

DESARROLLO DE CONCENTRADOS PIGMENTARIOS INORGÁNICOS EN  
DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURAS EN LA EMPRESA SIKA S.A.S

ANGELA PATRICIA RODRÍGUEZ VILLAMIZAR

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

DESARROLLO DE CONCENTRADOS PIGMENTARIOS INORGÁNICOS EN  
DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURAS EN LA EMPRESA SIKA S.A.S

ANGELA PATRICIA RODRÍGUEZ VILLAMIZAR

Proyecto Integral de grado para optar el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
CESAR AUGUSTO LÓPEZ  
Ingeniero Químico

Orientador  
FERNANDO MORENO TORRES  
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado Fernando Moreno

---

Firma 1. Felipe Correa

---

Firma 2. Alexander Jiménez

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**

Vicerrectora Académica de Posgrados

**Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano General de Facultad de Ingenierías

**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 autores

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios por haberme dado sabiduría, salud, fe y esperanza para sacar mi carrera adelante.

A mis padres Alvaro Rodriguez y Angela Villamizar; quienes, con su apoyo incondicional, lograron que se cumpliera mi meta de ser profesional, dándome consejos para no decaer y seguir con mi proyecto de vida; a mis hermanos y tia; quienes me apoyaron en todo momento, confiando en mis conocimientos y capacidades, alegrándose en momentos tristes y difíciles, a Andres Alba quien me brindo su amistad y amor incondicional desde el inicio de mi carrera; a cada uno de ellos les dedicó con todo mi amor y cariño mi tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

A la empresa SIKA S.A.S., por la amabilidad de sus ingenieros y empleados que la componen, por abrir sus puertas y permitir realizar este proyecto de grado, facilitando instalaciones, equipos y personal de apoyo durante el tiempo en que se realizó este trabajo.

Al Ingeniero químico, Cesar Augusto López, por su apoyo durante la formación académica; por aceptar los papeles de director del Proyecto y que, con su conocimiento, experiencia y disponibilidad de tiempo, brindó la asesoría necesaria para guiar el desarrollo del presente trabajo de grado.

Al orientador, el Ingeniero Fernando Moreno Torres, por su paciencia y conocimiento, quien estuvo en todo momento a disposición para colaborar con su apoyo incondicional e interés constante durante el desarrollo del trabajo de grado

A todas aquellas personas que colaboraron de una u otra manera en el desarrollo de este proyecto.

A las Directivas, Cuerpo Docente y Personal Administrativo de la Universidad de América por el apoyo y capacitación recibida durante nuestra preparación como Ingenieros químicos.

<b>CONTENIDO</b>		<b>pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>		<b>25</b>
<b>OBJETIVOS</b>		<b>26</b>
<b>1 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS</b>		<b>27</b>
<b>1.1 PINTURAS</b>		<b>27</b>
1.1.1 Vehículo (resinas)		28
1.1.2 Pigmentos		28
1.1.3 Disolventes		30
1.1.4 Aditivos.		31
1.1.5 Dispersante		31
<b>1.2 SISTEMAS DE PINTURAS</b>		<b>31</b>
1.2.1 Pinturas Uretano		31
1.2.2 Pinturas Acrílicas		31
1.2.3 Pinturas Epóxicas		32
1.2.4 Pinturas alquídicas		32
<b>1.3 TEORÍA DEL COLOR</b>		<b>33</b>
1.3.1 Espacio de Color		33
<b>1.4 PROCESO DE DISPERSIÓN</b>		<b>34</b>
1.4.1 Dispersión		35
1.4.2 Humectación del Pigmento.		36
1.4.3 Desaglomeración.		36
1.4.4 Estabilización de Suspensión del Pigmento		37
<b>1.5 EQUIPOS E INSTRUMENTOS</b>		<b>38</b>
1.5.1 Balanza Ohaus Ec.		38
1.5.2 Molino y Agitador Cowles.		38
1.5.3 Grindometro Hegman		39
1.5.4 Viscosímetro Brookfield.		40
1.5.5 Estufa Marca Memmert.		41
1.5.6 Analizador de humedad halógeno HE73.		42
1.5.7 Aplicador tipo Bird.		43
1.5.8 Lenetas marca Neurtek.		43
1.5.9 Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint.		44
1.5.10 Pistola para pintar marca Devilbiss.		44
1.5.11 Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta.		45
1.5.12. Cámara UV Marca QUV.		45
1.5.13 Cámara Salina.		46



1.5.14 Cámara lluvia Ácida.	46
<b>1.6 PRODUCCIÓN DE PINTURAS</b>	<b>47</b>
1.6.1 Proceso de elaboración de pinturas en la empresa SIKA S.AS	48
1.6.2 Balance de masa	48
1.6.3 Características de las pinturas	49
<b>2. ESTABLECER LA RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO Y DISPERSANTE A NIVEL LABORATORIO</b>	<b>51</b>
<b>2.1 METODOLOGÍA</b>	<b>51</b>
<b>2.2 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>	<b>51</b>
2.2.1 Vehículo o resinas	51
2.2.2 Dispersante	51
2.2.3 Pigmento	51
<b>2.3 ELABORACIÓN DE CONCENTRADOS PIGMENTARIOS</b>	<b>52</b>
<b>2.4 VARIABLES DE LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS</b>	<b>53</b>
2.4.1 Viscosidad	54
2.4.2 Estabilidad	55
2.4.3 Porcentaje de sólidos	55
2.4.4 Esfuerzo de color	56
<b>2.5 CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS</b>	<b>58</b>
2.5.1 Aplicación láminas metálicas	58
2.5.2 Cámara salina	58
2.5.3 Cámara lluvia ácida	60
2.5.4 Cámara uv	61
2.5.5 Esfuerzo de color	61
2.5.6 Brillo	62
<b>2.6 DISEÑO DE EXPERIMENTOS</b>	<b>64</b>
<b>2.7 RELACIÓN PIGMENTO DISPERSANTE</b>	<b>65</b>
<b>2.8 ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO</b>	<b>65</b>
2.8.1 Tamaño de Partícula	66
2.8.2 Viscosidad Antes y Después de Estabilidad	67
2.8.3 Porcentaje de sólidos	68
2.8.4 Esfuerzo de color	69
2.8.5 Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo	70
2.8.6 Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color *L del óxido de hierro amarillo	71

2.8.7	Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo	72
2.8.8	Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo	74
<b>2.9</b>	<b>ÓXIDO CROMO VERDE</b>	<b>74</b>
2.9.1	Tamaño de partícula	75
2.9.2	Viscosidad antes y después de estabilidad	76
2.9.3	Porcentaje de sólidos	77
2.9.4	Esfuerzo de color	78
2.9.5	Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido cromo verde	79
2.9.6	Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color *L del óxido cromo verde	79
2.9.7	Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde	80
2.9.8	Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde	81
<b>2.10</b>	<b>ÓXIDO DE HIERRO ROJO</b>	<b>82</b>
2.10.1	Tamaño de partícula	82
2.10.2	Viscosidad antes y después de estabilidad	83
2.10.4	Esfuerzo de color	86
2.10.5	Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido	87
2.10.6	Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color *L del óxido de hierro rojo	88
2.10.7	Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo	89
2.10.8	Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo	90
<b>3</b>	<b>EVALUAR COMPATIBILIDAD Y DESEMPEÑO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURAS EPÓXICA, URETANO, ALQUÍDICO Y ACRÍLICO EN CÁMARA ÁCIDA, UV Y SALINA</b>	<b>92</b>
<b>3.1</b>	<b>ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO</b>	<b>92</b>
3.1.1	Cámara ácida	92
3.1.2	Cámara Uv	96
3.1.3	Cámara salina	99
<b>3.2</b>	<b>ÓXIDO CROMO VERDE</b>	<b>107</b>
3.2.2	Cámara Uv	111
3.2.3	Cámara salina	115
<b>3.3</b>	<b>ÓXIDO DE HIERRO ROJO</b>	<b>123</b>
3.3.1	Cámara ácida	123

3.3.2 Cámara Uv	127
3.3.3 Cámara salina	130
<b>3 SUSTRATOS ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO, CROMO VERDE, ROJO</b>	<b>Y 138</b>
<b>4 CONCLUSIONES</b>	<b>144</b>
<b>5 RECOMENDACIONES</b>	<b>146</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>151</b>

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Comparación antes y después de estabilidad óxido de hierro amarillo	69
<b>Gráfica 2.</b> Gráfica de efectos principales para el esfuerzo de color L* óxido de hierro amarillo	74
<b>Gráfica 3.</b> Gráfica de efectos principales para la viscosidad (Uk) óxido de hierro amarillo.	74
<b>Gráfica 4.</b> Comparación antes y después de estabilidad para óxido cromo verde	77
<b>Gráfica 5.</b> Grafica de efectos principales para el esfuerzo de color L* óxido cromo verde.	82
<b>Gráfica 6.</b> Grafica de efectos principales para viscosidad (Uk) óxido cromo verde	82
<b>Gráfica 7.</b> Comparación antes y después de estabilidad para óxido de hierro rojo	86
<b>Gráfica 8.</b> Gráfica de efectos principales para el esfuerzo de color L* óxido de hierro rojo.	90
<b>Gráfica 9.</b> Gráfica de efectos principales para viscosidad (Uk) óxido de hierro rojo	91
<b>Gráfica 10.</b> Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.	94
<b>Gráfica 11.</b> Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.	95
<b>Gráfica 12.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.	96
<b>Gráfica 13.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.	96
<b>Gráfica 14.</b> Valores de brillo para láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido de hierro amarillo y patrón.	98
<b>Gráfica 15.</b> Valores de brillo láminas metálicas uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.	98
<b>Gráfica 16.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas para epóxico, acrílico y alquídico óxido de hierro amarillo y patrón.	100
<b>Gráfica 17.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.	100
<b>Gráfica 18.</b> Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para cromo verde y patrón.	109
<b>Gráfica 19.</b> Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para cromo verde y patrón.	110
<b>Gráfica 20.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas epóxico	111
<b>Gráfica 21.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas alquídico	111
<b>Gráfica 22.</b> Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para oxido	113

