayos con más pigmento pero su cambio entre si no sube del 20%, en el caso del ensayo VE-6 hay un cambio de 25% en este ensayo la cantidad de pigmento es de 280 y la de dispersante 74, es claro que la cantidad de dispersante para este pigmento es muy poca, lo cual hace que el pigmento aumente sus fuerzas moleculares y se aglomere generando una pasta espesa, con poca facilidad de manejo, por ende, aumento de viscosidad. En los ensayos VE-7 al VE-9 se observa una viscosidad menor a la de los demás ensayos, esto por la cantidad de pigmento, el cambio que se genera en entre los ensayos es menor al 20% indicando resultados con un producto de buena viscosidad.

3.1.5.3. Porcentaje de sólidos. De acuerdo a los descrito en el numeral 2.3.1.1 para esta medida se usará el analizador de humedad para la toma de esta muestra, se toma la medida cuando las pastas han pasado por el proceso de molienda, esta medida se toma antes de estabilidad. En la tabla 26 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 26. Porcentaje de sólidos para Verde GNX

Ensayo	% sólidos
VE-1	48.17
VE-2	36.46
VE-3	32.9
VE-4	29.37
VE-5	32.02
VE-6	30.7
VE-7	31.51
VE-8	29.79
VE-9	29.31

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 26 se observa el porcentaje de sólidos que al ser comparado con la cantidad de pigmento inicial (ver tabla 21) se ve aumentada en un promedio de 10% para los tres primeros ensayos que tenían una cantidad de pigmento inicial de 30%, esto debido a que el pigmento orgánico tiene partículas volátiles que generan un aumento de su partícula al momento de dispersarse distinto a los pigmentos inorgánicos que presentan menor variación. En los ensayos VE-4 al VE-9 el porcentaje de sólidos después de molienda no supera en promedio el 31% cuando el pigmento inicial era 28%, es decir, no hay un aumento superior a 5%, lo que indica que la cantidad de dispersante para estas mezclas fue suficiente para obtener una

mezcla con las partículas del pigmento y la resina con la adhesión y humectación correspondiente para la pasta pigmentaria.

De acuerdo al diagrama 3 y las ecuaciones 1 y 2 presentadas para el color amarillo, para comparar el balance de materia con el porcentaje de sólidos se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 27 Balance de materia

Ensayo	Balance
VE-1	56%
VE-2	41%
VE-3	40%
VE-4	32%
VE-5	37%
VE-6	36%
VE-7	31%
VE-8	37%
VE-9	28%

Fuente: elaboración propia.

3.1.5.4. Sedimentación (prueba después de estabilidad). Como se describe en el numeral 2.3.2.2 los ensayos son sometidos a estabilidad, se les realizó una prueba de comparación entre ellas para observar como varia el comportamiento cambiando las cantidades de pigmento y dispersante, estos resultados son cualitativos y para los ensayos con el verde gnx la sedimentación no fue notoria, no había un cambio que se pudiera observar a simple vista, sin embargo el asentamiento que presentaron los ensayos fue mínimo, el pigmento orgánico no permite por su volatilidad que los ensayos se floculen al final del envase

3.1.5.5. Esfuerzo de color. Para la lectura del esfuerzo de color se usó el espectrofotómetro (descrito en numeral 2.2.11) con el programa OnColor para encontrar la intensidad del color ya que a la vista humana es difícil de encontrar un valor exacto, el esfuerzo de color se lee en las lenetas aplicadas comparadas de antes y después de estabilidad. Los datos correspondientes de esfuerzo de color se reflejan del valor en eje L* en la tabla 28 para antes y después de estabilidad.

Tabla 28. Esfuerzo de color (valor *L) de las lenetas antes y después de estabilidad.

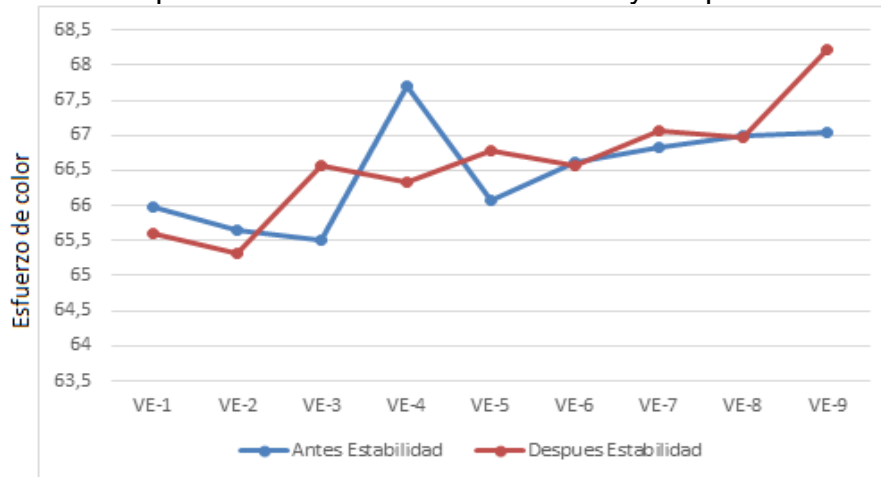
Ensayo	Antes Estabilidad	Después Estabilidad	% cambio
VE-1	65.98	65.61	0.56
VE-2	65.65	65.33	0.49
VE-3	65.51	66.57	- 1.62
VE-4	67.7	66.34	2.01
VE-5	66.07	66.79	- 1.09
VE-6	66.61	66.56	0.08
VE-7	66.84	67.07	- 0.34
VE-8	67	66.97	0.04
VE-9	67.04	68.23	- 1.78

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 28 se observa que el porcentaje de cambio en los ensayos no aumenta del 2%, indicio de que el pigmento se dispersó bien en la mezcla y con el aumento de temperatura este pigmento no perderá las propiedades. Con los pigmentos orgánicos la luminosidad tiende a mantenerse constante ya que al mezclarse las partículas de este se dispersan de buena manera con la resina, generando así una luminosidad homogénea²²

En la gráfica 12 se observan los datos comparados entre cada ensayo de antes y después de estabilidad para obtener una información más detallada y comparativa.

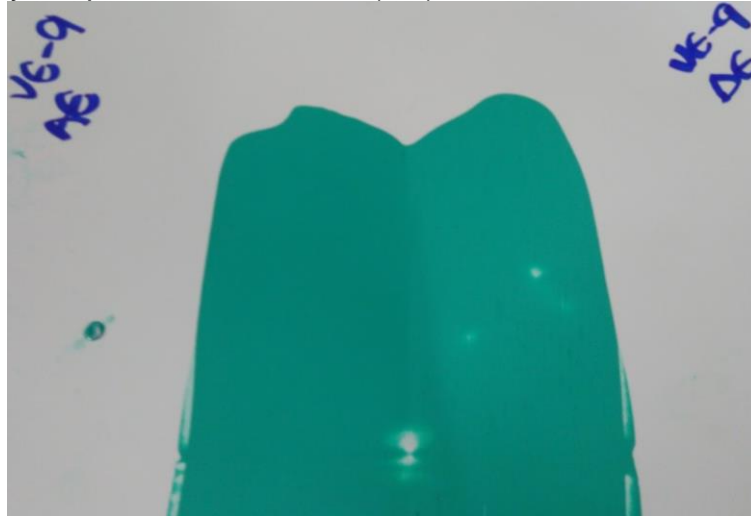
Gráfica 12. Comparación esfuerzo de color antes y después de estabilidad



²² UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, Archivos digitales. Revisión bibliográfica, colorantes y pigmentos. [Consultado en junio 20 de 2018]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/mondragon_n_vy/capitulo4.pdf

En la gráfica 12 se observa la tendencia a aumentar de la luminosidad en los ensayos con el verde gn_x, los cambios son muy pequeños, menores a 2 *L exceptuando el ensayo VE-4 que es el ensayo con mayor cambio, en este caso, el ensayo mencionado tiene una cantidad de pigmento de nivel 0 (según el diseño de experimentos) y el valor de dispersante más alto para ese nivel, lo que quiere decir que la luminosidad disminuye con el pasar de la temperatura. En el VE-9 también se observa una diferencia de aproximadamente 2 *L, en este caso la luminosidad aumento después de estabilidad la razón de ser el ensayo con más baja cantidad de pigmento y dispersante hacen que la pasta pigmentaria tenga buenas propiedades. En la imagen 24 se observa la diferencia de las aplicaciones, para este caso el VE-9 que es el más notorio.

Imagen 24. Aplicación VE-9 antes (AE) y después de estabilidad (DE).



Fuente: elaboración propia.

3.1.6. Análisis estadístico de los resultados de las pastas pigmentarias verde gn_x. Las variables y el diseño experimental descrito en el numeral 2.3.1.1, para el verde gn_x, en la tabla 3 se muestra los niveles que se usaron y el valor de ellos. Los resultados del diseño de experimentos factorial se muestra en la tabla 29.

Tabla 29. Respuestas para la obtención de las pastas pigmentarias Verde Gnx.

Ensayo	% pigmento	% dispersante	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
VE-1	30	40	1497	65.98
VE-2	30	33	1305	65.65
VE-3	30	26	1227	66.51
VE-4	28	40	1551	67.7
VE-5	28	33	1020	66.07
VE-6	28	26	838	66.61
VE-7	26	40	499	66.84
VE-8	26	33	705	67
VE-9	26	26	587	67.04

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 29 se observan los factores del diseño de experimentos que son el porcentaje de pigmento y porcentaje de dispersante, con las correspondientes variables respuesta para este diseño de experimentos que son la viscosidad y el esfuerzo de color, estos datos son tomados de los resultados con cada experimento.

En este proyecto de grado se presenta como Hipótesis nula: Hay una diferencia de la viscosidad y esfuerzo de color después de estabilidad entre los niveles, lo que evidencia que el factor afecta sobre la variable respuesta y como Hipótesis alternativa: No hay diferencia entre los diferentes niveles, el factor no tiene efectos sobre la variable respuesta se procede a realizar el diseño de experimentos

3.1.6.1. Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) del verde gnx. Para el diseño de esta tabla, el valor del pigmento se tomó como A y el valor del dispersante como B. El análisis estadístico ANOVA para la superficie de respuesta del esfuerzo de color (*L) en la tabla 30, mostró que ningún efecto tiene un valor $-P$ menor a 0.05, indicando que ningún factor es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza de 95%.

Adicionalmente se observa que los términos A, AB son significativos ya que los valores de Razón -F fueron menores a 0.05, sin embargo, fueron considerados todos los términos y no se redujo el modelo.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 64,1653% de la variabilidad en esfuerzo de color. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 4,44069%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,617983.

La ecuación polinomial con el mejor ajuste encontrado para el Esfuerzo de color (*L) es:

Ecuación 5. Ecuación para verde gn_x

$$\text{Esfuerzo de color} = +66.4333 - 0.06 A + 0.456667 B + 0.54 A^2 - 0.0825 AB - 0.29 B^2$$

Tabla 30. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:DISPERSANTE	0,0216	1	0,0216	0,06	0,8273
B:PIGMENTO	125,127	1	125,127	3,28	0,1680
AA	0,5832	1	0,5832	1,53	0,3045
AB	0,027225	1	0,027225	0,07	0,8068
BB	0,1682	1	0,1682	0,44	0,5544
Error total	114,571	3	0,381903		
Total (corr.)	31,972	8			

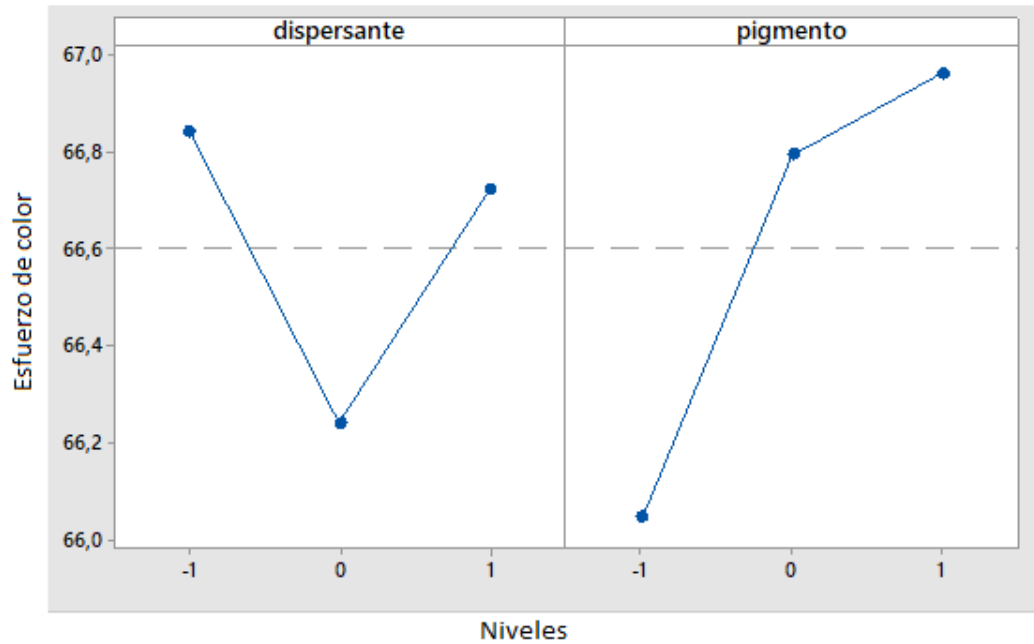
Fuente: Statgraphics Centurion

En la tabla 30 se observa en la primera columna las fuentes, que son los factores del diseño de experimentos, la segunda columna es la suma de cuadrados, que es el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta.

Por otro lado, las columnas de grados de libertad describen las sumas asociadas de cuadrados. La columna de cuadrado medio es una estimación de la varianza. La razón -F, es la distribución F y prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas. El valor -P, es la columna con la que se obtiene una referencia para aceptar o rechazar la hipótesis del trabajo.

3.1.6.2. Análisis de gráficos de efectos para la obtención de las pastas Verde gn_x. Para los gráficos 13 y 14 se usó el programa Elaboración propia, dicho esto se empieza a analizar el gráfico 13 que demuestra los resultados para el esfuerzo de color, como se puede observar en dicho gráfico, los dos factores afectan el esfuerzo de color en una notable cantidad para el verde gn_x, en este caso, se observa un valor cercano de luminosidad para el dispersante en el nivel -1 y 1, en el nivel 0 disminuye en 0,6 *L, para lograr un mejor efecto de esfuerzo de color el dispersante debe estar en el nivel -1, es decir debe tener 40% de dispersante la mezcla, en el caso del pigmento se observa que el mejor esfuerzo de color se encuentra en el nivel 1, es decir, con 26% de pigmento. Adicionalmente se observa que el factor que afecta en mayor proporción el esfuerzo de color es el pigmento, cuando se encuentra con la mayor cantidad de porcentaje de pigmento el esfuerzo de color es el más alto, obteniendo una aplicación con poca luminosidad.