<b>Gráfica 23.</b> Valores de brillo láminas metálicas uretano para óxido cromo verde	114
<b>Gráfica 24.</b> Valores esfuerzo de color *L láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido cromo verde y patrón.	115
<b>Gráfica 25.</b> Valores esfuerzo de color *L láminas metálicas uretano para óxido	116
<b>Gráfica 26.</b> Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para	125
<b>Gráfica 27.</b> Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para	126
<b>Gráfica 28.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas epóxico y uretano para óxido de hierro rojo y patrón.	127
<b>Gráfica 29.</b> Valores esfuerzo de color *L en láminas metálicas alquídico y óxido de hierro rojo y patrón.	127
<b>Gráfica 30.</b> Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico	129
<b>Gráfica 31.</b> Valores de brillo lámina metálica uretano para óxido de hierro rojo	129
<b>Gráfica 32.</b> Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido de hierro rojo y patrón.	131
<b>Gráfica 33.</b> Valores esfuerzo de color *L láminas metálicas uretano para óxido de hierro rojo y patrón.	131
<b>Gráfica 34.</b> Valores de brillo láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.	140
<b>Gráfica 35.</b> Valores esfuerzo de color *L láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.	141

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<i>Tabla 1. Diseño experimentos para Óxido de hierro amarillo.</i>	63
<i>Tabla 2. Diseño experimentos para Óxido de cromo verde.</i>	63
<i>Tabla 3. Diseño experimentos para Óxido de hierro rojo.</i>	64
<i>Tabla 4. Cantidad reactivos óxido de hierro amarillo.</i>	65
<i>Tabla 5. Tamaño de partícula óxido de hierro amarillo cada 10 minutos.</i>	65
<i>Tabla 6. Valores de viscosidad antes y después de estabilidad óxido de hierro amarillo.</i>	66
<i>Tabla 7. Valores porcentaje de sólidos</i>	67
<i>Tabla 8. Valores esfuerzo de color L* antes y después de estabilidad óxido de</i>	69
<i>Tabla 9. Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo.</i>	70
<i>Tabla 10. Análisis de varianza para el esfuerzo de color óxido de hierro amarillo.</i>	71
<i>Tabla 11. Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo.</i>	73
<i>Tabla 12. Cantidad reactivos óxido cromo verde.</i>	74
<i>Tabla 13. Tamaño de partícula Óxido cromo verde</i>	74
<i>Tabla 14. Valores de viscosidad antes y después de estabilidad oxido cromo verde.</i>	75
<i>Tabla 15. Valores porcentaje de sólidos óxido cromo verde.</i>	76
<i>Tabla 16. Valores esfuerzo de color L* antes y después de estabilidad óxido</i>	77
<i>Tabla 17. Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido cromo verde.</i>	78
<i>Tabla 18. Análisis de varianza para el esfuerzo óxido cromo verde.</i>	79
<i>Tabla 19. Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde.</i>	81
<i>Tabla 20. Cantidad reactivos de hierro rojo.</i>	81
<i>Tabla 21. Tamaño de partícula Óxido de hierro rojo</i>	82
<i>Tabla 22. Valores de viscosidad antes y después de estabilidad óxido de hierro</i>	83
<i>Tabla 23. Valores porcentaje de sólidos</i>	84
<i>Tabla 24. Valores esfuerzo de color L* antes y después de estabilidad óxido de hierro rojo.</i>	86
<i>Tabla 25. Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido de hierro rojo.</i>	87
<i>Tabla 26. Análisis de varianza para el esfuerzo óxido de hierro rojo.</i>	88
<i>Tabla 27. Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.</i>	89
<i>Tabla 28. Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, uretano, alquídico y acrílico.</i>	92
<i>Tabla 29. Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.</i>	93

<b>Tabla 30.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, acrílico y alquídico.	95
<b>Tabla 31.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para uretano.	95
<b>Tabla 32.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, crítico y alquídico.	97
<b>Tabla 33.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para uretano.	97
<b>Tabla 34.</b> Inspección visual láminas metálicas Óxido de hierro amarillo epóxico.	99
<b>Tabla 35.</b> KIV Óxido de hierro amarillo epóxico cada 24 horas.	100
<b>Tabla 36.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo uretano cada 24 horas.	101
<b>Tabla 37.</b> KIV Óxido de hierro amarillo uretano cada 24 horas.	102
<b>Tabla 38.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo alquímico cada 24 horas.	103
<b>Tabla 39.</b> KIV Óxido de hierro amarillo alquídico cada 24 horas.	104
<b>Tabla 40.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo acrílico cada 24 horas.	105
<b>Tabla 41.</b> KIV Óxido de hierro amarillo acrílico cada 24 horas.	106
<b>Tabla 42.</b> Brillo en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.	107
<b>Tabla 43.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.	108
<b>Tabla 44.</b> Brillo en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, acrílico y alquídico.	110
<b>Tabla 45.</b> Brillo en láminas metálicas oxido	110
<b>Tabla 46.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido cromo verde para epóxico, acrílico y alquídico.	112
<b>Tabla 47.</b> Esfuerzo de color *L en láminas	113
<b>Tabla 48.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde epóxico.	115
<b>Tabla 49.</b> KIV Oxido cromo verde epóxico cada 24 horas.	116
<b>Tabla 50.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde uretano.	117
<b>Tabla 51.</b> KIV Óxido cromo verde uretano cada 24 horas.	118
<b>Tabla 52.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde alquídico.	119
<b>Tabla 53.</b> KIV óxido cromo verde alquídico cada 24 horas.	120
<b>Tabla 54.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde acrílico.	121
<b>Tabla 55.</b> KIV Oxido cromo verde Acrílico cada 24 horas.	122
<b>Tabla 56.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, uretano, alquídico y acrílico.	123
<b>Tabla 57.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas de hierro de rojo para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.	124
<b>Tabla 58.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, acrílico y alquídico.	126
<b>Tabla 59.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para uretano.	126

<b>Tabla 60.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, acrílico y alquídico.	128
<b>Tabla 61.</b> Esfuerzo de color *L en láminas	128
<b>Tabla 62.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo epóxido cada 24 horas.	130
<b>Tabla 63.</b> KIV Óxido de hierro rojo	131
<b>Tabla 64.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo uretano cada 24 horas.	132
<b>Tabla 65.</b> KIV Óxido de hierro rojo uretano	133
<b>Tabla 66.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo alquídico cada 24 horas.	134
<b>Tabla 67.</b> KIV Óxido de hierro rojo alquídico	135
<b>Tabla 68.</b> Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo acrílico cada 24 horas.	136
<b>Tabla 69.</b> KIV Óxido de hierro rojo acrílico.	137
<b>Tabla 70.</b> Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de	137
<b>Tabla 71.</b> Esfuerzo de color *L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo	138
<b>Tabla 72.</b> Resultados concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo, cromo verde y rojo.	140



## LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
<i>Ilustración 1. Componentes de la pintura.</i>	27
<i>Ilustración 2. Pigmento óxido de hierro amarillo.</i>	29
<i>Ilustración 3. Pigmento óxido de hierro rojo.</i>	29
<i>Ilustración 4. Pigmento óxido cromo verde.</i>	30
<i>Ilustración 5. Variación de color.</i>	33
<i>Ilustración 6. Espacio de color.</i>	34
<i>Ilustración 7. Pasos proceso de dispersión</i>	35
<i>Ilustración 8. Humectación del pigmento.</i>	36
<i>Ilustración 9. Desaglomeración.</i>	37
<i>Ilustración 10. Estabilización de suspensión del pigmento</i>	37
<i>Ilustración 11. Balanza Ohaus Ec.</i>	38
<i>Ilustración 12. Molino y agitador</i>	39
<i>Ilustración 13. Grindometro Hegman.</i>	39
<i>Ilustración 14. Viscosímetro Brookfield.</i>	40
<i>Ilustración 15. Viscosímetro-Paleta, Aguja.</i>	41
<i>Ilustración 16. Estufa marca Memmert.</i>	41
<i>Ilustración 17. Analizador de humedad halógeno HE73.</i>	42
<i>Ilustración 18. Aplicador tipo Bird.</i>	43
<i>Ilustración 19. Lenetas marca Neurtek.</i>	43
<i>Ilustración 20. Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint.</i>	44
<i>Ilustración 21. Pistola para pintar marca Devilbiss.</i>	44
<i>Ilustración 22. Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta.</i>	45
<i>Ilustración 23. Cámara UV Marca QUV</i>	46
<i>Ilustración 24. Cámara salina.</i>	46
<i>Ilustración 25. Cámara lluvia ácida.</i>	47
<i>Ilustración 26. Toma de tamaño de partícula para óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde.</i>	53
<i>Ilustración 27. Toma de viscosidad para óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde.</i>	54
<i>Ilustración 28. Prueba de estabilidad para óxido de hierro rojo y cromo verde.</i>	55
<i>Ilustración 29. Concentrados pigmentarios por color con base uretano.</i>	57
<i>Ilustración 30. Aplicación en leneta con aplicador Brid para cromo verde.</i>	57
<i>Ilustración 31. Aplicaciones expuestas a cámara salina.</i>	60
<i>Ilustración 32. Aplicaciones expuestas a cámara lluvia ácida.</i>	61
<i>Ilustración 33. Aplicaciones expuestas a cámara Uv.</i>	61
<i>Ilustración 34. Lenetas óxido de hierro amarillo antes y después de estabilidad.</i>	69
<i>Ilustración 35. Lenetas óxido cromo verde antes y después de estabilidad.</i>	78
<i>Ilustración 36. Lenetas óxido de hierro rojo antes y después</i>	86

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
<i>Ecuación 1. Balance de masa del Molino y agitador crowles.</i>	49
<i>Ecuación 2. Porcentaje de pérdida en la mezcla.</i>	49
<i>Ecuación 3. Balance de masa porcentaje de sólidos.</i>	50
<i>Ecuación 4. Porcentaje sólidos al final de la mezcla.</i>	50
<i>Ecuación 5. Ensayo de inspección visual.</i>	58
<i>Ecuación 6. Ecuación esfuerzo de color óxido de hierro amarillo.</i>	71
<i>Ecuación 7. Ecuación esfuerzo de color óxido cromo verde.</i>	80
<i>Ecuación 8. Ecuación esfuerzo de color óxido de hierro rojo.</i>	88