Gráfica 13. Gráfica efectos para esfuerzo de color Verde gnx

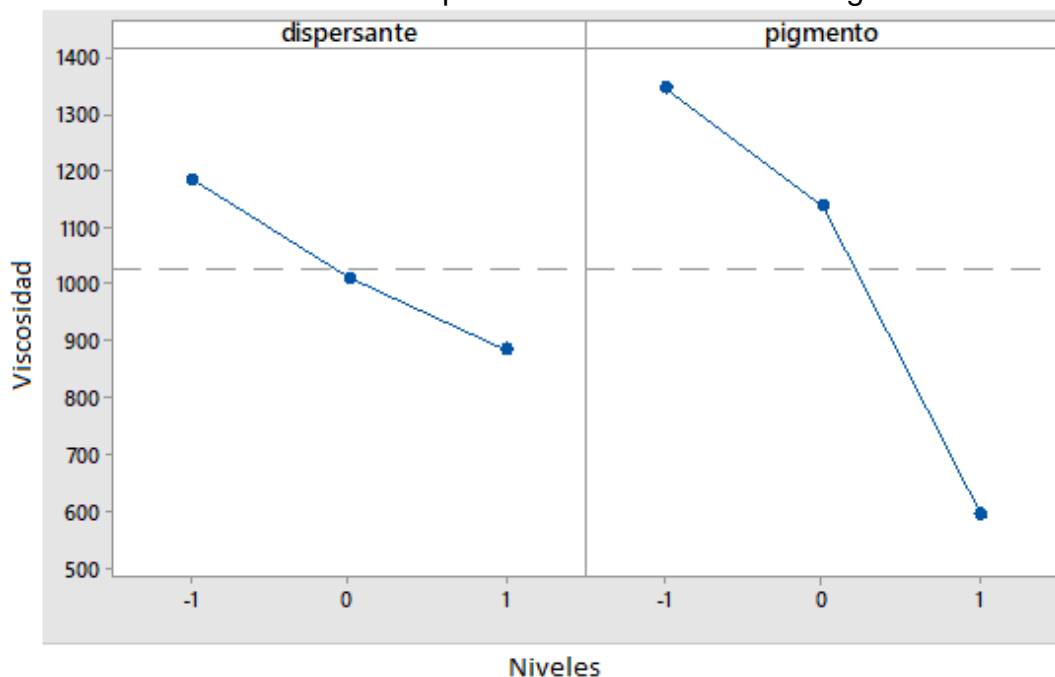


Fuente: Elaboración propia

Después de analizar los efectos de cada factor en la gráfica 13 para el esfuerzo de color, se procede a analizar los efectos del factor pigmento y dispersante para la viscosidad de las pastas, factor que indica el comportamiento de una pasta con condiciones para ser aplicada.

Para analizar el comportamiento de los factores con la viscosidad se analiza la gráfica 14, en donde se observa que la viscosidad es inversamente proporcional al porcentaje de dispersante y pigmento, ya que al disminuir la cantidad de los dos factores la viscosidad disminuye. Para el dispersante se observa una disminución de 200 cP en cada nivel, en cambio para el pigmento se observa una disminución de 200 cP del nivel -1 al 0 y de 500 cP del nivel 0 al 1, se encuentra una diferencia de 300 cP entre cada nivel.

Grafica 14. Grafica efectos para la viscosidad en Verde gnx.



Fuente: Elaboración propia

3.1.6.3. Optimización del modelo para la obtención de la pasta verde gnx.

El mejor diseño experimental es aquel que permita obtener el mayor esfuerzo de color (*L) con la menor viscosidad y la menor proporción de dispersante, con el objetivo de obtener una pasta con propiedades y desempeño equivalente o mejor que la usada actualmente, la optimización se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion versión prueba el cual se muestra en la Tabla 28.

Tabla 31. Optimización del modelo polinomial para la obtención de pasta verde gnx

	Pigmento % A	Dispersante % B	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
Codificadas	1	-1	867.98	67,2839
Reales	30	26	1227	66,84

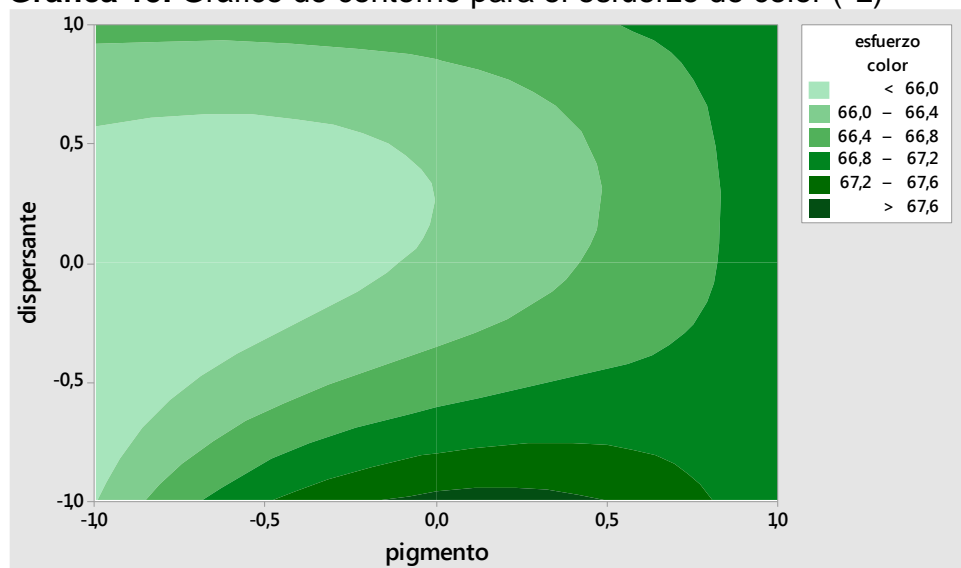
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 31 se muestran los resultados óptimos, con el diseño de experimentos se observa que la pasta con las mejores condiciones es la VE-3, en el transcurso de todo el capítulo se ha demostrado que ha sido el ensayo con mejores resultados, y con el diseño de experimentos se afirma que es la pasta con las mejores condiciones para verde gnx.

Para un análisis con mayor profundidad basado en cálculos se explora el grafico de

contorno mostrado en la gráfica 15 realizado con el software Elaboración propia versión gratuita, se observa que la solución se encuentra en la zona del gráfico de contorno de esfuerzo de color mayor a 67,6, en donde el dispersante esta en -1, es decir, la pasta pigmentaria desarrolla mejor el color con valores de dispersante menores a 26%, que corresponde con los resultados obtenidos y al experimento VE-3

Gráfica 15. Gráfico de contorno para el esfuerzo de color (*L)



Fuente: Elaboración propia

Con la experimentación del pigmento verde gn_x se termina la primera parte del primer objetivo, encontrando los mejores ensayos para cada pasta pigmentaria, en el caso del amarillo cromo el ensayo AM-3, en el caso del naranja molibdeno el NA-1, por último, para el pigmento verde gn_x el ensayo VE-3. Seguido a esto se hace el análisis de las mejores condiciones de molienda.

3.2. MEJORES CONDICIONES MOLIENDA

En esta sección se encontrarán las mejores condiciones de la operación de molienda, operación básica para la industria de pinturas, proceso descrito en numeral 1.4. Para la determinación de las mejores condiciones se realizó la experimentación basándose en el diseño de experimentos planteados en la tabla 4.

Para esta unidad se evaluará la viscosidad, esfuerzo de color y tamaño de molienda (descritos en numeral 2.3.1.2), ya que son los factores que sobresaltan en el comportamiento de las pastas pigmentarias durante el proceso.

Adicional a esto, se aclara que para esta experimentación por facilidad en la obtención de materia prima se usó el pigmento naranja molibdeno, las cantidades de pigmento, dispersante y vehículo en estos ensayos se mantuvieron constantes, ya que los factores a analizar es la velocidad de rotor y la cantidad de micro-esferas

de Circonio. Se escogió el mejor ensayo del naranja molibdeno basándose en la experimentación y los análisis estadísticos. En la tabla 32 se observan los datos.

Tabla 32. Orden y variables de cada ensayo

Ensayo	Velocidad Rotor (RPM)	Cantidad Cr (g)
E1	1750	1000
E2	1580	1000
E3	860	1000
E4	860	750
E5	1580	750
E6	1750	750
E7	1750	500
E8	1580	500
E9	860	500

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 32 se observan los 9 ensayos con los diferentes niveles correspondientes de cada experimento, se observan los valores de velocidad de rotor y la cantidad de circonio que se utilizó para esta experimentación.

Luego de plantear los valores se procede a realizar el análisis de las variables, empezando por el tamaño de molienda, enseguida la viscosidad, por último, el esfuerzo de color.

3.2.1. Finura de molienda (tamaño de partícula). Para llegar al tamaño de partícula ideal los ensayos se dejaron por media hora leyendo cada 15 minutos en el grindómetro el tamaño, para obtener una finura aproximada de 7.5 a 8 H. Obtenido los resultados mostrados en la tabla 33.

Tabla 33. Medida finura de molienda en 30 minutos.

Ensayo	15 minutos (H)	30 minutos (H)
E1	7.5	8
E2	7.5	7.5
E3	7.5	7.5
E4	7.5	7.5
E5	7.5	7.5
E6	7.5	7.5
E7	7.5	8
E8	8	8
E9	7.5	7.5

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 33 se observa que la finura de partícula se mantuvo constante en las dos medidas en 7 de los 9 ensayos, en los restantes se observa el aumento de 0.5 H, lo que indica que los ensayos desde la primera medida ya tenían un tamaño de partícula apto para ser aplicado en las láminas.

Estos resultados indican que al variar los niveles de los dos factores el comportamiento del tamaño de finura en las pastas pigmentarias no influye, es decir, que los tres niveles para los dos factores son óptimos para obtener una pasta apta para aplicación.

3.2.2. Viscosidad. La viscosidad para estas pastas se midieron los frascos con una paleta, en el viscosímetro de brookfield (descrito en numeral 2.2.4). Para esta prueba se tuvo en cuenta dos unidades de medida (descrito en numeral 2.3.1.2), para facilidad de datos se usó solo las unidades cP y los resultados fueron los mostrados en la tabla 34.

Tabla 34. Medición de viscosidad para los ensayos de molienda

Ensayo	Viscosidad (cP)
E1	725
E2	784
E3	833
E4	887
E5	912
E6	912
E7	932
E8	991
E9	1118

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 34 se observa que la viscosidad aumenta con todos los ensayos, el ensayo que sobresale es el ultimo el E9, ya que la viscosidad sobrepasa los 1000Cp, para la obtención de una pasta que tenga las condiciones para ser aplicada no debe tener esa viscosidad (según las normas D01, D562), ya que dificultaría el proceso de aplicación, sumado a esto, al almacenarla el pigmento tiende a quedarse en el fondo, generando una floculación del pigmento, con un asentamiento al final del envase.

Con lo anteriormente mencionado ya se excluye de un buen proceso una velocidad de rotor baja (860rpm) y la cantidad de circonio (500g). Apenas lógico ya que con esa cantidad y esa velocidad se dificulta el cizallamiento de las partículas entre el pigmento y el dispersante, generando una pasta muy viscosa con condiciones no aptas para el almacenamiento y aplicación de una pintura.

Luego de analizar la viscosidad y el tamaño de molienda se procede a realizar las aplicaciones en las lenetas para observar por medio del espectrofotómetro la luminosidad que generan estos ensayos leyendo el valor *L

3.2.3. Esfuerzo de color. Para la lectura del esfuerzo de color se usó el espectrofotómetro (descrito en numeral 2.2.11) con el programa OnColor para encontrar la intensidad del color ya que a la vista humana es difícil de encontrar un valor exacto, el esfuerzo de color se lee en las lenetas aplicadas. Los datos correspondientes de esfuerzo de color se reflejan del valor en eje L* en la tabla 35.

Tabla 35. Esfuerzo de color (valor *L) para los ensayos de molienda.

Ensayo	Esfuerzo Color *L
E1	68.4
E2	68.1
E3	68.61
E4	68.57
E5	68.36
E6	68.2
E7	67.73
E8	68.02
E9	67.83

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 35 se observa el esfuerzo de color para los 9 ensayos, se observa que 7 de 9 ensayos el valor *L están en 68, los dos ensayos restantes están en 67, valor que indica que la variabilidad en las pastas modificando los factores de proceso de molienda no cambia, es decir, estos factores no son influyentes en el proceso con respecto al esfuerzo de color.

No obstante, para el cumplimiento de los objetivos se busca un ensayo con esfuerzo de color alto, en este caso los ensayos E7 y E9 no serían los indicados, es decir, Una velocidad de rotor de 1750 y 860 rpm con una cantidad de Circonio de 500 g serian condiciones en las que la pasta tendría un esfuerzo de color en un rango de 0 a 1 *L comparado con las demás.

3.2.4. Análisis estadístico de los resultados para las pastas pigmentarias en la operación de molienda. Las variables y el diseño experimental descrito en el numeral 2.3.2, para el proceso de molienda, en la tabla 4 se muestra los niveles que se usaron y el valor de ellos. Los resultados del diseño de experimentos factorial se muestra en la tabla 36.

En la tabla 36 se observa el valor de cada nivel para cada ensayo, con sus respectivos valores de respuesta, la viscosidad (para disminuir) y el esfuerzo de color (que aumente) para las pastas pigmentarias.

Tabla 36. Respuestas de proceso de molienda.

Ensayo	Velocidad Rotor (RPM)	Cantidad Zr (g)	Viscosidad (cP)	Esfuerzo Color *L
E1	1750	1000	725	68.4
E2	1580	1000	784	68.1
E3	860	1000	833	68.61
E4	860	750	887	68.57
E5	1580	750	912	68.36
E6	1750	750	912	68.2
E7	1750	500	932	67.73
E8	1580	500	991	68.02
E9	860	500	1118	67.83

Fuente: elaboración propia.

3.2.4.1. Análisis de varianza y ecuación polinomial para el esfuerzo de color (*L) para el proceso de molienda. Para el diseño de esta tabla, el valor de la velocidad de rotor se tomó como A y el valor de la cantidad de Circonio como B. El análisis estadístico ANOVA para la superficie de respuesta del esfuerzo de color (*L) en la tabla 37, mostró que ningún efecto tiene un valor -P menor a 0.05, indicando que es significativamente diferente de cero con un nivel de confianza de 95%.

Adicionalmente se observa que los términos A, AB son significativos ya que los valores de Razón -F fueron menores a 0.05, sin embargo, fueron considerados todos los términos y no se redujo el modelo.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 69,8971% de la variabilidad en esfuerzo de color. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 19,7257%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,2781. El error medio absoluto (MAE) de 0,137284 es el valor promedio de los residuos.

La ecuación polinomial con el mejor ajuste encontrado para el Esfuerzo de color (*L) es:

Ecuación 6. Ecuación para el proceso de molienda

$$\text{Esfuerzo de color} = +68.3344 - 0.01 A - 0.255 B + 0.063333 A^2 - 0.0275 AB - 0.261667 B^2$$

Tabla 37. Análisis de varianza para el esfuerzo de color (*L)

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor -P
A:Velocidad de rotor	0,0006	1	0,0006	0,01	0,9354
B:cantidad Circonio	0,39015	1	0,39015	5,04	0,1103
AA	0,00802222	1	0,00802222	0,10	0,7685
AB	0,003025	1	0,003025	0,04	0,8559
BB	0,136939	1	0,136939	1,77	0,2754
Error total	0,232019	3	0,0773398		
Total (corr.)	0,770756	8			

Fuente: Statgraphics Centurion

En la tabla 37 se observa en la primera columna las fuentes, que son los factores del diseño de experimentos, la segunda columna es la suma de cuadrados, que es el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta. Por otro lado, las columnas de grados de libertad describen las sumas asociadas de cuadrados. La columna de cuadrado medio es una estimación de la varianza. La razón -F, es la distribución F y prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas. El valor -P, es la columna con la que se obtiene una referencia para aceptar o rechazar la hipótesis del trabajo.

3.2.4.2. Optimización del modelo para la obtención de la pasta en el proceso de molienda. El mejor diseño experimental es aquel que permita obtener el mayor esfuerzo de color (*L) con la menor viscosidad y la menor proporción de dispersante, con el objetivo de obtener una pasta con propiedades y desempeño equivalente o mejor que la usada actualmente, la optimización se realizó utilizando el software Statgraphics Centurion versión prueba el cual se muestra en la Tabla 38

Tabla 38. Optimización del modelo polinomial para la obtención de la pasta en el proceso de molienda.

	Velocidad de rotor (RPM) A	Cantidad de Circonio (g) B	Viscosidad (cP)	Esfuerzo de color (*L)
Codificadas	1	0	1088,17	69,464
Reales	1750	750	912	68,2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 38 se muestran los resultados óptimos, con el diseño de experimentos se observa que la pasta con las mejores condiciones de molienda es el E4, en el transcurso de todo el capítulo se ha demostrado que ha sido el ensayo con mejores

resultados, y con el diseño de experimentos se afirma que son las mejores condiciones para el proceso de molienda.

3.3. DESEMPEÑO EN LAS PINTURAS

En esta sección se analizará la compatibilidad y el desempeño de las pastas pigmentarias escogidas en la sección anterior (AM-1, para el amarillo cromo, NA-3, para el naranja molibdeno y VE-3 para el verde gnx) con las tres de las químicas de pintura que maneja y produce la empresa en donde se realizó el trabajo, en este caso para las química epóxica, alquídica y uretano, con la metodología presentada en el diagrama 2.

3.3.1. Amarillo Cromo: En esta parte del proceso no se observó flotación de las partículas de pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación, se observó una capa uniforme en la lámina. En la mezcla con Barniz, se observó un color con mayor fuerza tintórea, esto ocurre ya que la resina transparente hace que el pigmento desarrolle su color con más fuerza²³

Durante la exposición a la cámara UV, se observó una degradación lenta para las pinturas uretano, por la cadena polimérica.

3.3.1.1. Brillo: Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.1), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 39 y 40.

Tabla 39. Brillo de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	89.5	78.9	82.8	81
24	89.4	79.4	74	83.6
48	87.9	81.2	82	80.5
72	89.3	82.6	83.4	82.7

Fuente: elaboración propia.

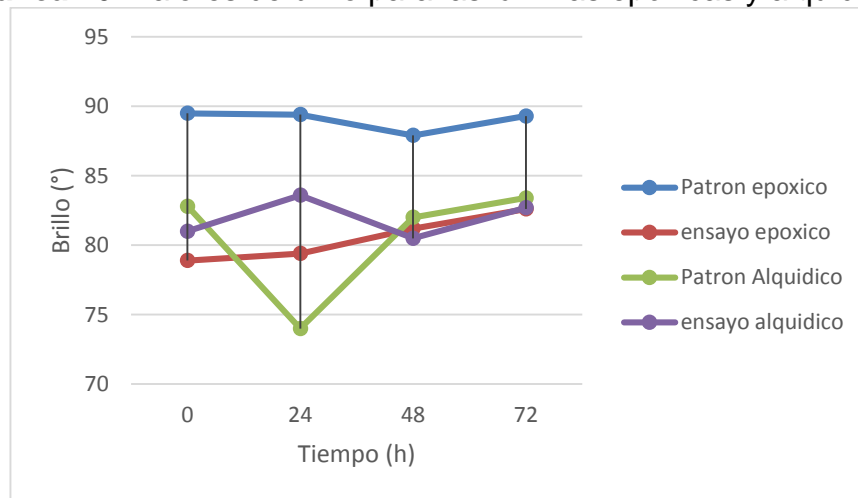
En la tabla 39 se observa el brillo que se le midió a las láminas metálicas del amarillo cromo cada 24 horas durante 72 horas, para las epóxicas se observa en la pintura patrón un rango de 87° a 89.9°, en la pintura patrón no se evidencia un cambio de brillo mayor a 2°, es decir, al observar la lámina no se evidencia un cambio relevante si se mide cualitativamente, por ende, la importancia del instrumento usado. Una de

²³ ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIERIA, Archivos digitales. Pinturas. [Consultado en junio 20 de 2018]. Disponible en: <http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/pintura/pinturas.pdf>

las razones por las que el brillo en esta pintura patrón se mantiene constante es la cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan muy bien con el pigmento generando una adherencia permanente.

En el ensayo escogido se observa una tendencia de aumento en el brillo, la lámina al estar expuesta a las condiciones ultra violetas para el ensayo presenta comportamientos de brillo notorio. Para las láminas alquídicas el comportamiento es similar a las epóxicas, esto debido a las cadenas poliméricas de estas dos. Para detallar la información se observa la gráfica 16.

Gráfica 16. Valores de brillo para las láminas epóxicas y alquídicas.



En la gráfica 16 se observa la tendencia a permanecer constante para las pinturas epóxicas y alquídicas exceptuando el patrón Alquidico en tiempo 24 h que se explica más adelante, el brillo en estas pinturas demuestra un resultado apto para aplicar en exteriores ya que los rayos ultravioletas no generarán un cambio drástico en las aplicaciones. Para la aplicación de patrón Alquídico se observa una disminución de 5° en la segunda lectura 24 Horas, la razón de esta disminución es un error humano ya que al momento de realizar la lectura cayó una gota de ácido en una parte de la placa, generando exaltación en la lectura, se llega a esta conclusión ya que el cambio no fue en alta medida más de 6.25%, y con las demás lecturas se observa que debe estar en el mismo rango de las demás aplicaciones, es decir en 80 a 85°.

En la tabla 40 se observan los datos del brillo en las láminas Uretano y barnices, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas, en los barnices, la química es una pintura transparente en donde la cadena molecular no permite ver cambios a corto plazo.

Tabla 40. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz

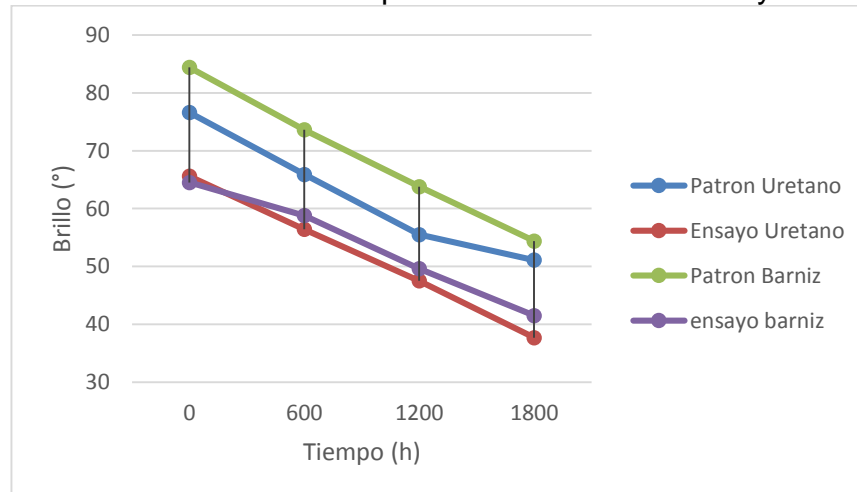
Tiempo (Horas)	Uretanos		Barnices	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	76.6	65.6	84.4	64.5
600	65.9	56.4	73.6	58.8
1200	55.5	47.5	63.8	49.6
1800	51.1	37.7	54.4	41.5

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 40 para la pintura uretano, se observa una tendencia a disminuir el brillo con el tiempo, para el ensayo y el patrón se presentó el mismo comportamiento, para estas pinturas de uretano se esperaba un comportamiento de brillo constante, ya que por su composición la química uretano se usa para exteriores por la permanencia de su brillo, en este caso la razón por la que haya disminuido el brillo fue el tiempo de curado que se tuvo para estas laminas, para la pintura uretano el tiempo de secado es mayor (15 días) a las demás químicas, por tiempos de producción se sometieron todas las láminas al tiempo en la cámara UV, por ende, el secado para esta lamina, no fue el mejor. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran un brillo apto para aplicar en exteriores ya que no bajo más de 30°, es decir, estuvo muy cercano al patrón.

Para las aplicaciones en barnices se observa un comportamiento similar a los uretanos, tiene tendencia a disminuir, pero la disminución no supera los 30°, es decir, es una buena aplicación para exteriores. Para una mejor observación de los datos expuestos se observa la gráfica 17.

Gráfica 17. Valores de brillo para las láminas uretanos y barnices.



En la gráfica 17 se observa la tendencia de disminución en el brillo de las aplicaciones, las 4 pinturas en este caso tienen el mismo comportamiento, un cambio no mayor a 30° presentan las 4 pinturas, sin embargo, el brillo que presentan las láminas son aptas para aplicación en exteriores.

3.3.1.2. Esfuerzo de color. Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.2), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 41 y 42.

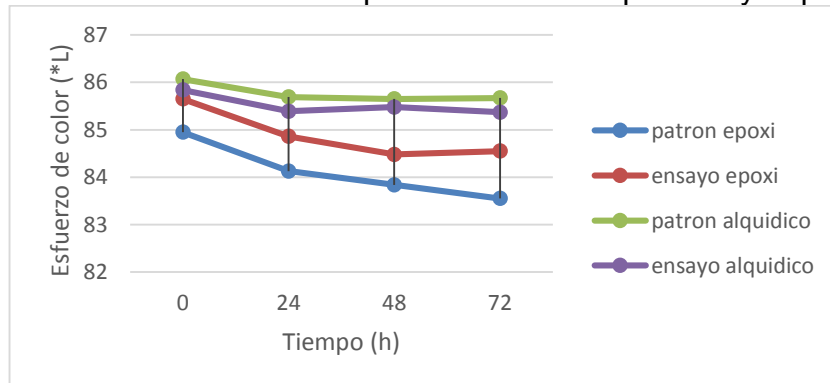
Tabla 41. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	84.95	85.65	86.07	85.84
24	84.13	84.86	85.69	85.39
48	83.84	84.48	85.65	85.48
72	83.55	84.55	85.67	85.37

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 41 se observan los datos que se obtuvo con las láminas para el esfuerzo de color cada 24 horas durante 72 horas, para las aplicaciones epóxicas patrón y ensayo escogido un comportamiento a mantener constante, en las 4 lecturas no hay una diferencia mayor a 1,5 *L entre ellas, lo que indica que la compatibilidad del ensayo escogido y la pasta patrón es apta para llevar el ensayo a aplicaciones exteriores por su cercanía de luminosidad en los resultados. Una de las razones por las que el esfuerzo de color en esta pintura patrón se mantiene constante es la cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan muy bien en con el pigmento generando una adherencia permanente. Para las aplicaciones alquídicas, se observa un comportamiento similar a las epóxicas, la diferencia entre las lecturas no supera 1 *L. En estas láminas el esfuerzo de color tiende a permanecer constante después de 24 horas como se observa en la gráfica 18.

Gráfica 18. Esfuerzo de color para las láminas epóxicas y alquídicas.



Como se observa en la gráfica 18 el esfuerzo de color en las láminas no varía en más de 1 *L, las tendencias de estos comportamientos tienden a permanecer constantes con el tiempo después de 24 horas, el esfuerzo de color en estas pinturas demuestra un resultado apto para aplicar en exteriores ya que los rayos ultravioletas no generaran un cambio drástico en las aplicaciones.

Se observa que en las aplicaciones de la pintura epóxica la disminución del esfuerzo de color es 0,5 *L mayor que la se presenta en las aplicaciones de la pintura alquídica, una razón por la que en las epóxicas se haya mantenido constante es por el peso molecular de las pinturas epóxicas, que son mayor a la de las alquídicas, generando una mayor protección en las aplicaciones.

Para la tabla 42 se observan los datos del esfuerzo de color en las láminas Uretano, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas.