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
<b>Diagrama 1.</b> <i>Proceso experimental para la producción de pintura en Sika S.A.S</i>	48
<b>Diagrama 2.</b> <i>Balance del Molino y agitador crowles</i>	49
<b>Diagrama 3.</b> <i>Elaboración de concentrados pigmentarios</i>	53
<b>Diagrama 4.</b> <i>Metodología para la variable viscosidad</i>	54
<b>Diagrama 5.</b> <i>Metodología para porcentaje de sólidos</i>	56
<b>Diagrama 6.</b> <i>Metodología para esfuerzo de color</i>	57
<b>Diagrama 7.</b> <i>Metodología análisis esfuerzo de color y brillo</i>	62
<b>Diagrama 8.</b> <i>Proceso experimental para los concentrados pigmentarios</i>	63
<b>Diagrama 9.</b> <i>Evaluación de compatibilidad en laminas metálicas.</i>	63

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Laminas metálicas por cada sistema de pintura	146
<b>Anexo B.</b> Ficha técnica óxido de hierro amarillo	152
<b>Anexo C.</b> Ficha técnica óxido de hierro rojo	154
<b>Anexo D.</b> Ficha técnica óxido de hierro rojo	156
<b>Anexo E.</b> Tabla resultados	158

## LISTA DE ABREVIATURAS

°	Grados
%	Porcentaje
A*	Coordenadas rojo/verde
a +	Indicativo rojo
a -	Indicativo verde
AM	Ensayo óxido de hierro amarillo
B*	Coordenadas amarillo/azul
b +	Indicativo amarillo
b -	Indicativo azul
°C	Grados celsius
CP	Unidades Centipoise
g	Gramos
g/l	Gramos sobre litro
HZ	Hertz
KIV	Ensayo de inspección visual
L*	luminosidad
L	Litros
mm	Milímetros
ml	Mililitros
RO	Ensayo óxido de hierro rojo
RPM	Revoluciones por minuto
PSI	Libra-fuerza por pulgada cuadrada
UK	Unidades Krebs
UV	Rayos ultravioleta
V	Voltios
VE	Ensayo cromo verde
CT	Compatibilidad todos los concentrados
MA	Mejora óxido de hierro amarillo
MV	Mejora óxido cromo verde
MR	Mejora óxido de hierro rojo

## GLOSARIO

**ADITIVOS:** materia prima que se agrega en bajas proporciones para dar diferentes características a las pinturas.

**ADHERENCIA:** resistencia de una capa de pintura que ofrece al ser despegada de la superficie donde se aplica.

**AGLOMERACIÓN:** unión de partículas de pigmento a causa de ciertas fuerzas de cohesión.

**AM-#:** nombre de los ensayos para experimentación óxido de hierro amarillo

**BARNIZ:** disolución de una o más resinas en un aceite o sustancia volátil, que se aplica a la superficie de un objeto para que al secarse forme una capa lustrosa capaz de resistir la acción del aire y de la humedad.

**BRILLO:** cantidad de luz reflejada sobre una superficie por medio del espectrofotómetro.

**CONCENTRADO PIGMENTARIO:** producto intermedio para la fabricación de la pintura, encargado principalmente de proporcionar el color del acabado

**CURADO:** tiempo que tarda un recubrimiento en lograr un estado sólido después de su aplicación.

**DISOLVENTE O VEHÍCULO VOLÁTIL:** líquido comúnmente volátil empleado en la fabricación de pinturas para disolver o dispersar los componentes formadores de película que se evaporan durante el secamiento sin formar parte de la película seca.

**DISPERSANTE:** este aditivo evita la floculación de pigmento durante el proceso de molienda y dispersión. Junto a la resina permite que el proceso de dispersión sea más fácil y se logre incorporar el pigmento completamente, proporcionando propiedades tales como cubrimiento y viscosidad.

**DISPERSIÓN:** distribución homogénea de las partículas de pigmentos.

**DUREZA:** propiedad de la pintura que se define como la resistencia que una película ofrece a la rotura por penetración de objetos duros.

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

**ESMALTE:** líquido homogéneo pigmentado que contiene resinas, disolventes y aditivos.

**ESPESOR:** grosor de la película de recubrimiento aplicado sobre láminas metálicas, este varía dependiendo del estado de pintura (seca o húmeda) debido a la evaporación de los solventes.

**FINURA:** grado de dispersión de las partículas de pigmento en la resina luego de la molienda.

**FLUIDEZ:** capacidad de una pintura de extenderse y emparejarse por sí misma una vez aplicada.

**GRINDÓMETRO:** instrumento utilizado para determinar el tamaño de partícula una vez finaliza el proceso de molienda de los concentraos pigmentarios.

**MEZCLA COLOIDAL:** mezcla de dos fases, en donde una es líquida y la otra está dispersa en forma de partículas sólidas de un diámetro comprendido entre  $10^{-9}$  y  $10^{-5}$  m de finura.

**MILS:** medida para el grosor de capa que se aplica por medio del aplicador de tipo Bird, finura de molienda y en las aplicaciones con pistola de aire en superficies planas<sup>1</sup>:

1 Mils = 25,4 micras; 1 Mils=0,001 pulg; 1 Micra =  $10^{-6}$  mm.

**MOLIENDA:** operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida por compresión, impacto, cizalla y cortado. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

**LENETA:** formato con espacios blancos y negros especial para la aplicación de pinturas con el aplicador de tipo Bird y de tal manera ver el esfuerzo de color.

**LUMINOSIDAD:** cantidad de luz emitida o reflejada por un objeto.

**PELÍCULA:** capa delgada que producen las pinturas al extenderse y secarse sobre una superficie.

**PIGMENTO:** producto constituido por partículas sólidas muy finas, insolubles en el vehículo que se utiliza en la preparación de pinturas, para darles color o poder de cubrimiento.

---

<sup>1</sup> JUAN SERNA. Tesis. Evaluación de la producción de las pastas pigmentarias para los diferentes sistemas de pinturas en la empresa Sika S.A.S.Bogota.2016

**PINTURA:** producto formado a base de uno o varios pigmentos y otros aditivos, dispersos homogéneamente en un vehículo, que se convierte en una película sólida después de su aplicación en capas delgadas, la cual se utiliza para cubrir superficies con fines decorativos, de protección, higiene o funcionales.

**RESINA O VEHÍCULO:** porción no volátil del vehículo que se endurece para formar la película de pintura.

**RO-#:** nombre de los ensayos para experimentación óxido de hierro rojo

**SEDIMENTACIÓN:** depósito de los constituyentes sólidos que se separa de una fase líquida en la cual se ha dispersado originalmente.

**SISTEMA DE PINTURAS:** diferentes clases de pinturas utilizadas en la empresa Sika S.A.S. (Epóxico, uretano, alquídico y acrílico).

**SISTEMA DE PROTECCIÓN:** conjunto de recubrimientos cuyo objetivo principal es proteger una superficie de la acción de un medio agresivo retardando el proceso corrosivo.

**SUSTRATO NEUTRO:** producto intermedio en la fabricación de recubrimientos compuesto principalmente por resinas y solventes usado para observar las propiedades de brillo en el pigmento.

**UNIDADES HEGMAN (UH):** son las unidades que se trabajan en el cronómetro de Hegman para determinar el tamaño de partícula, esta escala puede darse en micras o mils y va de 0 a 8, siendo el número más alto para la partícula la pequeña.

0 Hegman= 4 mils/ 100  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula

4 Hegman= 2mils/ 50  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula

8 Hegman= 0 mils/ 0  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula

**VE-#:** nombre de los ensayos para experimentación óxido cromo verde

**VISCOSIDAD:** tendencia de todo material que es capaz de fluir a resistir una fuerza aplicada



## RESUMEN

**TÍTULO DEL PROYECTO:** DESARROLLO DE CONCENTRADOS PIGMENTARIOS INORGÁNICOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURAS EN LA EMPRESA SIKA S.A.S

### DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo se innova la industria de pinturas, ya que actualmente se requiere un concentrado pigmentario por cada sistema (uretano, epóxido, alquídico y acrílico), es decir, se tiene un color por cada uno de ellos, esto ocasiona un alto nivel de inventario, además durante la línea de producción de cada color se generan desperdicios y mayores tiempos de operación.

Para este proyecto se elaboraron tres nuevos concentrados pigmentarios inorgánicos los cuales proporcionan color a la mezcla (óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde), determinando el efecto que tienen en cada uno de los diferentes sistemas establecidos por la empresa Sika S.A.S, se unificó el proceso logrando disminuir la cantidad almacenada de concentrados y aumentando el tiempo de estabilidad y vida útil del producto.

Para alcanzar cada uno de los objetivos, se consultaron diferentes fuentes de información del proceso de elaboración de pinturas; previamente, se elaboró los concentrados pigmentarios iniciando por el pigmento más claro hasta llegar al más oscuro, tomando como referencia diferentes tipos de concentración tanto de pigmento como de dispersante, para posteriormente seleccionar un concentrado con mayor cantidad de sólidos, esfuerzo de color y brillo; luego se realizó diferentes ensayos por cada color tomando la decisión de utilizar: óxido de hierro amarillo, AM-6 con 48% de pigmento y 1,4% de dispersante, óxido cromo verde VE-2 con 65% de pigmento y 0,9% de dispersante, óxido de hierro rojo con RO-1 con 63% de pigmento y 2,5% de dispersante, para realizar el cálculo de los porcentajes se tiene en cuenta la cantidad de pigmento utilizado en cada uno de los ensayos.

Para cada uno de los ensayos seleccionados (AM-6, VE-2, RO-1), se evaluó la correspondiente compatibilidad y desempeño con los sistemas indicados por la empresa (uretano, epóxido, alquídico y acrílico), en las distintas pruebas como lo son: cámara ácida, UV y salina, tomando diferentes tiempos para cada una de las pruebas. Finalmente se evidencia la compatibilidad de los concentrados pigmentarios con cada uno de los sistemas de pinturas, ya que presentó mejores propiedades físicas y químicas como lo son esfuerzo de color y brillo.