Tabla 42. Esfuerzo de color de las láminas Uretano
Uretanos

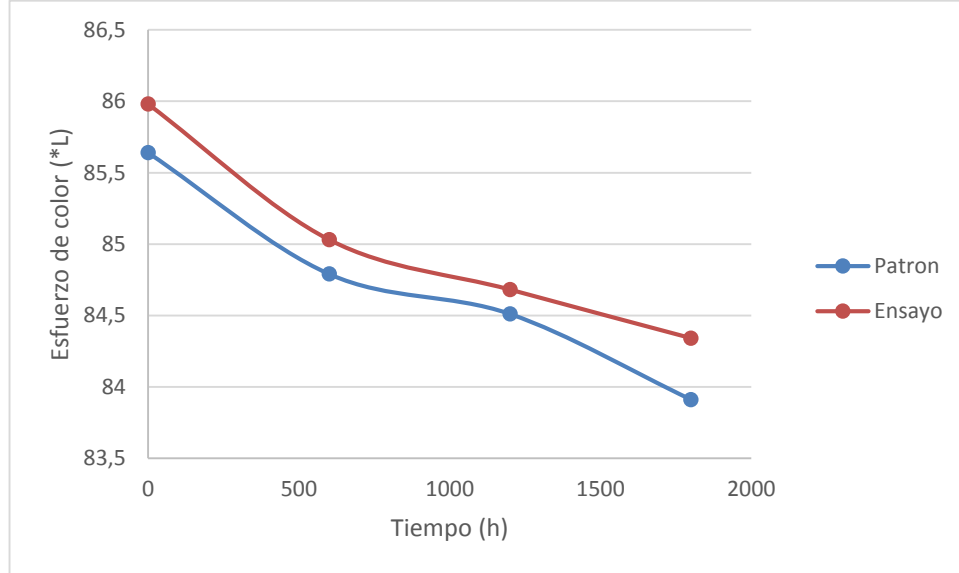
Tiempo (Horas)	Patrón	Ensayo
0	85.64	85.98
600	84.79	85.03
1200	84.51	84.68
1800	83.91	84.34

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 42 para la pintura uretano, se observa una tendencia a disminuir el esfuerzo de color con el tiempo, para el ensayo y el patrón se presentó el mismo comportamiento, sin embargo, la disminución presentada no supera 2 *L, es decir, para estas aplicaciones la luminosidad se mantiene intacta al estar en exposición de los rayos ultravioleta, lo que genera un buen resultado ya que al ser aplicada en exteriores estas pinturas no van a perder su color al pasar el tiempo. En la gráfica 19 se representa los valores expuestos anteriormente.

Para este caso no se leyó el esfuerzo de color de las aplicaciones barnices ya que con la base transparente no se iba a obtener una respuesta para poder comparar la compatibilidad con la química, el resultado del esfuerzo de color iba a ser el mismo de la pasta pigmentaria sin la mezcla del barniz, ya que la función de este es proteger el color de las pinturas.

Grafica 19. Valores de esfuerzo de color para las láminas uretanos.



En la gráfica 19 se observa la tendencia de disminución en el esfuerzo de color de las aplicaciones, el cambio no supera los 2 *L, estos valores fueron positivos indicando que el color tiende a oscurecerse, ganando color en la aplicación.

3.3.2. Naranja Molibdeno. En esta parte del proceso no se observó flotación de las partículas de pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación, se observó una capa uniforme en la lámina.

3.3.2.1. Brillo. Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.1), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 43 y 44.

Tabla 43. Brillo de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

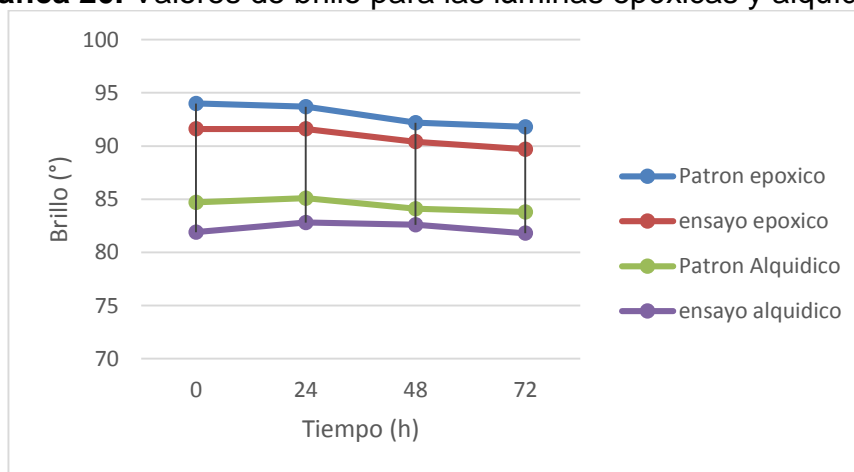
Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	94	91.6	84.7	81.9
24	93.7	91.6	85.1	82.8
48	92.2	90.4	84.1	82.6
72	91.8	89.7	83.8	81.8

En la tabla 43 se observa el brillo que se le midió a las láminas metálicas del naranja molibdeno cada 24 horas durante 72 horas, para las epóxicas se observa en la pintura patrón un rango de 91° a 94° evidenciando un cambio no mayor a 2.5°, es decir, al observar la lámina no se evidencia un cambio relevante si se mide cualitativamente, por ende, la importancia del instrumento usado. Una de las razones por las que el brillo en esta pintura patrón se mantiene constante es la

cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan muy bien en con el pigmento generando una adherencia permanente. El ensayo epóxico presenta un comportamiento similar al patrón, la diferencia para este caso, es la disminución del brillo, no supera los 2°, sin embargo, la diferencia no es alta (0,5°), lo que indica que para la química epóxica el ensayo es muy compatible con la pasta pigmentaria patrón.

Para las láminas alquídicas el comportamiento es similar a las epóxicas, esto debido a las cadenas poliméricas de estas dos. Para detallar la información se observa la gráfica 20.

Gráfica 20. Valores de brillo para las láminas epóxicas y alquídicas



En la gráfica 20 se observa la tendencia a permanecer constante para las 4 pinturas, el brillo en estas pinturas demuestra un resultado apto para aplicar en exteriores ya que los rayos ultravioletas no generaran un cambio drástico en las aplicaciones.

En la tabla 44 se observan los datos del brillo en las láminas Uretano y barnices, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas, en los barnices, la química es una pintura transparente en donde la cadena molecular no permite ver cambios a corto plazo.

Tabla 44. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz

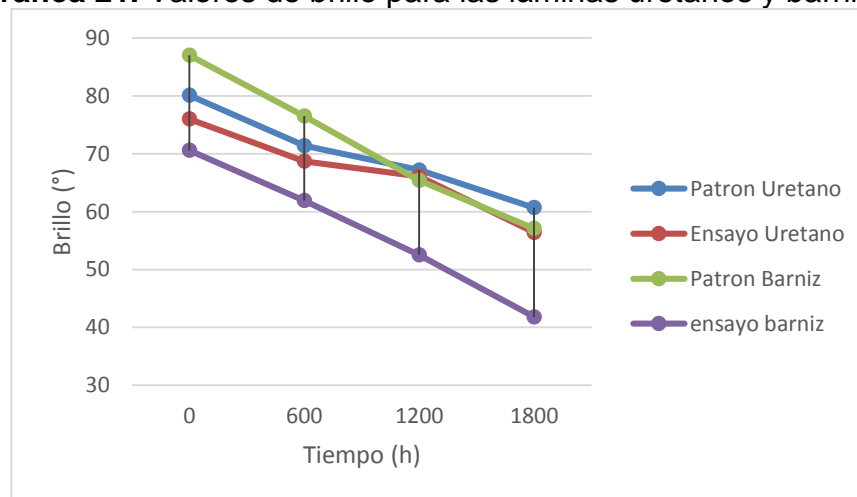
Tiempo (Horas)	Uretanos		Barnices	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	80.1	76	87	70.6
600	71.4	68.7	76.5	61.9
1200	67.2	66.1	65.4	52.5
1800	60.7	56.4	57.1	41.8

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 44 para la pintura uretano, se observa una tendencia a disminuir el brillo con el tiempo, para el ensayo y el patrón se presentó el mismo comportamiento, para estas pinturas de uretano se esperaba un comportamiento de brillo constante, ya que por su composición la química uretano se usa para exteriores por la permanencia de su brillo, en este caso la razón por la que haya disminuido el brillo fue el tiempo de curado que se tuvo para estas laminas, para la pintura uretano el tiempo de secado es mayor a las demás químicas, por tiempos de producción se sometieron todas las láminas al tiempo en la cámara UV, por ende, el secado para esta lamina, no fue el mejor. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran un brillo apto para aplicar en exteriores ya que no bajo más de 20°. El obtener el mismo comportamiento en el patrón y el ensayo indica que la compatibilidad de la pasta escogida con la pasta patrón es la ideal para poder llevar a cabo la solución del trabajo.

Para las aplicaciones en barnices se observa un comportamiento parecido a los uretanos, tiene tendencia a disminuir, con la diferencia que en los barnices la disminución no supera los 30°, es decir, es una buena aplicación para exteriores. Para una mejor observación de los datos expuestos se observa la gráfica 21.

Grafica 21. Valores de brillo para las láminas uretanos y barnices



En la gráfica 21 se observa la tendencia de disminución en el brillo de las aplicaciones, para el barniz se observa en el rango de tiempo de 600 a 1200 horas, una tendencia a mantenerse constante, ya que por las propiedades de este esmalte protege la pintura para que las condiciones externas no afecten la aplicación. Para las aplicaciones de uretano se observa la tendencia a disminuir en cada ensayo, sin embargo, está en buenas condiciones para ser aplicada en exteriores.

3.3.2.2. Esfuerzo de color. Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.2), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 45 y 46.

Tabla 45. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

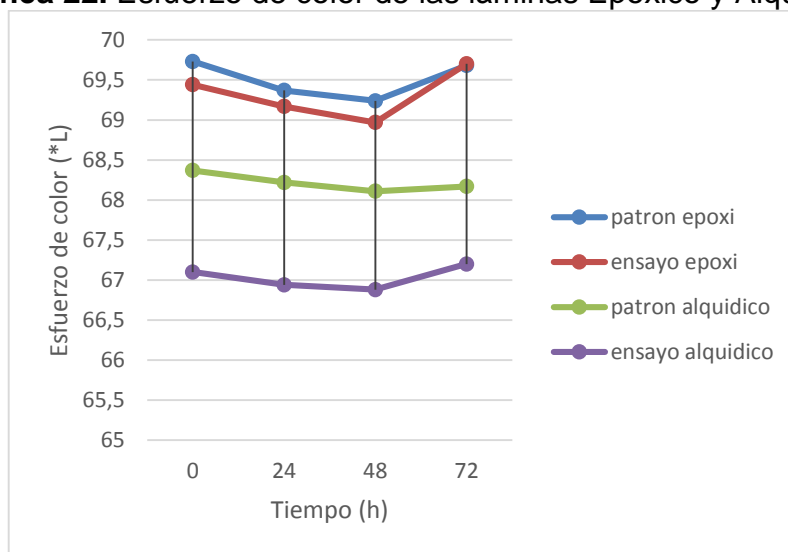
Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	69.73	69.44	68.37	67.1
24	69.37	69.17	68.22	66.94
48	69.24	68.97	68.11	66.88
72	69.68	69.7	68.17	67.2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 45 se observan los datos que se obtuvo con las láminas para el esfuerzo de color cada 24 horas durante 72 horas. Para las aplicaciones epóxicas patrón y ensayo escogido se observa un comportamiento constante, en las 4 lecturas el valor *L para estas laminas están en 69, exceptuando la lectura de 48 horas para el ensayo epóxico que está en 68.97, sin embargo, es muy cercano al 69, lo que indica que la compatibilidad del ensayo escogido y la pasta patrón es apta para llevar el ensayo a aplicaciones exteriores. Una de las razones por las que el esfuerzo de color en esta pintura patrón se mantiene constante es la cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan con el pigmento generando una adherencia permanente.

Para las aplicaciones alquídicas, se observa un comportamiento similar a las epóxicas, la diferencia es que para la lectura en las horas 24 y 48 el esfuerzo de color disminuyo en 0.5 *L, no obstante, este valor no es significativo para la luminosidad de las pastas. En estas láminas el esfuerzo de color tiende a permanecer constante como se observa en la gráfica 22.

Grafica 22. Esfuerzo de color de las láminas Epoxico y Alquidico



Como se observa en la gráfica 22 el esfuerzo de color en las láminas epóxicas están muy cercanas, sus valores no varían en más de 1 *L, lo que indica una buena compatibilidad entre la pasta escogida y el patrón, las tendencias de estos comportamientos tienden a permanecer constantes con el tiempo, el esfuerzo de color en estas pinturas demuestra un resultado apto para aplicar en exteriores ya que los rayos ultravioletas no generaran un cambio drástico en las aplicaciones.

Para las aplicaciones alquídicas se observa una diferencia entre patrón y ensayo no mayor a 2 *L, sin embargo, el comportamiento de cada pintura tiende a mantenerse constante.

Para la tabla 46 se observan los datos del esfuerzo de color en las láminas Uretano, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas.

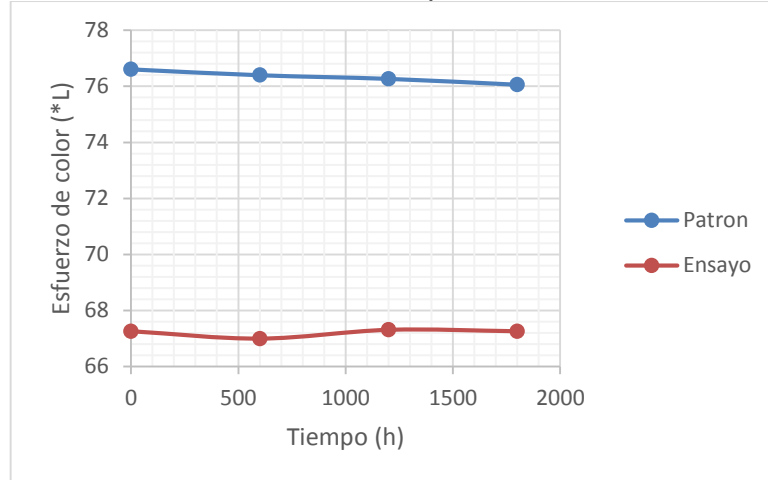
Tabla 46. Esfuerzo de color de las láminas Uretano

Uretanos		
Tiempo (Horas)	Patrón	Ensayo
0	76.61	67.26
600	76.4	67
1200	76.27	67.31
1800	76.06	67.26

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 46 para la pintura uretano, se observa que el valor está en el mismo rango para cada uno, en el patrón se mantiene en 76 y en el ensayo se mantiene en 67, es decir, para estas aplicaciones la luminosidad se mantiene intacta al estar en exposición de los rayos ultravioleta, lo que genera un buen resultado ya que al ser aplicada en exteriores estas pinturas no van a perder su color al pasar el tiempo. En la gráfica 23 se representa los valores expuestos anteriormente.

Gráfica 23. Esfuerzo de color para las láminas uretanos



En la gráfica 23 se observa la tendencia de mantenerse constante el esfuerzo de color, sin embargo, se observa una diferencia de 8 escalas en el eje *L entre las dos pinturas, no es un valor que supere 10 escalas, indicando buena compatibilidad entre la pasta escogida y el patrón de planta, estos valores fueron positivos indicando que el color no pierde sus propiedades con las exposiciones a UV.

Para este caso no se leyó el esfuerzo de color de las aplicaciones barnices ya que con la base transparente no se iba a obtener una respuesta para poder comparar la compatibilidad con la química, el resultado del esfuerzo de color iba a ser el mismo de la pasta pigmentaria sin la mezcla del barniz, ya que la función de este es proteger el color de las pinturas.

3.3.3. Verde Gnx. En esta parte del proceso no se observó flotación de las partículas de pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación, se observó una capa uniforme en la lámina.

3.3.3.1. Brillo. Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.1), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 47 y 48.

Tabla 47. Brillo de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

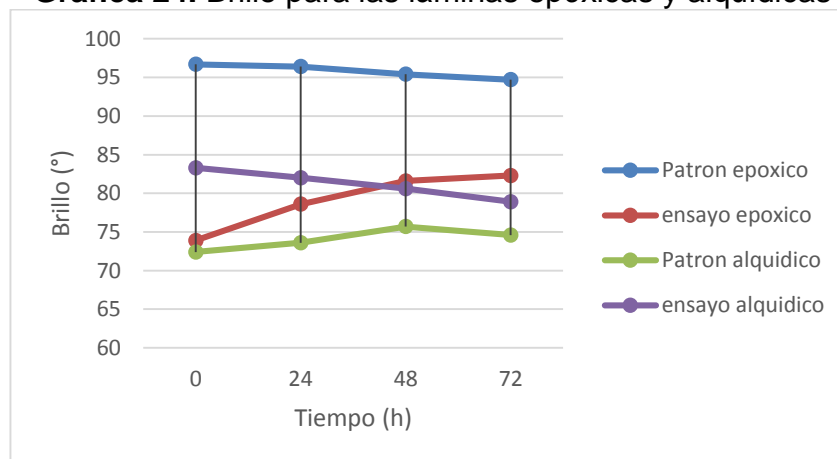
Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	96.7	73.9	72.4	83.3
24	96.4	78.6	73.6	82
48	95.4	81.6	75.7	80.6
72	94.7	82.3	74.6	78.9

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 47 se observa el brillo que se le midió a las láminas metálicas del verde gnx cada 24 horas durante 72 horas, para las epóxicas se observa en la pintura patrón un rango de 94° a 96° evidenciando un cambio no mayor a 2°, es decir, al observar la lámina no se evidencia un cambio relevante si se mide cualitativamente, por ende, la importancia del instrumento usado. Una de las razones por las que el brillo en esta pintura patrón se mantiene constante es la cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan muy bien en con el pigmento generando una adherencia permanente. Para el ensayo epóxico a diferencia del patrón se observa un aumento en el brillo, ese aumento de 8.4° una razón de este comportamiento es la relación de pigmento-dispersante que tiene la pasta escogida, sin embargo, es un buen indicio, ya que la pintura no tendrá resultados aptos visualmente.

Para las láminas alquídicas se observa en la pintura patrón una tendencia de aumento en el brillo, contrario a las láminas del ensayo escogido, que tienden a disminuir el brillo. Para detallar la información se observa la gráfica 24.

Gráfica 24. Brillo para las láminas epóxicas y alquídicas



En la gráfica 24 se observa la tendencia a permanecer constante para los patrones de cada química, en los ensayos se observa que para la pintura epoxica el brillo aumenta y para la pintura alquídica el brillo disminuye, sin embargo, la disminución

no supera los 5° para el Alquidico, resultado óptimo para las aplicaciones en exteriores.

En la tabla 48 se observan los datos del brillo en las láminas Uretano y barnices, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas, en los barnices, la química es una pintura transparente en donde la cadena molecular no permite ver cambios a corto plazo.

Tabla 48. Brillo de las láminas metálicas para uretano y barniz

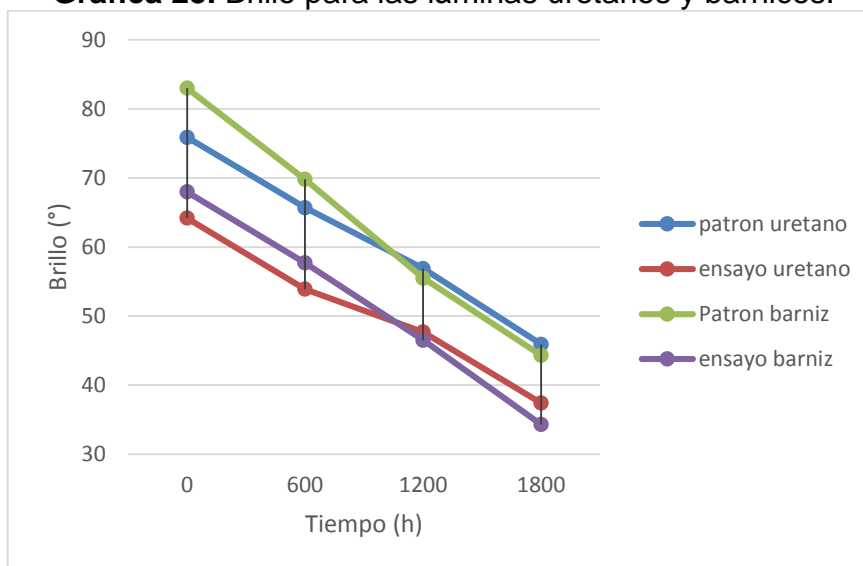
Tiempo (Horas)	Uretanos		Barnices	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	75.9	64.2	83	68
600	65.7	53.9	69.8	57.7
1200	56.9	47.7	55.5	46.5
1800	45.9	37.4	44.3	34.3

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 48 para la pintura uretano, se observa una tendencia a disminuir el brillo con el tiempo, para el ensayo y el patrón se presentó el mismo comportamiento, para estas pinturas de uretano se esperaba un comportamiento de brillo constante, ya que por su composición la química uretano se usa para exteriores por la permanencia de su brillo, en este caso la razón por la que haya disminuido el brillo fue el tiempo de curado que se tuvo para estas laminas, para la pintura uretano el tiempo de secado es mayor a las demás químicas, por tiempos de producción se sometieron todas las láminas al tiempo en la cámara UV, por ende, el secado para esta lamina, no fue el mejor. Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran un brillo apto para aplicar en exteriores ya que no bajo más de 30°. El obtener el mismo comportamiento en el patrón y el ensayo indica que la compatibilidad de la pasta escogida con la pasta patrón es la ideal para poder llevar a cabo la solución del trabajo.

Para las aplicaciones en barnices se observa un comportamiento parecido a los uretanos, tiene tendencia a disminuir, con la diferencia que en los barnices la disminución no supera los 40°, es decir, es una buena aplicación para exteriores. Para una mejor observación de los datos expuestos se observa la gráfica 25.

Grafica 25. Brillo para las láminas uretanos y barnices.



En la gráfica 25 se observa la tendencia de disminución en el brillo de las aplicaciones, las 4 pinturas en este caso tienen el mismo comportamiento, un cambio no mayor a 40° presentan las 4 pinturas, sin embargo, el brillo que presentan las láminas son aptas para aplicación en exteriores.

3.3.3.2. Esfuerzo de color. Después de dejar las láminas en la cámara UV, se procede a leer los datos del brillo (descrito en numeral 2.4.3.2), obteniendo como resultados los datos mostrados en la tabla 49 y 50.

Tabla 49. Esfuerzo de color de las láminas metálicas para Epóxico y Alquídico

Tiempo (Horas)	Epóxico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	66.03	66.41	68.23	67.62
24	65.59	65.98	68.34	67.15
48	65.43	65.59	68.32	67.14
72	66.08	66.33	68.23	66.75

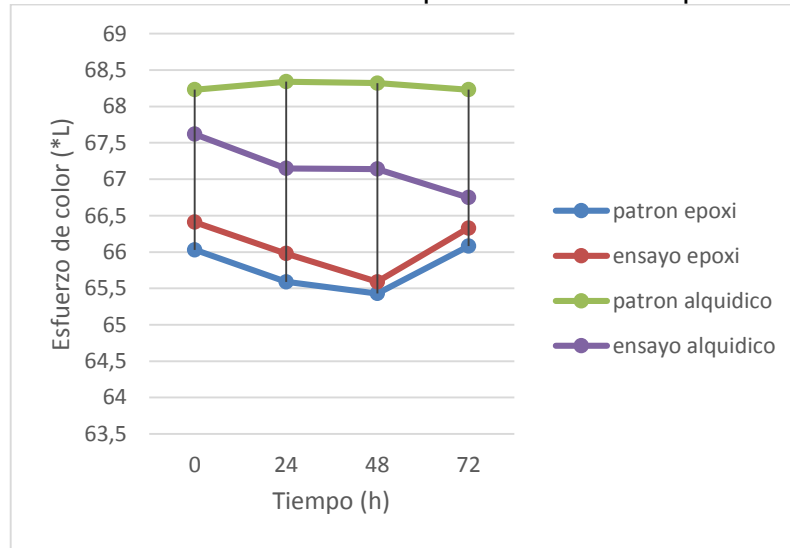
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 49 se observan los datos que se obtuvieron con las láminas para el esfuerzo de color cada 24 horas durante 72 horas, para las aplicaciones epóxicas patrón y ensayo escogido hay un comportamiento a mantener constante, en las 4 lecturas no hay una diferencia mayor a 1,0 *L entre ellas, lo que indica que la compatibilidad del ensayo escogido y la pasta patrón es apta para llevar el ensayo a aplicaciones exteriores. Una de las razones por las que el esfuerzo de color en esta pintura patrón se mantiene constante es la cantidad de dispersante que tiene la mezcla, las partículas se dispersan muy bien en con el pigmento generando una

adherencia permanente.

Para las aplicaciones alquídicas, se observa un comportamiento similar a las epóxicas. En estas láminas el esfuerzo de color tiende a permanecer constante como se observa en la gráfica 26.

Grafica 26. Valores de esfuerzo de color para las láminas epóxicas y alquídicas.



Como se observa en la gráfica 26 el esfuerzo de color en las láminas no varía en más de 1 *L, las tendencias de estos comportamientos tienden a permanecer constantes con el tiempo, el esfuerzo de color en estas pinturas demuestra un resultado apto para aplicar en exteriores ya que los rayos ultravioletas no generaran un cambio drástico en las aplicaciones.

Se observa que en las aplicaciones de la pintura epoxica la disminución del esfuerzo de color es 0,5 *L hasta la lectura de 48 horas, después se observa un aumento del esfuerzo de color, indicando buen comportamiento ante los rayos UV. Para las pinturas alquídicas la diferencia entre ellas no supera los 2 niveles en el eje *L, indicando buena compatibilidad entre el ensayo y el patrón.

Para la tabla 50 se observan los datos del esfuerzo de color en las láminas Uretano, en estas láminas por la cadena polimérica de la química uretano, el tiempo para que las condiciones de rayos UV afecten la pintura se prolonga, por ende, la lectura cada 600 horas.

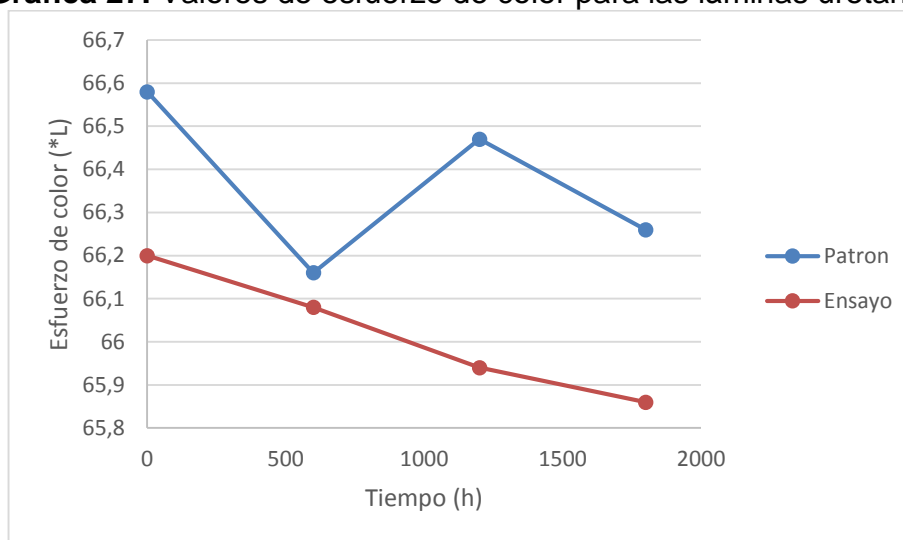
Tabla 50. Esfuerzo de color de las láminas Uretano
Uretanos

Tiempo (Horas)	Patrón	Ensayo
0	66.58	66.2
600	66.16	66.08
1200	66.47	65.94
1800	66.26	65.86

Fuente: elaboración propia.

En los datos que se observan en la tabla 50 para la pintura uretano, se observa que el valor está en el mismo rango para cada uno, en el patrón se mantiene en 66 y en el ensayo esta de 65 a 66, es decir, para estas aplicaciones la luminosidad se mantiene intacta al estar en exposición de los rayos ultravioleta, lo que genera un buen resultado ya que al ser aplicada en exteriores estas pinturas no van a perder su color al pasar el tiempo. En la gráfica 27 se representa los valores expuestos anteriormente.

Gráfica 27. Valores de esfuerzo de color para las láminas uretanos



En la gráfica 27 se observa la tendencia de disminuir el esfuerzo de color, sin embargo, el rango no supera 1 nivel, por lo que se puede indicar que la luminosidad es constante durante el tiempo, en los dos casos por tener los mismos comportamientos indican buena compatibilidad entre la pasta escogida y el patrón de planta, estos valores fueron positivos indicando que el color no pierde sus propiedades con las exposiciones a UV.

Para este caso no se leyó el esfuerzo de color de las aplicaciones barnices ya que con la base transparente no se iba a obtener una respuesta para poder comparar la compatibilidad con la química, el resultado del esfuerzo de color iba a ser el mismo

de la pasta pigmentaria sin la mezcla del barniz, ya que la función de este es proteger el color de las pinturas.

4. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se calcularán los costos para la realización de la pintura, contando la pasta pigmentaria, el costo del equipo para la operación, el costo de la materia prima para finalmente comparar el costo con el costo actual de las pastas pigmentarias desarrolladas en la empresa de trabajo.

Se iniciará evaluando los costos de la materia prima para la ejecución de la pasta pigmentaria para luego analizar los costos energéticos, incluyendo en este la energía del equipo de molienda y chiller (equipo refrigerante) y la carga de Circonio para la operación de molienda en las pastas pigmentarias. Cabe resaltar que los costos presentados a lo largo del capítulo son aproximados.