**PALABRAS CLAVES:** vehículo, resina, pigmento, dispersante y sistemas de pinturas

## INTRODUCCIÓN

En la industria de las pinturas, los productos que se ofrecen deben satisfacer las necesidades del cliente respecto a durabilidad, resistencia y economía, por ello, Sika S.A.S considera entre sus objetivos producir nuevos productos, teniendo en cuenta la innovación y el uso de nuevas tecnologías como principal beneficio para sus clientes, de esta manera busca que sus productos sean competitivos y de alta calidad.

En la actualidad la mayor parte de los elementos construidos por el hombre precisan ser protegidos y embellecidos, esto ha tenido como consecuencia que productos tan importantes como la pintura sean aplicados a infraestructuras o maquinarias prolongando su durabilidad y hasta un mayor rendimiento. Pero al escoger la pintura en el proceso de aplicación se debe cuidar que utilicen la fórmula adecuada, porque las pinturas no podrían ser efectivas, es por esto que fundamentalmente las pinturas se componen de un vehículo (resinas), pigmentos, disolventes y aditivos.

Entre las líneas de producción de Sika S.A.S se encuentra la elaboración de concentrados pigmentarios, procesos que utilizan pigmentos de diferentes colores de tipo orgánico e inorgánico, además de un vehículo para dispersarlos. Estos vehículos son de diferentes sistemas dependiendo del producto, deben ser compatibles con la estructura química de la pintura. Dentro de dichos vehículos se encuentran sistemas epóxicas, uretánicas, alquídicas, acrílicas, entre otras, dando como resultado que la empresa Sika S.A.S genere un inventario alto debido a la gran cantidad de mezclas de concentrados pigmentarios que se generan por color.

El fin de este proyecto es realizar nuevos concentrados pigmentarios inorgánicos (Óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde) como oportunidad para la empresa Sika S.A.S de utilizar nuevas materias primas, considerando modificaciones en el proceso de producción de concentrados pigmentarios y dispersantes, determinando el efecto que tienen en cada uno de los sistemas de pintura. Posteriormente, evaluar la compatibilidad del concentrado pigmentario con cada uno de los sistemas de pinturas base solvente establecidas por la empresa, epóxica, uretano, alquídico y acrílico, que otorgan mayor esfuerzo de color, brillo, durabilidad y mejoras en propiedades tanto físicas como químicas, con el objetivo de generar un impacto positivo optimizando tiempo.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar concentrados pigmentarios inorgánicos en diferentes sistemas de pinturas en la empresa Sika S.A.S.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el estado actual de producción de los sistemas de pinturas.
2. Establecer la relación entre concentración de pigmento y dispersante a nivel laboratorio.
3. Evaluar compatibilidad y desempeño en los diferentes sistemas de pinturas epóxica, uretano, alquídico y acrílico en cámara ácida, UV y salina.

## 1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PINTURAS

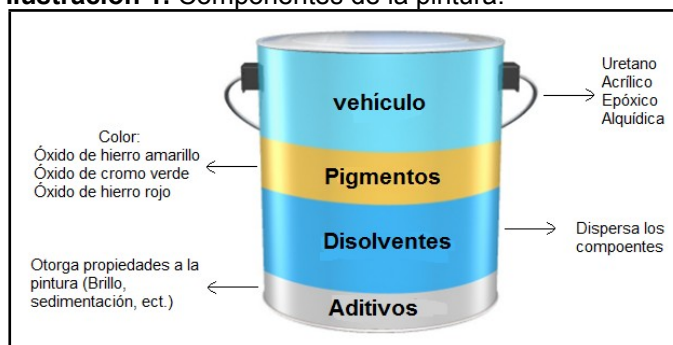
En este capítulo se realiza una breve descripción de las características de cada una de las materias primas utilizadas durante el proceso, así como los conceptos básicos usados a lo largo del proyecto, como son las diferentes clases de sistemas de pinturas establecidas por la empresa, de esta forma se espera dar a conocer el proceso con el cual se realizó la debida compatibilidad de todos los sistemas por cada uno de los colores desarrollados, de manera tal que se destacan los ensayos con mejores propiedades físicas, químicas como lo es esfuerzo de color, brillo y durabilidad.

### 1 PINTURAS

Las pinturas, desde un punto de vista técnico-económico, constituyen el método más adecuado para la protección de los materiales empleados en la construcción y la industria, como son: barcos, edificios, estructuras, automóviles, aviones, muebles, aparatos electrodomésticos, etc., estas suelen ser una suspensión de materias sólidas en una preparación líquida a base de aceites, disolventes y plastificantes<sup>2</sup>.

Los recubrimientos, bien se trate de una barrera o acabado, está constituido fundamentalmente por cuatro componentes: un vehículo (resinas), pigmentos, disolventes y aditivos<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que cada tipo de material necesita una formula química compatible con el mismo. En la ilustración 1 se evidencia la importancia para la empresa de no alterar el orden de los compuestos ya que esto podría tener complicaciones para el producto final.

**Ilustración 1.** Componentes de la pintura.



**Fuente:** elaboración propia.

<sup>2</sup> SÁNCHEZ SERENA, Emilio. Pintado y Secado Industrial. España Universidad Politécnica de Cataluña, 1991. p.19

<sup>3</sup> CARLOS A. GIUDICE y ANDREA M. PEREYRA. Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes formulación. manufactura y calidad. Buenos Aires.2009. p.2

**1.1.1 Vehículo (resinas).** Constituye a la formación de la película protectora, su función principal es mantener unidas las partículas de pigmento una vez haya sido aplicada y esté completamente seca. “En el campo de las pinturas de mantenimiento donde los requerimientos de resistencia a la corrosión son bastante exigentes, las resinas epóxicas y uretano ocupan un lugar preponderante en su utilización como vehículo”<sup>4</sup>.

**1.1.2 Pigmentos.** Son Partículas insolubles dispersas en una pintura de tipo orgánico o inorgánico, en donde están finamente divididas en estado de suspensión en el vehículo de la misma, cuya misión es proporcionar a la pintura color, proteger la película de la luz ultravioleta, resistencia, controlar la pérdida de brillo y poder de cubrimiento ante el fenómeno de la corrosión.

Las propiedades físicas y químicas que controlan y definen el rendimiento de un pigmento son su composición química, su estabilidad física y química, así como también su solubilidad, el tamaño, forma de partícula y gravedad específica<sup>5</sup>.

Se tienen diferentes tipos de pigmentos, los cuales son orgánicos e inorgánicos.

**1.1.2.1. Pigmentos Inorgánicos.** Son minerales, ya que algunos se encuentran en la naturaleza, generalmente se trata de compuestos metálicos y su fuerza de coloración es inferior frente a los otros pigmentos, se caracterizan al ser insolubles en solventes orgánicos, precios asequibles al público y presentar más resistencia al calor y a la luz que los pigmentos orgánicos; algunos de los pigmentos inorgánicos más utilizados en las industrias de pinturas son los óxidos de hierro óxidos de cromo y cadmios donde su matriz va desde el amarillo hasta, el negro pasando por el rojo y el café, en el presente proyecto los colores que se desarrollan serán: óxido de hierro amarillo, óxido de hierro rojo y cromo verde.

➤ **Pigmentos Óxido Hierro.** Estos pigmentos se usan principalmente en recubrimientos de superficies debido a su bajo costo mencionado anteriormente, por lo general, posee buen poder cubriente, una buena absorción de aceite y no se corren, resistencia a los ácidos y álcalis, disolventes fuertes y otros agentes químicos. A pesar de que algunos de los pigmentos que existen en la naturaleza poseen un tamaño de partícula bastante significativo, los óxidos de hierro, por lo general presentan pocas aglomeraciones lo que es bastante eficiente para el proceso de producción de las pinturas. Entre los óxido de hierro naturales más usados se encuentra el óxido de hierro amarillo (limonita)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  y óxido de hierro rojo (hermatita)<sup>6</sup>  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Ver fichas técnicas anexo b). Estos pigmentos

<sup>4</sup> FERNÁNDEZ CANOVAS.M. Las resinas epoxi en la construcción. Madrid.1981. p.16

<sup>5</sup> [Anónimo]Revisión bibliográfica. En: Revista Española Pinturas Pigmentos Colorantes. vol. 32, no. 4, p. 189-191

<sup>6</sup> Ibid. p.11.

hacen parte de la materia prima utilizada para el desarrollo de éste proyecto. (Ver, ilustración 2 y 3 pigmentos referidos. - Materias primas entregados por la empresa Sika).

**Ilustración 2.** Pigmento óxido de hierro amarillo.



**Fuete:** Oximar Pigmentos- óxidos de hierro-Óxido de hierro amarillo [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

**Ilustración 3.** Pigmento óxido de hierro rojo.



**Fuete:** Oximar Pigmentos- óxidos de hierro-Óxido de hierro rojo [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

➤ **Óxido de Cromo Verde.** Color clasificado como pigmento Índice verde 17 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, presenta excelente estabilidad a la luz, resistencia térmica hasta de 1000°C buen poder cubriente, y resistencia a ácidos y álcalis; estos pigmentos cuentan con la facilidad de mezclarse con bióxido de titanio y óxidos de hierro

manteniendo la estabilidad a la luz<sup>7</sup>. Como es el caso los óxidos de hierro, en cuanto a su tonalidad depende del tamaño de partícula que varía entre 7,5 y 8 UH. En la ilustración 4 se evidencia el pigmento utilizado como una de las materias primas de innovación para la empresa, como se mencionó anteriormente todas las materias primas fueron otorgadas por Sika. (Ver ficha técnica en anexo C).

**Ilustración 4.** Pigmento óxido cromo verde.



**Fuente:** Oximar Pigmentos- óxidos de hierro- Óxido de hierro verde [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

**1.1.2.2 Pigmentos Orgánicos.** Principalmente están compuestos de carbónicos, que por lo general suelen ser de origen natural, es decir, de origen vegetal y animal, presenta en su compleja estructura una o más moléculas de benceno que se caracteriza por tener una buena transparencia, fuerza colorante, matices puros y vivos, estabilidad a la luz, cabe aclarar que dependen de su constitución química y de la concentración empleada. La producción mundial de pigmentos orgánicos está representada por tres familias: Azoicos, Ftalocianinas y Poli cíclico, donde se pueden encontrar una gama de colores como son: Verde GNX, azul, negro humo, azul ftalocianina, rojo DPP, entre otros.