4.1. COSTO PASTA PIGMENTARIA

Para empezar, se evidencian en la tabla 48 los costos de la materia prima por kilogramo para la realización de las pastas pigmentarias en la ejecución del primer objetivo por color.

Tabla 51. Costo de materia para las pastas pigmentarias

Materia prima	\$ kg
Pigmento Amarillo Cromo	\$ 17,000
Pigmento Naranja Molibdeno	\$ 27,000
Pigmento Verde Gnx	\$ 71,000
Dispersante	\$ 74,000
Vehículo	\$ 5,500
GGF	\$ 5,000

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 51 se observa el costo de cada implemento para lograr una pasta pigmentaria, este costo es por kilogramo de cada elemento (suministrados por la empresa en donde se realizó el trabajo), como ya se mencionó anteriormente, son valores aproximados ya que representan la experimentación hecha en el laboratorio de la empresa y por norma interna no se evidencian los valores exactos. El valor GGF se refiere al gasto general de fabricación, en donde se cuenta por kg el costo de servicios públicos, mano de obra directa e indirecta y energía o uso de equipos usados.

4.1.1. Amarillo Cromo. Para la pasta amarillo cromo se evidencia en la tabla 49 la cantidad de cada materia prima para la pasta escogida en el transcurso del documento, y el costo que tiene cada una. Recordando que las pastas pigmentarias tienen como base 1 kg. Esto se realizó multiplicando la cantidad de cada materia prima por el precio de esta en la tabla 52.

Tabla 52. Costo de materia prima para el amarillo Cromo

Materia prima	Cantidad (kg)	\$ kg
Pigmento Amarillo Cromo	0.65	\$ 11,050
Dispersante	0.115	\$ 8,510
Vehículo	0.235	\$ 1,292.5
GGF		\$ 5,000
	Total	\$ 25,852.5

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la ejecución del proyecto y la finalidad de este se realiza el análisis de costos de la pasta escogida AM-1, siendo la que presenta las mejores condiciones para la aplicabilidad de las pinturas, en la tabla 52 se observa la suma de \$25852.5 para cada kg de pasta pigmentaria.

4.1.2. Naranja Molibdeno. Para naranja molibdeno se evidencia en la tabla 50 la cantidad de cada materia prima para la pasta escogida en el transcurso del documento, y el costo que tiene cada una. Recordando que las pastas pigmentarias tienen como base 1 kg. Esto se realizó multiplicando la cantidad de cada materia prima por el precio de esta en la tabla 53.

Tabla 53. Costo de materia prima para el naranja molibdeno

Materia prima	Cantidad (kg)	\$ kg
Pigmento Naranja Molibdeno	0.65	\$ 17,550
Dispersante	0.039	\$ 2,886
Vehículo	0.311	\$ 1,710.5
GGF		\$ 5,000
	Total	\$ 27,146.5

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la ejecución del proyecto y la finalidad de este se realiza el análisis de costos de la pasta escogida NA-3, siendo la que presenta las mejores condiciones para la aplicabilidad de las pinturas con una suma de \$27146.5 para cada Kilogramo de pasta pigmentaria.

4.1.3. Verde Gnx. Para verde gnx se evidencia en la tabla 51 la cantidad de cada materia prima para la pasta escogida en el transcurso del documento, y el costo que tiene cada una. Recordando que las pastas pigmentarias tienen como base 1 kg. Esto se realizó multiplicando la cantidad de cada materia prima por el precio de esta en la tabla 54.

Tabla 54. Costo de materia prima para el verde gnx

Materia prima	Cantidad (kg)	\$ kg
Pigmento Verde Gnx	0.26	\$ 18,460
Dispersante	0.104	\$ 7,696
Vehículo	0.636	\$ 3,498
GGF		\$ 5,000
	Total	\$ 34,654

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta la ejecución del proyecto y la finalidad de este se realiza el análisis de costos de la pasta escogida VE-7, siendo la que presenta las mejores condiciones para la aplicabilidad de las pinturas, con una suma de \$34654 para cada Kilogramo de pasta pigmentaria.

4.2. COSTO CARGA CIRCONIO

Las micro-esferas de circonio son usadas en el proceso de molienda para el cizallamiento entre las partículas del pigmento y el dispersante, en las pastas pigmentarias la relación debe ser 1:1 con la mezcla, es decir para este caso se agregó 1 kg de micro-esferas, ya que la pasta contaba con 1 kg de mezcla. El costo de este se encuentra en 30 dólares el kg, en pesos colombianos esta aproximadamente en \$85000. Cabe resaltar que el costo en el proceso es aproximado ya que las esferas se consumen durante el proceso.

4.3. COSTO ENERGÉTICO

Se calculará el costo energético de los equipos requeridos para este proyecto, en el proceso de molienda se utilizó el Molino y el chiller, este costo será en kW-h para cada uno. En la tabla 55 se observan los datos de cada instrumento.

Tabla 55. Datos de potencia de los instrumentos

Elemento	Potencia (HP)	Potencia en kW
Bomba 1	0.5	0.37285
Bomba 2	0.5	0.37285
Bomba 3	0.5	0.37285
Enfriador		6
Agitador Cowles	0.75	0.559275

Fuente: elaboración propia

En la tabla 55 se observan 3 bombas y un enfriador, partes para el funcionamiento del chiller, y el agitador cowles, el instrumento para el molino. La información de potencia se suministra en caballos de fuerza (HP), para realizar la conversión se

multiplico por 0.7457 kW que corresponde a un HP. Estos valores fueron tomados de las placas de información de cada equipo en el laboratorio de la empresa.

Para el cálculo en kW-h se toma el tiempo invertido para cada pasta, el cual fue 30 minutos, por la potencia de cada instrumento en kW, como se observa en la tabla 53. Con la suma obtenida se procede a calcular costo de energía por cada pasta pigmentaria (ver ecuación 5) multiplicándolo por la tarifa de energía eléctrica en \$/kW-h (ver anexo xx), esta tarifa es tomada por la comisión de regulación de energía y gas (CREG) de junio de 2017. Estos valores se renuevan anualmente.

Tabla 56. Cálculo del consumo eléctrico.

Elemento	Potencia en kW	Tiempo de uso (H)	Energía consumida (kW-h)
Bomba 1	0.37285	0.5	0.186425
Bomba 2	0.37285	0.5	0.186425
Bomba 3	0.37285	0.5	0.186425
Enfriador	6	0.5	3
Agitador Cowles	0.559275	0.5	0.2796375
Total			3.8389125

Fuente: elaboración propia.

Ecuación 7. Ecuación calculo energético

$$\text{Costo energetico} = \text{Valor kWh} * \sum \text{Energia consumida kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo energetico} &= \$483.3622/\text{kWh} * 3.8389 \text{ kWh} \\ \text{Costo energetico} &= \$1855.59 \end{aligned}$$

En la ecuación 5 se observa el precio energético que tiene la producción de una pasta pigmentaria, el costo de los elementos se basó en los datos suministrados por codensa (Ver anexo E), sin embargo, los rangos de estos datos pueden variar al cambiar de instrumentos o de empresa, ya que la tarifa de energía eléctrica varia el tipo de industria y lugar de establecimiento.

4.4. COMPARACIÓN CON PRECIOS DE PLANTA

Para realizar la comparación de las pastas pigmentarias realizadas y escogidas a lo largo del proyecto con las pastas patrón, se detalla en la tabla 57 el porcentaje de pigmento que se adiciona en cada pintura, para simplificar los datos y tener un dato cercano a lo real se promedia el porcentaje de las pastas patrón.

Tabla 57. Porcentaje de pigmento en cada química de pintura.

Química	Amarillo Cromo	Naranja Molibdeno	Verde Gnx
Alquidico	39%	24%	14%
Uretano	27%	27%	12%
Epoxico	36%	24%	15.70%
Promedio	34%	25%	14%
Ensayo	65%	65%	26%

Fuente: elaboración propia.

Los costos de producción se comparan obteniendo los datos de la producción anual de las pastas pigmentarias, cantidad de pigmento, el tiempo de molienda y el costo de producción. Las pastas se concentran en el porcentaje de pigmento, por ser la materia prima con mayor cantidad en la mezcla, se calcula aproximadamente que la cantidad de pigmento necesaria para la producción es la mitad con respecto a las pastas que se producen en la empresa actualmente. Esta producción se demuestra anualmente en la tabla 58, en donde también se muestra el tiempo de molienda, al igual que con las pastas, al obtener las concentraciones mayores a las de los patrones el tiempo se reduce en 15 minutos.

Tabla 58. Comparación de la producción de pastas

	Producción Anual (kg)	% pigmento	Cantidad de Pigmento	Tiempo Molienda (h)	Costo Producción
Amarillo Cromo					
Patrón	6000	34	2040	900	\$ 30,000,000.00
Ensayo	3000	65	1950	450	\$ 15,000,000.00
Naranja Molibdeno					
Patrón	9000	25	2250	1350	\$ 45,000,000.00
Ensayo	4500	65	2925	675	\$ 22,500,000.00
Verde GNX					
Patrón	13000	14	1820	1950	\$ 65,000,000.00
Ensayo	6500	26	1690	975	\$ 32,500,000.00

Fuente: elaboración propia.

En las ecuaciones 6, 7 y 8 se detallará el cálculo que se realizó para obtener la tabla 58. Teniendo en cuenta que el valor GGF es de \$5000 nombrado en el numeral 4.1

Ecuación 8. cantidad de pigmento

$$\text{Cantidad de pigmento} = \frac{\% \text{ pigmento} * \text{Producción anual}}{100}$$

Ecuación 9. Tiempo de molienda

$$\text{Tiempo de molienda} = \frac{\text{Produccion anual} * 15}{100}$$

Ecuación 10. Costo producción

$$\text{Costo producción} = \text{Producción Anual} * \text{GGF}$$

En la tabla 58 se observa el costo de producción anual de las pastas patrón y ensayo, para los tres pigmentos trabajados en el proyecto el valor es la mitad de concentración de las pastas patrón, esto debido a que la concentración utilizada en la experimentación fue la mitad, a lo largo del proyecto se observó la compatibilidad que tuvieron, ya que el objetivo se basa en encontrar una pasta que sea compatible a la patrón y con el análisis de costos observar si puede ser reemplazada, ya que se requiere disminuir costos en un 50%, movimientos y tiempos de producción.

5. CONCLUSIONES

- Para la pasta Amarillo Cromo se observó que el pigmento utilizado tiene un comportamiento aglomerante, con facilidad para ser mezclado y con una manejabilidad apta para ser aplicada en las láminas o en exteriores, para este pigmento la tonalidad tiende a mantenerse constante luego de pasar por temperatura de 60°, es decir, su colorimetría es de larga duración. El comportamiento del ensayo AM-3 con 65% de pigmento y 5% de dispersante tiene los valores cercanos al resultado de una pintura según el diseño de experimentos.
- En el caso de naranja molibdeno, se presentó un comportamiento muy similar al amarillo cromo, ya que, por ser pigmentos orgánicos, facilita su mezclado, permitiendo una manipulación adecuada para la lectura de las variables correspondientes, el tamaño de partícula tiende a mantenerse constante, pero si se usa un porcentaje de pigmento de 83%, la pasta no sería adecuada para aplicaciones ya que se sedimenta en el envase. Al comparar el ensayo NA-1 con 65% de pigmento y 18% de dispersante, que fue el escogido, con las respuestas del diseño de experimentos, se observa una diferencia de 90 cP en la viscosidad, esta es una diferencia que está en el rango para ser aplicada.
- Para el verde gn_x al ser orgánico, se observa un pigmento muy volátil por su composición resulta ser un producto con difícil manejo para el mezclado por lo que el tiempo para llegar al tamaño de partícula ideal es mayor comparado a los pigmentos inorgánicos. En los ensayos VE-1 al VE-6 se observa sedimentación en el fondo del envase por la alta viscosidad (1000Cp) que tenían estos ensayos. En cambio, para la luminosidad se observa un comportamiento a mantenerse constante, el esfuerzo de color en estas pastas se concentra en la mezcla, generando que la tonalidad permanezca igual durante un largo tiempo pasando por altas temperaturas (60°). Finalmente, al comparar los resultados del ensayo escogido (VE-3) y el diseño de experimentos se evidencian valores cercanos, lo que genera confianza para escoger las concentraciones de 30% de pigmento y 26% de dispersante.
- En el proceso de molienda, se observa una tendencia a permanecer constante de la finura de molienda, con lo que se analiza que para este proceso, la velocidad del rotor y la carga de circonio, no afectan en grandes cantidades (mayor a 0.5H) el tamaño de partícula, aspecto, en la viscosidad se observa un aumento de la viscosidad a medida que se cambian las variables, lo que quiere decir, que a medida que disminuya la cantidad de circonio, la pasta que se obtiene es de aspecto pesado, con poca fluidez, esto debido a que la fuerza de cizallamiento entre las partículas del pigmento

y las micro esferas de circonio, disminuye, impidiendo un proceso de molienda para una pasta fluida. Para el esfuerzo de color se observó la constancia de la luminosidad, similar al comportamiento de la partícula de finura. En el resultado del diseño de experimentos se observó que los valores del comportamiento codificado y el real son muy cercanos, no mayores a 200 cP y un nivel en el eje del esfuerzo de color *L. Al ser una pasta volátil los resultados son aptos para aplicación a exteriores ya que el esfuerzo de color se mantiene constante, o no disminuye.

- Luego de la aplicación en láminas de las pastas escogidas se observa que en el esfuerzo de color y el brillo el comportamiento es similar a las pastas patrón, sin embargo, de los tres colores se presenta mayor compatibilidad con el pigmento Naranja Molibdeno. Al analizar el brillo, las diferencias no superan los 5°, en cambio, para el pigmento orgánico verde gnx si hay diferencia de 10°. En el esfuerzo de color, el comportamiento fue igual, la mejor compatibilidad se obtuvo con el naranja molibdeno, con una diferencia entre patrón y ensayo no mayor a 2 niveles en el eje *L.
- De acuerdo al análisis de costos la disminución que se presentó fue a la mitad de los ensayos respecto a las pastas patrón, debido a que la concentración de los patrones son 2 veces la concentración de los ensayos, al ver que sus comportamientos son similares, se puede reemplazar las concentraciones por las de los ensayos escogidos reduciendo costos.