**1.1.3 Disolventes.** Parte volátil de la pintura cuya misión es darle a la pintura viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse contando con facilidad para diluir la mezcla para que éste tenga una reducción en la cantidad de sólidos; dicho componente, es utilizado además para solubilizar las resinas, regular la velocidad de evaporación<sup>8</sup>, mejorar el tiempo de secado y nivelación.

<sup>7</sup> JORDI CALVO CARBONELL. Pinturas y recubrimientos, introducción a su tecnología. Madrid.2009.p.11

<sup>8</sup> Ibid., p.4.

**1.1.4 Aditivos.** Dosifican en pequeñas cantidades el proceso de fabricación de las pinturas, aportando características concentradas a la pintura y estabilizándola en el periodo de almacenamiento<sup>9</sup>, dentro de este grupo se encuentran humectantes y dispersantes que facilitan la dispersión y el mojado de los pigmentos y cargas en medio solvente.

**1.1.5 Dispersante.** Este aditivo evita la floculación del pigmento durante el proceso de molienda y dispersión, junto a la resina, permite que el proceso de dispersión sea más fácil y se logre incorporar al pigmento completamente, este componente proporciona propiedades de cubrimiento y viscosidad<sup>10</sup>.

## 2 SISTEMAS DE PINTURAS

En la actualidad se cuenta con diferentes clases de pintura, cada una con composición química propia y con utilidad particular, dependiendo del uso que se le quiera dar, por ejemplo, automóviles, decoraciones, elementos de construcción, entre otros; a continuación, se dará una explicación de cada uno de los sistemas de pinturas utilizados para el desarrollo del presente trabajo.

**1.2.1 Pinturas Uretano.** A la hora del mantenimiento superficial de un automóvil este tipo de pintura es muy usada, ya que puede ser colocada sobre cualquier tipo de superficie, contando con una alta resistencia a los rayos UV<sup>11</sup>. Por otro lado, otro de los beneficios es que son bastante accesibles y de secado rápido luego de aplicarse, estas pinturas suelen ser bastantes resistentes y duraderas, por lo que no perderán su tonalidad durante un largo tiempo, debido a su composición suelen ser tóxicas por lo que se requieren equipos especiales y total cuidado al momento de manipularlas.

**1.2.2 Pinturas Acrílicas.** Se caracterizan por proporcionar un brillo bastante atractivo y facilidad al momento de aplicar, una de sus características más importantes es que provee una cubierta fuerte y resistente que protege el cuerpo del vehículo de la intemperie. Tiene como desventaja que se desgastan y pierden tonalidad al ser expuestas a los rayos ultravioletas del sol y al contacto con agentes químicos<sup>12</sup>.

---

<sup>9</sup> Ibid., p.6.

<sup>10</sup> TEGO Dispers, Revista Aditivos Humectantes y Dispersantes. Germany. 1993

<sup>11</sup> Prueba de ruta. Pinturas de uretano, metálicas o acrílicas. [Print(0)]. [Consultado el 18 de abril 2018]. Disponible en: <https://www.pruebaderuta.com/pinturas-de-uretano-metalicas-o-acrilicas-ventajas-y-desventajas.php>

<sup>12</sup> Prueba de ruta. Pinturas de uretano, metálicas o acrílicas. [Print(0)]. [Consultado el 18 de abril 2018]. Disponible en: <https://www.pruebaderuta.com/pinturas-de-uretano-metalicas-o-acrilicas-ventajas-y-desventajas.php>



**1.2.3 Pinturas Epóxicas.** Se caracterizan por ser resinas sintéticas y por tener alta resistencia química sin que le afecte los disolventes ni los aceites, estas resinas son el resultado de la reacción entre la epíclorhidrica y el bisfenol A ó sus derivados; conteniendo en su molécula grupos epoxi y grupos hidroxilo<sup>13</sup>, principalmente utilizadas para proteger y decorar paredes ya que tiene un poder adherencia en los recubrimientos, funcionales para construcciones nuevas y de mantenimiento como recubrimiento o capa de sello de pisos que no tienen altas exigencias mecánicas y químicas, es decir, cocinas, bodegas, concreto, parqueaderos, áreas de producción, etc. Su comportamiento como recubrimiento decorativo y de decoración es útil para estructuras mecánicas como puentes, escaleras, barandas, rampas y plataformas, esta pintura se presenta en dos envases, ya que está compuesta por una parte que contiene resina epoxi y en otra parte el catalizador o endurecedor. En cuanto a su tiempo de secado varia con las condiciones durante la aplicación teniendo en cuenta factores como temperatura ambiente y el espesor de la película, para alcanzar el desempeño esperado del recubrimiento como adherencia, dureza y abrasión es necesario esperar mínimo 28 días para que este tenga un curado total. La resina epóxica al ser mezclada con el producto produce una reacción exotérmica que transforma la mezcla líquida en un sólido plástico dependiendo de la temperatura.

**1.2.4 Pinturas alquídicas.** Son pinturas al aceite, cuya cadena principal es un poliéster donde su cadena principal esta modificada por moléculas de ácido graso que le otorgan las propiedades particulares; su diferencia está en que las pinturas alquídicas usan una resina para unir los pigmentos al solvente oleoso, esta adición ayuda a que la pintura seque con mayor rapidez que otras pinturas, en general se emplean como material formador de película en fondos anticorrosivos, intermedias y de terminación para ambientes urbanos exteriores<sup>14</sup>; dichas resinas pueden clasificarse de acuerdo al tipo de aceite secantes (con alto porcentaje de instauración) y no secantes (con bajo o nulo porcentaje de saturación).

### 3 TEORÍA DEL COLOR

Está formado por toda la gama del espectro visible junto al blanco y el negro, de tal forma que cualquier color del espectro visible nos ofrece una serie de variantes hacia el blanco y hacia el negro<sup>15</sup>, como se evidencia en la ilustración 5, cabe resaltar que este será el método utilizado en el presente trabajo para

---

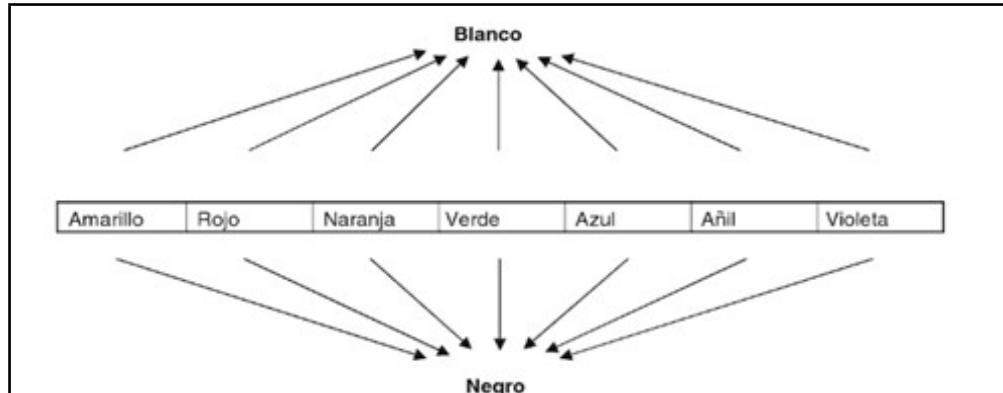
<sup>13</sup>ALONSO FELIPE, José Vicente. PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización. Universidad Politécnica de Madrid. 2013. [Consultado en abril 18 de 2018]

<sup>14</sup> Ibid.,p.11.

<sup>15</sup> Ibid.,p.16.

caracterizar el esfuerzo de color y así evaluar por medio del espectrofotómetro también llamado colorímetro otorgado por la empresa.

**Ilustración 5.** Variación de color.



**Fuente:** JORDI CALVO CARBONELL. Pinturas y recubrimientos, introducción a sutecnología. Madrid.2009. p.16 [consultado el 20 marzo 2018]

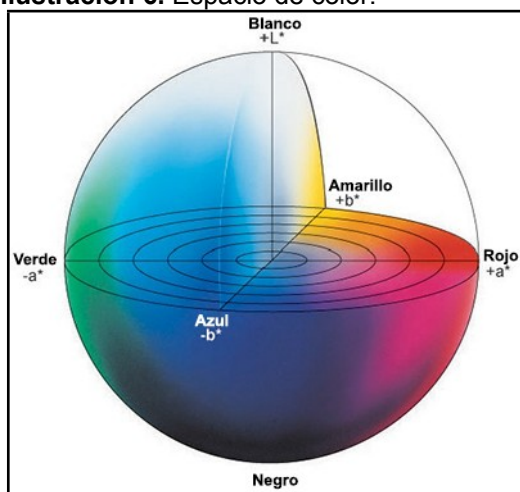
**1.3.1 Espacio de Color.** Método usado para expresar el esfuerzo de color de los concentrados pigmentarios usando algún tipo de anotación y definiendo espacios de color, incluyendo CIE XYZ, CIE  $L^*C^*h$ , y CIE  $L^*a^*b^*$ , para comunicar y expresar el color objetivamente. Este método de color  $L^*a^*b^*$ , también referido como CIELAB, es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes usado para evaluar el esfuerzo de color de un objeto. Este espacio de color es ampliamente usado porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana. En la ilustración 6 se puede evidenciar los ejes en 3 dimensiones para indicar hacia qué color indica cada uno de los presentes ejes, en este caso el eje  $L^*$  blanco para valores positivos y negro para valores negativos; mientras que en el eje  $a^*$  son valores positivos identificado con el color rojo mientras que para valores negativos se identifica con el color verde; para el eje  $b^*$  los valores positivos serán el amarillo y para colores negativos el color azul; cuando se identifican los colores, se pueden expresar en términos de matiz y luminosidad.

Al usar coordenadas como  $L^*a^*b^*$  presenta una teoría del color oponente ya que no pueden ser dos colores al tiempo en este caso rojo, verde y amarillo, azul; a continuación se muestra como,  $L^*$  indica luminosidad y  $a^*$ ,  $b^*$  representan las coordenadas cromáticas<sup>16</sup>.

- a-  $L^*$  = luminosidad
- b-  $A^*$ = coordenadas rojo/verde ( $a+$  indicativo rojo,  $-a$  indicativo verde)
- c-  $B^*$ = coordenadas amarillo/azul ( $+b$  indica amarillo,  $-b$  indica azul)

<sup>16</sup> Konika Minolta. Entendiendo el espacio de color CIE  $L^* a^* b^*$ . [Electronic (1)]. [Consultado en Febrero 172017].

**Ilustración 6.** Espacio de color.



**Fuente:** Konika Minolta. Entendiendo el espacio de color CIE L\* a\* b)\*.[consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

## 4 PROCESO DE DISPERSIÓN

Para la industria de pinturas se requieren de productos de alta calidad así como productos de bajo costo que puedan ser fácilmente adquiridos por el público, es por ello que en los recubrimientos se cuenta con una parte importante dentro del proceso llamado dispersión, el cual, consiste en la incorporación del pigmento en un vehículo líquido, esto se logra mediante un proceso de rompimiento de las partes que componen un aglomerado, que en este caso hablamos del pigmento para incorporarlo en el vehículo líquido, esto es previo a la fase de molienda, para que el material formador de película y el solvente correspondiente tengan una homogenización; para el presente se tiene la dispersión, la cual cuenta con tres pasos importantes para la elaboración de pinturas los cuales son: humectación del pigmento, desaglomeración y estabilización.

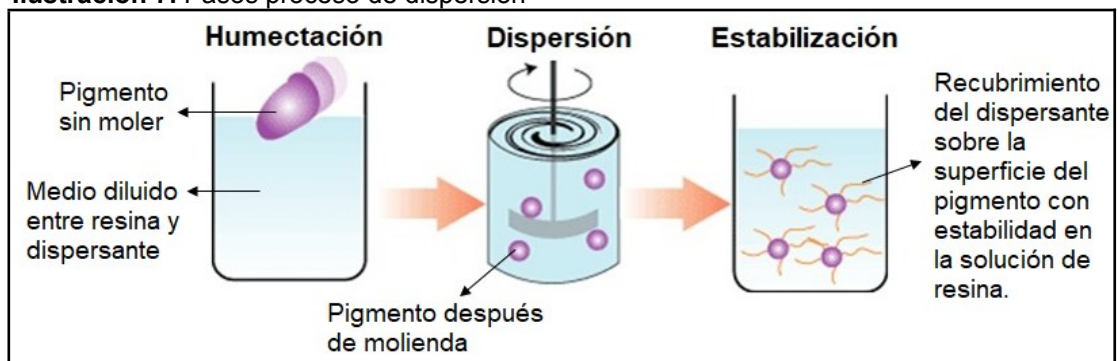
**1.4.1 Dispersión.** Esencialmente consiste en el aceleramiento de una partícula, a través de un medio viscoso; la interacción de las partículas entre ellas mismas como también el medio que lo rodea, ejerce suficientemente energía para causar la separación de las partículas en la masa, al realizar este proceso las partículas estarán libres en el medio líquido, lo que previene la aglomeración dándole una formulación química estable. Unos de los factores involucrados para determinar la correcta formulación con respecto al proceso de dispersión se nombrarán a continuación.

- Proporción pigmento y dispersante

- Formulación de la viscosidad
- Sólidos totales
- Densidad de la formulación

Se debe tener en cuenta que al establecer las proporciones de pigmento y dispersante, se asegura que haya suficiente líquido disponible para encapsular la superficie de las partículas durante el proceso de dispersión<sup>17</sup>; para obtener los máximos beneficios de un pigmento, es necesario obtener la mayor reducción posible al tamaño de partícula, esto con el fin de usar la menor cantidad de pigmento. En la ilustración 7 para el primer procedimiento se encuentra el pigmento sin moler en un medio diluido entre resina y dispersante, luego está la dispersión el cual es un proceso de molienda por el que pasa el pigmento para disminuir su tamaño de partícula el cual será para este trabajo 7 UH ( $7,11 \times 10^{-3}$  mm), valor determinado por la empresa, para finalizar se encuentra la estabilización en donde la superficie del pigmento es recubierto por el dispersante con el fin de mantener estable la solución de resina.

**Ilustración 7.** Pasos proceso de dispersión



**Fuente:** "Dispersing Process". Incline.gr. [consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.incline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

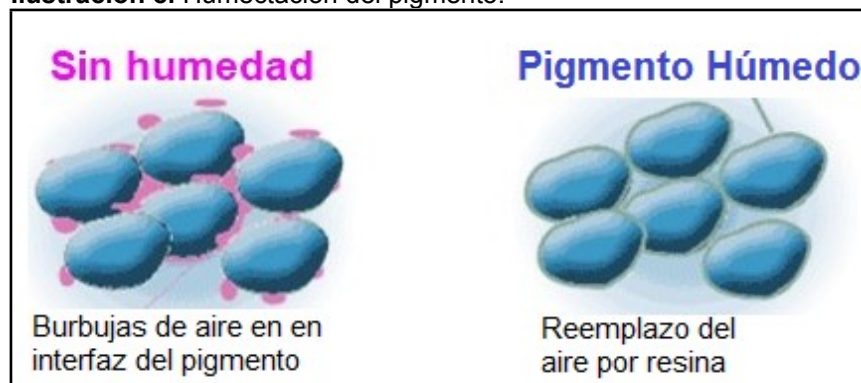
**1.4.2 Humectación del Pigmento.** Involucra remover de la superficie del pigmento del aire, líquidos o cualquier otro material para remplazarlo por moléculas del vehículo, para lograr la eficiencia en este paso depende de la tensión superficial del pigmento y del vehículo, como de la viscosidad de la mezcla resultante<sup>18</sup>. En la ilustración 8 se evidencia lo anteriormente explicado en donde el pigmento presenta micro burbujas de aire en la interfaz, esto hace que el pigmento no se encuentre humectado, mientras que para este proyecto es necesario que el pigmento se encuentre húmedo, esto quiere decir, que se debe reemplazar el aire por la resina.

<sup>17</sup> [Anónimo]Revisión bibliográfica. En: Revista Española Pinturas Pigmentos Colorantes. vol. 32, p.26.

<sup>18</sup> Catarina.udlap.mx. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA. [Consultado el 18 de abril de 2018]. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/mondragon\\_n\\_vy/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/mondragon_n_vy/capitulo4.pdf)

Durante dicho proceso se observan tres etapas, adhesión, penetración y propagación; en la primera etapa involucra el contacto de las partículas asociadas al pigmento con una determinada rugosidad superficial con el vehículo, una vez que el contacto entra en las dos fases, la superficie del líquido debe extenderse para humectar un área irregular del sólido ligeramente superior debido a su rugosidad<sup>19</sup>; en la segunda etapa el vehículo ingresa por capilaridad en los poros del pigmento; para la tercera etapa finalmente el vehículo ya se encuentra sobre la superficie formando una película con pocas moléculas de espesor en donde se encuentran - dos fases, líquido- sólido, y líquido y aire.

**Ilustración 8.** Humectación del pigmento.



**Fuente:** Dispensing Process". Incline.gr. [consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.incline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

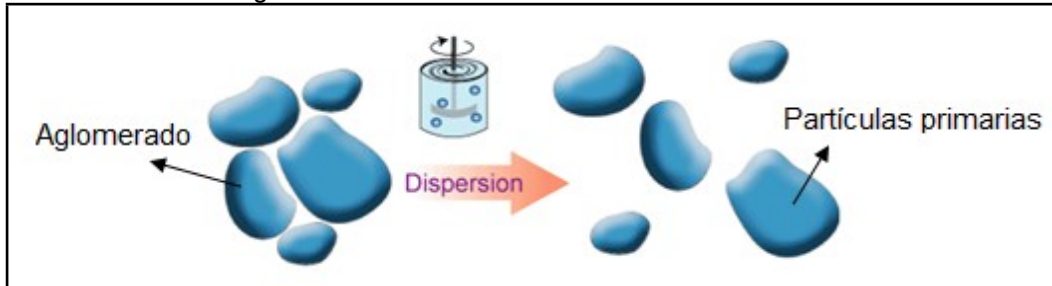
**1.4.3 Desaglomeración.** Una vez que se ha realizado la humectación es necesario desaglomerar las partículas del pigmento como se evidencia en la ilustración 9, esto es elaborado por una acción mecánica; al ser las partículas del pigmento llevadas a partículas individuales esto hace que se recorra mayores áreas de superficies empezando a ser expuestas al vehículo. Durante esta etapa la cantidad de vehículo libre disminuye, es decir, tanto la viscosidad de la dispersión aumenta debido a las altas temperaturas y la separación de partículas se vuelve más eficiente.

Este proceso de dispersión requiere de energía; estos pigmentos son elaborados con un tratamiento en la superficie, con el propósito de reducir o inhibir la aglomeración, son utilizadas para pinturas, plásticos y recubrimientos<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> GIUDICE, Carlos; PEREYRA, Andrea. Tecnología de pinturas y recubrimientos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional- Argentina (2009). [Consultado el 18 de abril de 2018]

<sup>20</sup> [Anónimo]Revisión bibliográfica. En: Revista Española Pinturas Pigmentos Colorantes. vol. 32,

**Ilustración 9.** Desaglomeración.



**Fuente:** Dispensing Process". Incline.gr. [consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.incline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

**1.4.4 Estabilización de Suspensión del Pigmento.** La dispersión de pigmento se estabiliza mediante agentes de dispersión con el fin de evitar la formación de flóculos no controlados como se evidencia en la ilustración 10. La suspensión resultante se estabiliza debido a la adsorción de las especies de aglutinante o moléculas en la superficie del pigmento<sup>21</sup>.

**Ilustración 10.** Estabilización de suspensión del pigmento



**Fuente:** Dispensing Process". Incline.gr. [consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.incline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion>

## 5 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Para la elaboración de concentrados pigmentarios la empresa Sika S.A.S utiliza diferentes equipos e instrumentos que contribuyen directamente con la alta calidad de sus pinturas, por ello, facilitó éstos equipos para el desarrollo del presente trabajo, con el fin de tener obtener resultados confiables en el producto final. A continuación, se describen cada uno de los equipos utilizados.