6. RECOMENDACIONES

- Para el proceso de molienda se recomienda realizar replicas para la cantidad de micro-esferas de Circonio, ya que no se obtuvo un valor de incertidumbre para la lectura y confirmación de todos los datos.
- En la ejecución de la experimentación al medir las viscosidades se tuvo la temperatura ambiente como base, se recomienda realizar ensayos midiendo la temperatura al momento de medir la variable de viscosidad ya que es un factor que modifica la viscosidad.
- Realizar más ensayos con el pigmento verde gn_x, con concentraciones más altas de 30% de pigmento, ya que los valores de viscosidad para este pigmento varían mucho.
- En los resultados obtenidos del amarillo cromo en la gráfica de contorno se observa que el color se desarrollaba en los valores mayores a 89, se recomienda realizar ensayos con menor cantidad de 65% de pigmento y variar la concentración de dispersante.
- Para los ensayos del verde gn_x se recomienda realizar ensayos con porcentaje de dispersante menor al valor -1, es decir, menor a 26% y con porcentaje de pigmento entre 28 y 30%, ya que es la zona en donde se evidencia un mayor esfuerzo de color.
- Al momento de realizar la aplicación en las láminas, se recomienda dejar el tiempo de secado y curado para los ensayos uretanos mayor a 24 horas para realizar una evaluación del producto adecuado.
- Para el equipo de planta se recomienda evaluar los tiempos de producción, la utilización del molino y chiller, ya que se puede generar un ahorro de energía.
- Trabajar con pigmentos orgánicos e inorgánicos en diferentes investigaciones, ya que los comportamientos son inversamente proporcionales entre si y no genera comparaciones entre ellos.

BIBLIOGRAFIA

ALONSO Felipe, José Vicente. pinturas, barnices y afines: Composición, formulación y caracterización. Universidad Politécnica de Madrid. 2013. [Consultado Enero 222018]

Amarillo cromo, monrago [Consultado Enero 252018]. Disponible en: http://www.monrago.com.uy/index.php?route=product/product&product_id=873

ANNTI MANTYNEN, ZAKHAROV ALEXEY, Optimización de los parámetros de molienda en la producción de pastas colorantes. [Consultado abril 30 de 2018].

Dispersing process. [Consultado Enero 252018]. Disponible en: <http://www.inkline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

Enciclopedia de tecnología química Tomo XII. Primera edición en español. Pinturas pág. 405. [Consultado Enero 222018]

GARCIA GOMEZ, Jorge. Preparación De Pastas Pigmentarias y Fabricación Mediante Refinadoras Tricilindricas Hidráulicas. [Consultado el febrero 282018]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/81858>

GIUDICE, Carlos; Pereyra, Andrea. Tecnología de pinturas y recubrimientos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional- Argentina (2009). [Consultado Enero 252018]

HEINRICH ZOLLINGER, química del color. Síntesis, propiedades y aplicaciones de colorantes y pigmentos orgánicos. [Consultado en junio 12 de 2018]

HOLMAN BUSTOS, Jose Aldana. Optimización de la planta de pinturas picaso y cruz ltda, Fundación Universidad de America. [Consultado noviembre 82017].

Ifexport. Equipos de pintura. Devilbiss. [Consultado 10 de febrero de 2018]. Disponible en: <http://www.acabadoindustrial.com/2016/02/25/pistolas-de-pintar-devilbiss-2/>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAR TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2008. 33p.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. 1ed. Bogotá: El instituto, 2008. 38 p.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas, NTC 4490. 1ed. Bogotá: El instituto, 2008. 23 p.

Konika Minolta. Espectrometros portatiles. [Citado el 6 de diciembre de 2017] Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-600d-spectrophotometer/>

Konica Minolta. Sensing Americas. [15 de febrero 2018]. Disponible <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-700d-spectrophotometer/>

Memmert. Experts in Thermostatics. Consultado [6 de febrero 2018]. Disponible en: <https://www.memmert.com/es/el-producto/estufas-estufas-de-secado/estufa-universal/#!filters=%7B%7D>

Memmert, Experts in thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado [Consultado 5 de diciembre de 2017] Disponible en: <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espagnol-D10027.pdf>

METTLER TOLEDO. ¿Qué es un analizador de humedad y como se usa? [Consultado 5 de diciembre de 2017] Disponible en: <https://www.mt.com/mx/es/home/library/FAQ/laboratory-weighing/what-is-a-moisture-analyzer.html>

NEURTEK Instruments. Cartulinas LENETA para ensayos de pinturas y tintas “sin componentes UV” [Citado 6 de diciembre de 2017] Disponible en: [http://www.neurtek.com/descargas/neurtek cartulinas leneta es.pdf](http://www.neurtek.com/descargas/neurtek%20cartulinas%20leneta%20es.pdf)

Ohaus. Balanzas de laboratorio. Consultado [30 de enero de 2018]. Disponible en: <https://us.ohaus.com/en-US/>

PANESSO Luz, PLAZAS Paola. Evaluación del equipo de dispersión y molienda en la producción de lacas, Fundación Universidad de América. [Tomado 08 de septiembre de 2017]

Q-LAB. QUV accelerated weathering tester. [Citado el 6 de diciembre de 2017] Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>

Representaciones adendorf. Equipos y suministros para la industria. [citado el 6 de diciembre de 2017]. Disponible en: <http://www.adendorf.net/brillometro-de-20-60-85-1999-gu-p-386.html>

SEVED Mohammad Asi., A Survey on the application and role of value engineering in pars simin chemical manufacturing Company (the manufacturing unit of pars simin White plastic paints) [Consultado en enero 22 de 2018]

TEGO, Dispers. aditivos, humectantes y dispersantes. Página 87. [Consultado en enero 25 de 2018]

TPM, Equipos S.A. De D.V. Equipo de medición industrial [Consultado en diciembre 5 de 2017]. Disponible en http://tpmequipos.com/998081_Grindometro-Medidor-De-Finura-Hegman-BGD242-3.html

UNIROJA; Color de vino, La medida practica del color, Capitulo 4 [Consultado 30 de enero de 2018]

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ, materiales escritos, Química general, grupo B, curso 1993/94. Mezcla de sustancias. Disoluciones. [Consultado 10 junio de 2018]. Disponible en http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/QG/Tema_9.pdf

UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS PUEBLA, Archivos digitales. Revisión bibliográfica, colorantes y pigmentos. [Consultado en junio 20 de 2018]. Disponible en: http://caterina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/mondragon_n_vy/capitulo4.pdf

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TÉCNICA AMARILLO CROMO

identificación de la sustancia

Nombre: C. I. pigmento amarillo 34, Esta sustancia está identificada en el Colour Index por el Colour Index Constitution Number C. I. 77603. , amarillo de sulfocromato de plomo

Sinónimos:

- C. I. 77603
- sulfocromato de plomo amarillo

Números de Identificación:

- CAS:** 1344-37-2
- CE EINECS:** 215-693-7

Grupos: cromo y sus compuestos, plomo y sus compuestos, sustancias de bajo peso molecular (metales y sus sales, polvos de maderas, productos farmaceuticos, sustancias quimico plasticas, aditivos, disolventes, etc.), sustancias de bajo peso molecular por debajo de los 1000 daltons (metales y sus sales, polvos de maderas, productos farmaceuticos, sustancias quimico plasticas, aditivos, disolventes, conservantes, catalizadores, perfumes, adhesivos, acrilatos, resinas de bajo peso molecular, formaldehidos y derivados, etc.)

Usos: acabados metálicos y de superficies, agente de soldadura, aleante, colorante, estabilizante, pigmento, pintura, tinta-tinte

Más información

Nombres en inglés:

- C. I. Pigment Yellow 34, This substance is identified in the Colour Index by Colour Index Constitution Number, C. I. 77603. , lead sulfochromate yellow

Nº índice: 082-009-00-X

Notas ECB: Esta sustancia está identificada en el Colour Index por el Colour Index Constitution Number C. I. 77603.

Especificaciones	
Descripción	Pigmento Inorgánico
Composición química	PbCrO ₄ * PbSO ₄
Densidad	5200 kg/m ³
Absorción de aceite	28 gr de aceite/100gr de pigmento
pH (extracto acuoso)	4-8
Sales solubles en agua	Menor al 1%
Pb soluble- contenido (0.7 n HCl)	Máximo 10.5%
Resistencia a ácidos (1-5)	3
Resistencia a álcalis	1
Resistencia al calor	
En aplicación de plásticos	240°C
Intemperismo (1-5)	3-4

CLASIFICACIÓN (RD 363/1995)

Símbolos



T; Tóxico



N; Peligroso para el medio ambiente

Frases R

R45: Puede causar cáncer.

R61: Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.

R62: Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.

R33: Peligro de efectos acumulativos.

R50-53: Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Frases S

S53: Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso.

S45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta).

S60: Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos.

S61: Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO (Reglamento 1272/2008)

Pictogramas y palabras de advertencia



Toxicidad crónica



Peligroso para el medio ambiente acuático

Frases H

H350: Puede provocar cáncer .

H360Df: Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad.

H373:** Puede provocar daños en los órganos .

H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos.

H410: Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Notas

Nota 1

NFPA 704



Inflamabilidad 0 . Materiales que no se queman.



Salud 3 . Materiales que bajo corta exposición pueden causar daños temporales o permanentes, aunque se preste atención médica.



Inestabilidad / Reactividad 0 . Materiales que por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua.



Inestabilidad / Reactividad . Materiales que por sí son normalmente estables aún en condiciones de incendio y que no reaccionan con el agua.

Número CAS Número registrado CAS

7758-97-6

ANEXO B. FICHA TÉCNICA NARANJA MOLIBDENO

Propiedades Físicas		
Forma Física	Polvo naranja	
Resistencia al Calor(°C)	200	
Densidad (g/cm ³)	1.7	
Superficie Específica(m ² /g)	30	
Valor PH	6.0-7.0	
Absorción de Aceite(ml/100g)	65	
Propiedades de Solidez		
	A todo Color	Color de tinte
Dispersibilidad	Excelente	Excelente
Solidez a la luz	8	7~8
Resistencia a los ácidos	5	4~5
Resistencia alcalina	5	4~5
Solidez a la intemperie	5	4~5
Resistencia al agua	5	4~5
Resistencia al aceite	5	4~5

2. Propiedades Físicas y Químicas



Punto de fusión / rango de fusión	330°C
Densidad	20°C
Aprox.(g/cm ³)	1.7
Superficie Específica(m ² /g)	30
Tamaño de partícula promedio(nm)	300
Valor PH	6.0-7.0

**ANEXO C.
FICHA TÉCNICA VERDE GNX**

Composición Química		
Índice de color	Pigmento verde 7	
C.I.NO.	74260	
Fórmula Química	NA	
CAS NO.	1328-53-6	
EU NO.	215-524-7	
Propiedades Físicas		
Forma Física	Polvo verde	
Resistencia al Calor(°C)	280	
Densidad (g/cm ³)	2.5	
Superficie Específica(m ² /g)	40	
Valor PH	7.0-8.0	
Absorción de Aceite(ml/100g)	55	
Propiedades de Solidez		
	A todo Color	Color de tinte
Dispersibilidad	Excelente	Excelente
Solidez a la luz	8	7~8
Resistencia a los ácidos	5	4~5
Resistencia alcalina	5	4~5
Solidez a la intemperie	5	4~5
Resistencia al agua	5	4~5
Resistencia al aceite	5	4~5



Especificaciones	
Descripción	Pigmento Organico
Composición química	C ₃₂ Cl ₁₆ CuN ₈
Densidad	2.3 g/cm ³
Absorción de aceite	55 ml de aceite/100gr de pigmento
pH	7-8
Punto fusión	480°C
Superficie específica	40 m ² /g
Tamaño partícula promedio	0.03-0.07 um
Resistencia a álcalis	1
Resistencia al calor	
En aplicación de plásticos	280°C

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

<i>Símbolo(s)</i>	 Xn  N	Nocivo Peligroso para el medio ambiente
<i>Frase(s) - R</i>	22-41-63-50/53	Nocivo por ingestión. Riesgo de lesiones oculares graves. Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
<i>Frase(s) - S</i>	26-36/37-39-46-60-61	En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados. Úsense protección para los ojos/la cara. En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstrele la etiqueta o el envase. Elimínense el producto y su recipiente como residuos peligrosos. Evítense su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

No. CE 219-441-7 Etiqueta CE

Etiquetado reducido (≤125 ml)

<i>Símbolo(s)</i>	 Xn  N	Nocivo Peligroso para el medio ambiente
<i>Frase(s) - R</i>	22-41-63	Nocivo por ingestión. Riesgo de lesiones oculares graves. Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
<i>Frase(s) - S</i>	26-36/37-39	En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsense indumentaria y guantes de protección adecuados. Úsense protección para los ojos/la cara.

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)*Pictogramas de peligro*

Palabra de advertencia
Peligro

Indicaciones de peligro

H361d Se sospecha que daña al feto.
H302 Nocivo en caso de ingestión.
H318 Provoca lesiones oculares graves.
H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Consejos de prudencia

P273 Evitar su liberación al medio ambiente.
P280 Llevar gafas de protección.
P281 Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.
P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P308 + P313 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico.

ANEXO D

PROPIEDADES CAMARA UV



QUV / cw

Blanco frío

fotoestabilidad Tester

La QUV *cw* probador fotoestabilidad *cw* proporciona una cámara de blanco fresco estándar fluorescente prueba que cumpla con los métodos de ensayo de ANSI, ASTM e ISO para las pruebas de fotoestabilidad cubierta.

Muchos productos destinados para el hogar, la oficina y los entornos comerciales nunca han sido adecuadamente probados para la resistencia a la luz interior. La fotodegradación de iluminación interior puede causar fallos del producto inesperados que van desde la estética a la peligrosa. daño de la luz interior común incluye fade y cambio de color de pigmentos y colorantes, amarillamiento de los plásticos y la fotodegradación de productos farmacéuticos.

Los QUV / cw Cumple con la industria Métodos de prueba

Varias industrias tienen actualmente los métodos de prueba que especifican el uso de lámparas blancas frías para las pruebas de fotoestabilidad en ambientes interiores, mientras que otros están trabajando para dar pasos hacia la normalización. Debido a que cada sector es única, una breve sinopsis de las industrias comunes relacionados con las pruebas de estabilidad a la luz de interior es la siguiente.

Imaging negocio. *ASTM F1945, Método para Determinación de la Resistencia a la luz de la tinta Jet Prints se expusieron a iluminación fluorescente cubierta*, especifica una prueba fluorescente blanca fría para simular la iluminación interior de la oficina.

ASTM F767, Método de prueba para la imagen de estabilidad de papel autocopiativo químico a la Luz y ASTM F1721, Método para determinar la estabilidad de productos de imagen térmica directa se han actualizado para permitir el uso de cámaras estándar blanco frío fluorescentes ensayo, tales como la QUV / cw.