**1.5.1 Balanza Ohaus Ec.** Esta balanza se utiliza para la medición de la mezcla del vehículo, dispersante y pigmento respectivamente; caracterizada por ser una

<sup>21</sup> JUAN SERNA. Tesis. Evaluación de la producción de las pastas pigmentarias para los diferentes sistemas de pinturas en la empresa Sika S.A.S.Bogota.2016

de las balanzas digitales económicas, de funcionamiento rápido, preciso mientras ofrecen durabilidad y portabilidad al ser un diseño práctico; cuenta con una resolución interna de 1:600.000, pudiendo contar piezas desde 0,01g hasta 0,1g de peso medio<sup>22</sup>. Debido a que la experimentación es a nivel laboratorio su tamaño es ideal para el proyecto ya que su cantidad no superó los 1000 gr en cada uno de los colores a desarrollar. En la ilustración 11 se evidencia el equipo.

**Ilustración 11.** Balanza Ohaus Ec.



**Fuente:** Balanzas de laboratorio. Ohaus. Consultado [20 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://us.ohaus.com/en-US/>

**1.5.2 Molino y Agitador Cowles.** Cuenta con un agitador de capacidad de 220 a 3320 RPM y 110V 60Hz ¼ HP según normas establecidas por la empresa SiKa S.A.S para el proceso de producción de las pinturas, además cuenta con un tanque con capacidad de 1.5 L en acero inoxidable (para el proceso de molienda se introducen perlas de circonio con un diámetro 1,4 a 1,6 mm), este tanque es utilizado en el laboratorio debido a su tamaño ideal para las pruebas. En la ilustración 12 se observa el molino el cual cuenta con dos entradas, en la parte posterior se inyecta aire y en la parte inferior se introduce agua fría para mantener las condiciones necesarias en su interior para mejores resultados de la mezcla.

---

<sup>22</sup> Balanza OHAUS serie EC – Rapidez; Exactitud y portabilidad para operaciones de recuento [Consultado el 18 de abril de 2018].

**Ilustración 12.** Molino y agitador cowles.



Fuente: elaboración propia.

**1.5.3 Grindometro Hegman.** Usado para determinar el grado de molienda (tamaño de partícula). Este equipo está elaborado en acero templado AISI-420, con longitud de 165 mm, escala en micras, 2 ranuras de pendiente gradual de 25 mm, un ancho de 200 mm, con la escala en micras en una mayor resolución. El ensayo se realiza colocando la muestra en la parte más profunda de la ranura y con ayuda del rascador incluido<sup>23</sup> como se observa en la ilustración 13, va ascendiendo a lo largo de la pendiente, el tamaño de las partículas viene indicado cuando el material se detiene; en éste proyecto será 7,5 y 8 UH, especificaciones indicadas por la empresa.

**Ilustración 13.** Grindometro Hegman.



Fuente: BYK. Finura de molienda. [Electronic(1)]. [Consultado el 18 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.byk.com/es/instrumentos/productos/download.php?doc=171>

**1.5.4 Viscosímetro Brookfield.** Se basa en el principio de la viscosimetría rotacional, este equipo mide en unidades Krebs y centipoise por medio de la torsión la cual es proporcional a la resistencia viscosa sobre el eje sumergido por medio de una aguja o paleta (ilustración 15); tiene una velocidad constante sobre

<sup>23</sup> BYK. Finura de molienda. [Electronic(1)]. [Consultado el 18 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.byk.com/es/instrumentos/productos/download.php?doc=171>



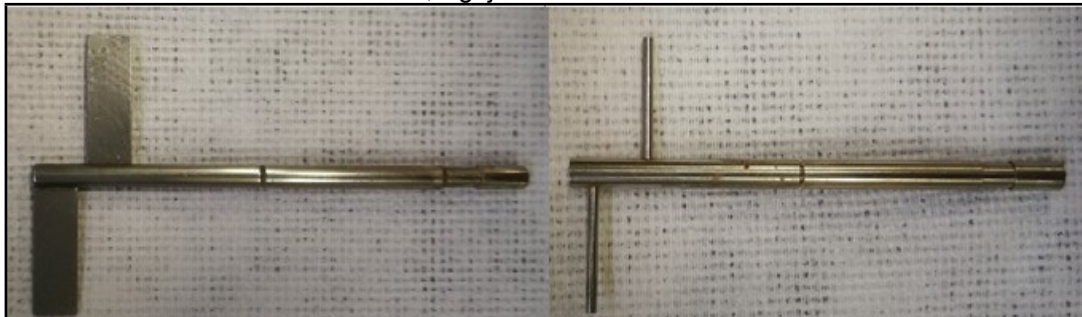
el fluido a evaluar; en la ilustración 14 se evidencia el viscosímetro que utiliza la empresa, en donde mide viscosidad entre 1 Cp y  $6 \times 10^6$  Cp, con velocidades entre 0.01 y 200 RPM, precisión de  $\pm 1,0\%$  del rango de medición en uso y tienen una capacidad de repetición con  $\pm 0,2\%$ <sup>24</sup>. Las pruebas pueden ser duplicados en cualquier lugar del mundo cuando se utiliza el mismo modelo. Procedimiento interno 5.09.05 según la norma interna de Sika S.A.S.

**Ilustración 14.** Viscosímetro Brookfield.



Fuente: elaboración propia.

**Ilustración 15.** Viscosímetro-Paleta, Aguja.



Fuente: elaboración propia.

**1.5.5 Estufa Marca Memmert.** Esta estufa cubre una extensa gama de aplicaciones, especialmente maneja un rango de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $300^{\circ}\text{C}$ , destacada por

<sup>24</sup> LABEQUIM S. A. Viscosímetros Brookfield. [Electronic(1)]. [Consultado el 18 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.instrumentacion.com.mx/HTML/VISCOSIMETROS.htm>

ser de total precisión y alta seguridad<sup>25</sup>. Su funcionamiento consiste en calentar el aire exterior en una cámara de precalentamiento mezclado con el aire del interior, esto con el fin de que no se presenten alteraciones en las mezclas. En la ilustración 16 se evidencia la estufa usada para la realización de concentrados pigmentación en una prueba llamada durabilidad en donde el rango de temperatura debe ser de 60°C, acorde con los parámetros de Sika S.A.S.

**Ilustración 16.** Estufa marca Memmert.



**Fuente:** Memmert Experts in Thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado. [Electronic(1)]. [consultado el 20 marzo 2018]. <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espanol-D10027.pdf>

**1.5.6 Analizador de humedad halógeno HE73.** Este equipo constituye una solución fiable y económica para determinar el contenido de humedad de diversos productos, con el fin de mantener su calidad y garantizar un período de conservación óptimo; el analizador de humedad funciona según el principio termo-gravimétrico, también conocido como principio de «materia seca» (LOD)<sup>26</sup>. En la ilustración 17 se evidencia el equipo de referencia HE73 en donde proporciona orientación gráfica en la pantalla para ver claramente los tres pasos del proceso: la tara del platillo vacío; el paso para añadir la muestra y distribuirla de manera uniforme; para luego pulsar "Iniciar"; el contenido final de humedad de la muestra aparece en la pantalla después de unos minutos; La avanzada tecnología halógena es la clave para un calentamiento rápido y para control preciso de la temperatura. Mediante este proceso se puede tener certeza del producto para que cumpla con las tolerancias definidas para cada proceso

<sup>25</sup> Memmert Experts in Thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado. [Electronic(1)]. [consultado el 20 marzo 2018]. <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espanol-D10027.pdf>

<sup>26</sup> METTLER TOLEDO. ¿Qué es un analizador de humedad y como se usa? [Consultado el 20 mayo del 2017] Disponible en: <https://www.mt.com/mx/es/home/library/FAQ/laboratory-weighing/what-is-a-moisture-analyzer.html>

específico y permita realizar en forma inmediata los ajustes necesarios en el proceso de fabricación, lo que ahorra tiempo y evita el desperdicio de productos fuera de especificación<sup>27</sup>.

**Ilustración 17.** Analizador de humedad halógeno HE73.



**Fuente:** Reporte industrial. Consultado [20 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Analizadores-de-humedad-halogenos-HE73-para-resultados-rapidos+50000690>

**1.5.7 Aplicador tipo Bird** Fabricado en acero inoxidable, con un cuerpo afilador prismático con el fin de generar una película uniforme al momento de aplicar los concentrados pigmentarios por color<sup>28</sup>, cuenta con 8 espesores en unidades mills, útil para generar diferentes medidas de revestimiento, el equipo se observa en la ilustración 18, sus dimensiones son de 15 cmx 15 cm de acuerdo a la norma interna de Sika S.A.S.

---

<sup>27</sup> Analizadores de humedad halógenos HE73 de Mettler-Toledo [consultado el 20 marzo 2018] Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Analizadores-de-humedad-halogenos-HE73-para-resultados-rapidos+50000690>

<sup>28</sup> NEURTEX instruments. Equipos y ensayos para control de calidad. Aplicador Bird. [consultado el 20 de abril de 2018] Disponible en: <https://www.neurtek.com/es/pintura-recubrimientos/aplicadores-laboratorio/aplicador-bird>

**Ilustración 18.** Aplicador tipo Bird.



**Fuente:** elaboración propia.

**1.5.8 Lenetas marca Neurtek.** Cartulinas con áreas blancas y negras de formato 2A cuyas dimensiones  $140 \times 254 \text{ mm}^{29}$ , utilizadas por la empresa para el control de opacidad y color en los diferentes recubrimientos de forma visual, en la ilustración 19 se observa las lenetas utilizadas en Sika S.A.S.

**Ilustración 19.** Lenetas marca Neurtek.



**Fuente:** elaboración propia.

**1.5.9 Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint.** Este instrumento cuenta con tres ángulos  $20^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $85^\circ$ , utilizado para medidas de brillo de las superficies, recubrimientos brillantes y mates<sup>30</sup>, en la ilustración 20 se observa el equipo que usa la empresa Sika. En el proceso de pruebas de este proyecto se utiliza el Angulo de  $60^\circ$ , que es de medición universal y de geometría más comúnmente especificada para aplicaciones tales como la pintura, revestimientos y básica para la evaluación de brillo en cualquier superficie.