Fotocromía. *Métodos IT9.9 ANSI para medir el color Imágenes fotográficas* especifica una prueba de blanco frío lámpara fluorescente. Las imágenes son expuestas a 450 lux durante 12 horas por día. Esta prueba, y la alternativa de xenón pruebas de luz de arco (para a través de la luz del día ventana), están destinadas a proporcionar acelerados datos de estabilidad de luz para hacer frente a una variedad de ambientes de iluminación interior.

Las tintas digitales. La industria de inyección de tinta digital se desarrolla una especificación ISO para las pruebas de estabilidad a la luz de las imágenes impresas digitales. Este documento se basa en la norma ANSI IT9.9 para imágenes fotográficas en color y también especifica una prueba fluorescente blanca fría con un ciclo de prueba de 450 lux durante 12 horas al día.

Plástica. *ASTM D4674 Estabilidad del color de los plásticos* ha sido actualizado para incluir una prueba blanca fría luz fluorescente. Método III de D4674 consta de la exposición a enfriar lámparas fluorescentes blancas a una temperatura de 50 ° C. Esto proporciona una excelente simulación acelerada de oficina ambientes interiores / comerciales donde los blancos fríos son el iluminante principal y la luz solar natural no es un problema importante. D4674 está diseñado para probar plástico; Sin embargo, se ha prestado ampliamente por otras industrias para las pruebas de estabilidad a la luz de las tintas, embalajes, material para artistas y otros productos de interior.

ANEXO E

TARIFAS DE ENERGIA ELECTRICA (\$/kWh)

TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/kWh) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG) JULIO DE 2017

SECTOR RESIDENCIAL NIVEL DE TENSIÓN 1				
ESTRATO (E)	RANGO DE CONSUMO (kWh-mes)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/kWh)
E1	0-CS(+)	198,8133	184,0665	191,4400
	Más de CS	437,9027	402,8018	420,3523
E2	0-CS(+)	248,5168	230,0832	239,2999
	Más de CS	437,9027	402,8018	420,3523
E3	0-CS(+)	372,2173	342,3815	357,2995
	Más de CS	437,9027	402,8018	420,3523
E4	Todo consumo	437,9027	402,8018	420,3523
E5	Todo consumo	525,4832	483,3622	504,4228
E6	Todo consumo	525,4832	483,3622	504,4228

ÁREAS COMUNES NIVEL DE TENSIÓN 1		
MODALIDAD (Todo consumo)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)
E1	437,9027	402,8018
E2	437,9027	402,8018
E3	437,9027	402,8018
E4	437,9027	402,8018
E5 y E6, Industrial y Comercial	525,4832	483,3622
Exenta de contribución	437,9027	402,8018

(+) CS: Consumo de Subsistencia

SECTOR NO RESIDENCIAL								
			NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/kWh)	NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/kWh)	NIVEL 2 (11,4 y 13,2 kV) (\$/kWh)	NIVEL 3 (34,5 kV) (\$/kWh)	NIVEL 4 (115 kV) (\$/kWh)
			OFICIAL E INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	Monomía	437,9027	402,8018	420,3523
OPCIONES HORARIAS (**)	Punta	441,1073		406,0064	423,5569	354,4584	325,0495	277,1015
	Fuera de Punta	437,3234		402,2225	419,7730	351,2765	323,9718	280,8450
INDUSTRIAL Y COMERCIAL CON CONTRIBUCIÓN	SENCILLA	Monomía	525,4832	483,3622	504,4228	422,0465	389,2169	332,6240
	OPCIONES HORARIAS (**)	Punta	529,3288	487,2077	508,2683	425,3501	390,0594	332,5218
		Fuera de Punta	524,7881	482,8670	503,7276	421,5318	388,7662	337,0140
INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCIÓN	DOBLE HORARIA	Nocturna	440,5240	405,4231	422,9736	354,0255	326,7114	
		Diurna	437,6243	402,5234	420,0739	351,5021	323,8484	
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCIÓN	DOBLE HORARIA	Nocturna	528,6288	486,5077	507,5683	424,8306	392,0537	
		Diurna	525,1492	483,0281	504,0887	421,8025	388,6181	

COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO -CU- (\$/kWh), Resolución CREG-119 de 2007							
	Generación Gm,j	Transmisión Tm	Distribución Dm,j	Comercialización Cm,j	Pérdidas Pm,m,j	Restricciones Rm,j	CUm,m,j Calculado
NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA	155,4091	29,1076	156,8466	41,9382	29,1199	25,4813	437,9027
NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA	155,4091	29,1076	139,2962	41,9382	29,1199	25,4813	420,3523
NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE	155,4091	29,1076	121,7457	41,9382	29,1199	25,4813	402,8018
NIVEL 2	155,4091	29,1076	91,3974	41,9382	8,3718	25,4813	351,7054
NIVEL 3	155,4091	29,1076	64,3414	41,9382	8,0698	25,4813	324,3474
NIVEL 4	155,4091	29,1076	21,0802	41,9382	4,1703	25,4813	277,1867
Cfm,j (\$/factura)**	6615,8321						

(*) No incluye en el Cargo por Uso de Nivel 1 (DU1) el componente de inversión (CDI), conforme la Resolución CREG-097 de 2008
 (**): Para la aplicación de las opciones tarifarias, se debe coordinar con CODENSA S.A. E.S.P., las adecuaciones en los sistemas de medida del cliente que sean del caso.

(***) En cumplimiento de la Resolución CREG-180 de 2014, artículo 24.
 - Por disposición de la Resolución UPME 0385 de 2004, para los municipios localizados en altitudes superiores o iguales a 1.000 metros, el valor del Consumo de Subsistencia (CS) es 130 kWh/mes y en altitudes menores a 1.000 metros, el CS es 173 kWh/mes para el año 2007.
 - En cumplimiento del Decreto 2287 de 2004, los consumos operativos de empresas de acueducto y alcantarillado, previa solicitud, se liquidan con un factor de contribución de 10% para el año 2007.

- En cumplimiento de la Resolución CREG-047 de 2004, a partir de la aplicación de las tarifas de agosto de 2004, los consumos de energía reactiva en exceso se liquidan con el componente Cargos por Uso de Distribución (DU) con la respectiva contribución de solidaridad.

- Según el artículo 4 de la resolución CREG-119 de 2007, modificada por la Resolución CREG-191 de 2014, el componente fijo del costo unitario de prestación del servicio es igual a cero (0).
 - En cumplimiento de las normas expedidas por la CREG, indicamos que se actualizó el porcentaje de AOM a 2,91% a partir de las tarifas del mes de enero de 2017.

- Los costos y cargos de distribución y comercialización aplicados fueron modificados de acuerdo con lo establecido en la resolución CREG 199 de 2016, por la cual fueron aprobados los costos y cargos unificados de distribución y comercialización para el STR y SDL resultante de la integración de los sistemas operados por Codensa S.A. E.S.P. y la Empresa de Energía de Cundinamarca S.A. E.S.P.

HORAS DE APLICACIÓN OPCIONES HORARIAS POR NIVEL DE TENSIÓN (Res. CREG-079 de 1997)				
FRANJA	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
PUNTA	09:00 - 12:00 18:00 - 21:00	09:00 - 12:00 18:00 - 21:00	06:00 - 21:00	01:00 - 21:00
FUERA DE PUNTA	00:00 - 09:00 12:00 - 18:00 21:00 - 24:00	00:00 - 09:00 12:00 - 18:00 21:00 - 24:00	00:00 - 06:00 21:00 - 24:00	00:00 - 01:00 21:00 - 24:00

PRECIO AL PÚBLICO (\$Col)									
RESÍMEN DE LIBERTAD REGULADA	Concepto	Conexión	Tipo	Tarifa 2017	Concepto	Modalidad	Conexión	Tarifa 2017	
		PUESTA EN SERVICIO DE LA CONEXIÓN ⁽¹⁾		Monofásico			70.256	RECONEXIÓN DEL SERVICIO ⁽²⁾ (incluye suspensión y reconexión)	RESIDENCIAL
			Trifásico	127.472		Trifásico	59.944		
			Medida Indirecta		510.860		NO RESIDENCIAL	Medida Directa	67.453
	CALIBRACION DE MEDIDOR ELECTROMECANICO ⁽³⁾		Monofásico	Bifilar y Trifilar	11.039			Medida Indirecta	184.057
			Trifásico	Tetrafililar	19.530		RESIDENCIAL	Monofásico	91.241
			Monofásico	Clase 2.0	11.039			Trifásico	165.548
	CALIBRACION ELEMENTOS DE MEDIDOR ELECTRONICO ⁽³⁾		Trifásico	Clase 0.5 - 1.0	101.224	REINSTALACION DEL SERVICIO ⁽²⁾ (incluye corte o suspensión especial y reinstalación)	NO RESIDENCIAL	Monofásico	91.241
				Tetrafililar	19.530			Trifásico	165.548
				Clase 0.2	128.987			Medida Indirecta	663.455
		Parametrización Electrónica		75.376					
SITUACIONES ESPECIALES	Concepto	Modalidad	Tipo	Tarifa 2017	Concepto	Conexión		Tarifa 2017	
		INSPECCION TECNICA ⁽⁴⁾		Residencial			176.463	INSTALACION DE MEDIDOR ⁽⁶⁾	Monofásico
			No Residencial		224.900		Trifásico		28.076
			Medida Directa	Sin Actuación ⁽⁴⁾	373.025			Medida Indirecta	152.596
	INSPECCION TECNICA SISTEMAS DE MEDIDA NO RESIDENCIAL (GG) ⁽⁵⁾		Medida Indirecta	Con Actuación ⁽⁶⁾	441.268	MODIFICACION A LA CONEXION EXISTENTE ⁽⁷⁾	Monofásico		91.241
			Medida Indirecta	Sin Actuación ⁽⁶⁾	396.136			Trifásico	165.548
				Con Actuación ⁽⁶⁾	445.692		Medida Indirecta	663.455	
	INSPECCION COMERCIAL ⁽⁸⁾		Residencial		66.579	Concepto	Modalidad	Tipo	Tarifa 2017
			No Residencial		66.608		VERIFICACION DEL ESTADO DE CONEXION	Residencial	Monofásico
			Residencial	Medida Directa	20.387				Trifásico
EN TUS MANOS ⁽⁹⁾		No Residencial	Medida Indirecta	20.387		NO RESIDENCIAL	Medida Directa	28.223	
			Medida Directa	20.387			Medida Indirecta	157.358	
			Medida Indirecta	130.276	RETIRO DE SELLOS ⁽¹⁰⁾	Residencial		81.501	
Concepto		Conexión		Tarifa 2017		NO RESIDENCIAL		81.501	
RETIRO ACOMETIDA Y MEDIDOR SOLICITADO POR EL CLIENTE ⁽¹¹⁾		Residencial		180.881	ENTREGA ESPECIAL ⁽¹⁰⁾	Residencial		4.961	
		No Residencial		224.787		NO RESIDENCIAL		4.961	
MATERIALES	Concepto	Conexión	Tipo	Tarifa 2017	Concepto		Modalidad	Tarifa 2017	
		MEDIDOR (sin calibración) ⁽¹¹⁾		Monofásico Disperso	Bifilar	38.376	ALQUILER EQUIPOS GENERACION AISLADA ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾	PROYECTO FOTOVOLTAICOS	19.839
			Bifásico		125.472		PROYECTO MINIGRID	26.447	
			Trifásico	20 - 80 AMP.	205.900	NOTAS:			
				40 - 160 AMP.	849.308	(1) Hace referencia a la puesta en servicio de la conexión de una cuenta nueva. Comprende el desplazamiento, protocolo de puesta, conexión a la red y sellado.			
SELLO ⁽¹²⁾			Equipo Multifuncional clase 0.5S	1.232.872	(2) Estos conceptos también aplican para la suspensión del servicio de común acuerdo (artículo 49 Resolución CREG-108 de 1997). Incluye sellos de suspensión y reconexión.				
				858	(3) Cuando las actividades de corte, suspensión especial o reinstalación del servicio sean en medida indirecta y/o requieran de trabajos especiales, se cobra según presupuesto.				

- (4) Con actuación: inspecciones con resultado corrección, cambio, instalación, incorporación, suspensión del servicio, actualizar. Sin actuación: inspecciones con resultado normal, fallida, reprogramar, adecuar.
(5) Corresponde a la mano de obra asociada al retiro de los sellos y pruebas de medidor para que el cliente puede realizar adecuaciones con un tercero.
(6) Corresponde a la mano de obra de instalación y pruebas del medidor.
(7) Corresponde a la conexión del servicio de un cuenta existente por modificaciones técnicas en las instalaciones eléctricas y a solicitud del cliente. Incluye instalación del medidor, desplazamiento, protocolo de puesta, conexión a la red y sellado.
(8) Alternativa dada al cliente para un plazo adicional en el pago de la factura. Solo se cobra el costo eficiente de la visita de la cuadrilla de suspensión del servicio al predio en mora.
(9) Incluye solo material.
(10) Hace referencia a la entrega de una copia de la factura en un predio diferente a la dirección asociada al Servicio Público Domiciliario. Servicio disponible solo para entrega en la ciudad de Bogotá D.C. y municipios de la Sabana.
(11) Incluye IVA del 19%.
(12) Hace referencia al alquiler de soluciones fotovoltaicas o minigrids en zonas no interconectadas.
(13) Tarifa mensual.

TARIFAS POR MANOBRAS CUMPLIMIENTO CREG 038 VIGENTES DESDE 1 DE ABRIL 2017				
PRECIO AL PÚBLICO (\$Col)				
CASO	TIPO DE DÍA	JORNADA	BOGOTÁ	CUNDINAMARCA
1	Día Hábil	Día	\$1.447.379	\$1.034.971
		Noche	\$1.716.676	ND
1	Día No Hábil	Día	\$1.985.974	\$1.345.462
		Noche	\$2.255.272	ND
2	Día Hábil	Día	\$1.570.663	\$2.652.046
		Día	\$2.158.572	\$3.447.660
3	Día Hábil	Día	\$4.533.584	\$4.724.041
		Día No Hábil	Día	\$6.257.277

- Notas:
CASO 1: Apertura y cierre de seccionamiento (corte visible).
CASO 2: Desconexión y conexión de cables XLP. Incluye apertura de pases (corte visible). Apertura y cierre de seccionamiento (corte visible).
CASO 3: Instalación y retiro de equipo móvil (incluye materiales menores). Apertura y cierre de seccionamiento (corte visible).
Todos los casos incluyen visita técnica previa a la actividad.
ND: No disponible.
Precios antes de IVA.



Grupo Enel