<sup>29</sup> Neurtek. Cartulinas Lenteas. [Electronic(1)]. [Consultado el 20 de abril de 2018]. Disponible en: [http://www.neurtek.com/descargas/neurtek\\_cartulinas\\_leneta\\_es.pdf](http://www.neurtek.com/descargas/neurtek_cartulinas_leneta_es.pdf)

<sup>30</sup> Rhopoint. Novo- Trio [Electronic(1)]. [Consultado el 20 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.rhopointinstruments.com.mx/product/brillometro-novo-gloss-trio/>

**Ilustración 20.** Reflectómetro Novo-Gloss trio 20-60-85 Marca Rhopoint.



Fuente: elaboración propia

**1.5.10 Pistola para pintar marca Devilbiss.** Instrumento para aplicar los concentrados pigmentarios a las láminas metálicas, usa 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 según las normas establecidas por la empresa Sika. Este equipo regula la presión en aplicación secado para lograr una aspersion óptima.

**Ilustración 21.** Pistola para pintar marca Devilbiss.

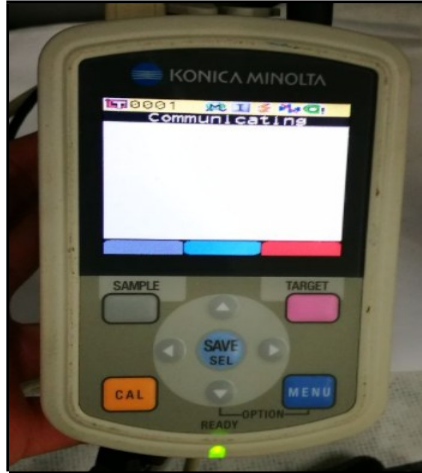


Fuente: ifexport. Equipos de pintura. Devilbiss. [20 de marzo de 2018]. Disponible en:  
<http://www.acabadoindustria.com/2016/02/25/pistolas-de-pintar-devilbiss-2/>

**1.5.11 Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta.** Equipo idóneo para análisis de color, formulación, inspecciones de control de calidad de color y procesos de control dentro de ambientes de investigación y fabricación<sup>31</sup>. En la ilustración 22 se evidencia el equipo utilizado para el desarrollo de este proyecto en donde demuestra alta precisión para encontrar el color de pigmentos según su opacidad o brillo, sus características avanzadas ayudan a establecer y cumplir con los estándares de calidad de la empresa.

<sup>31</sup> Konica Minolta. Espectrofotómetro CM-600d. [Electronic(1)]. [Consultado el 21 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-600d-spectrophotometer/>

**Ilustración 22.** Espectrofotómetro CR-600D Marca Konika Minolta.



Fuente: elaboración propia.

**1.5.12 Cámara UV Marca QUV.** Este equipo de envejecimiento reduce el tiempo de daño causado por la luz solar, la lluvia y el rocío<sup>32</sup>; utilizada para simular el envejecimiento en exteriores. En el desarrollo de este proyecto es necesario realizar un ensayo en esta cámara que consiste en exponer las láminas metálicas una vez se apliquen los concentrados pigmentarios por cada color (ilustración 23), a luz ultravioleta con altas temperaturas, en donde se simula los efectos de la luz solar y la humedad de la lluvia y el rocío que puede haber en el ambiente. Con el uso de estos elementos se reduce a días o semanas el tiempo comparado al dejarlo a condiciones naturales. (ISO 16474-3).

**Ilustración 23.** Cámara UV Marca QUV

---

<sup>32</sup> Q-LAB. Cámara de envejecimiento acelerado QUV. [Electronic(1)].[consultado el 21 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>



Fuente: elaboración propia.

**1.5.13 Cámara Salina** Este equipo también conocido como cámara de corrosión por niebla salina (ilustración 24) evalúa el comportamiento de un material en un ambiente químicamente activo, bajo la determinación de cloruro de sodio. Para el presente trabajo se realizó un ensayo, al exponer las láminas metálicas con concentrado pigmentario (recubrimiento) durante un periodo de tiempo en la cámara, bajo condiciones controladas como son: disolución de 50g/l de NaCl, a una temperatura de 35°C y un pH comprendido entre 6.5 y 7.2<sup>33</sup>.

Ilustración 24. Cámara salina.



Fuente: elaboración propia.

**1.5.14 Cámara Lluvia Ácida.** Todos los materiales expuestos al medio ambiente sufren alteraciones de sus propiedades como respuesta a los continuos cambios que se producen en el entorno natural en el que se encuentran<sup>34</sup>. En la ilustración 25 se observa la cámara utilizada para el proyecto en donde se realizó un

---

<sup>33</sup> LAVERDE LAVERDE.Victor Hugo. Diseño y fabricación de una cámara salina para análisis de corrosión en materiales. 2011.

<sup>34</sup> JAVIER REYES Y FRANCISCO CORVO. Uso de una cámara de ensayos acelerados para el estudio de la degradación de. uso de una cámara de ensayos acelerados. 2011. P 2

ensayo según la norma ISO 3231<sup>35</sup> que permite determinar la resistencia de las láminas metálicas con concentrados pigmentarios (recubrimientos), simulando el efecto de lluvia ácida (para ello se depositó 0,12g de sulfato de sodio y 4,2g de ácido sulfúrico según norma interna de Sika S.A.S) que se produce cuando el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno procedentes del uso de combustibles fósiles reaccionan con el oxígeno atmosférico, la humedad y el agua lluvia formando soluciones del ácido sulfúrico y nítrico.

**Ilustración 25.** Cámara lluvia ácida.



Fuente: elaboración propia.

## **6 PRODUCCIÓN DE PINTURAS**

En este punto, es importante mencionar que cada una de las pinturas desarrolladas por Sika S.A.S pueden tener diferentes propiedades, tanto de color, porcentaje de sólidos, viscosidad, entre otros. Esto conlleva a que el proceso de producción de las pinturas sea diferente entre sí. Por ello, se muestra a continuación la metodología utilizada por la empresa para la elaboración de pinturas con su correspondiente diagrama de proceso y balances de masa para la mayoría de los productos como lo son pinturas y/o recubrimientos a nivel laboratorio.

**1.6.1 Proceso de elaboración de pinturas en la empresa SIKA S.A.S.** Para la elaboración de concentrados pigmentarios la empresa cuenta con una selección

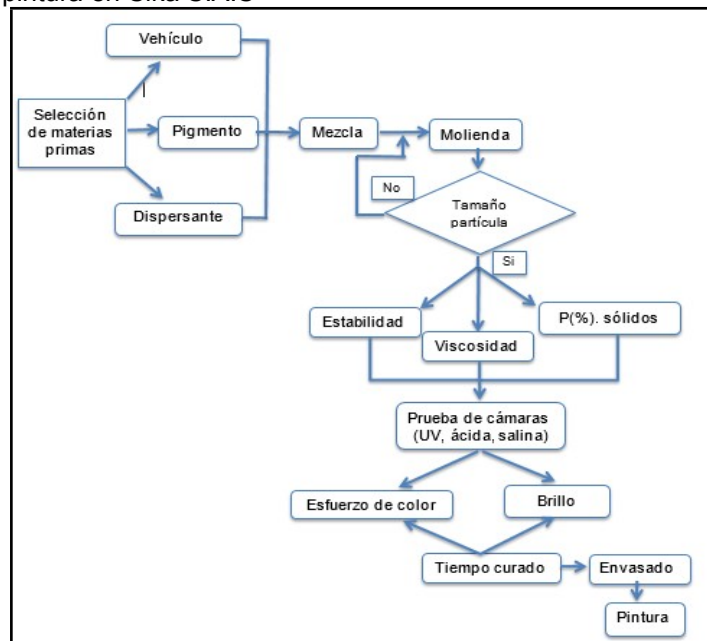
---

<sup>35</sup> International organization for standardization. ISO 3231. Paints and varnishes determination of resistance to humid atmospheres containing sulfur dioxide. 1999.



de materias primas como son vehículo o resina, dispersante, pigmentos (orgánicos) y aditivos (según finalidad), cada una de ellas para formar una mezcla totalmente homogénea con ayuda de un molino y agitador crowles mencionado en el numeral 1.5.2, teniendo en cuenta que el proceso de molienda tarde entre 25 a 30 minutos, dedido a que los pigmentos desarrollados por la empresa son orgánicos, esta mezcla es de acuerdo a la pintura a elaborar. Para asegurar la calidad de cada uno de sus productos, es necesario medir las variables de viscosidad (numeral 1.5.4, anexo 5), tamaño de partícula (numeral 1.5.3, anexo 6), estabilidad (numeral 1.5.5, anexo 7) y porcentaje de sólidos (numeral 1.5.6) respectivamente, finalmente la pintura pasa por una variedad de pruebas en diferentes cámaras (descritas en el numeral 1.5.11, 1.5.13 y 1.5.14) esto dependiendo del uso de la pintura, una vez terminado el tiempo de prueba, se evalúa la variable esfuerzo de color (numeral 1.5.12) y brillo (numeral 1.5.9); para posteriormente envasar la pintura en un tarro metálico de 1/8 galón; a continuación se evidencia el diagrama de proceso experimental a nivel laboratoriro para la producción de pinturas en la empresa Sika S.A.S.

**Diagrama 1.** Proceso experimental para la producción de pintura en Sika S.A.S

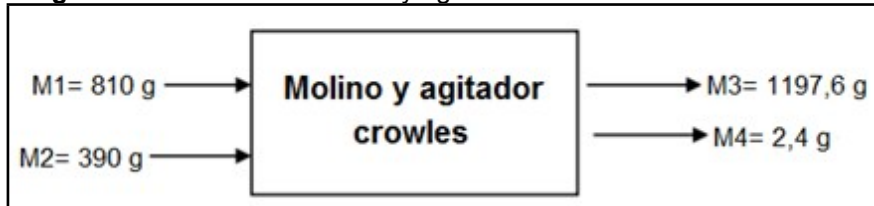


Fuente: elaboración propia.

**1.6.2 Balance de masa.** Para el balance de masa se toma 1,2 L lo que equivale a 1200 gr como representación de la cantidad de producción de pinturas por la empresa mensualmente a nivel laboratorio, para esta formulación se tienen en cuenta las materias primas como lo son vehículos o resinas, disolventes, pigmentos (dependiendo del color a desarrollar), y aditivos todas ellas acorde a las normas internas de Sika S.A.S; el tiempo de molienda que se emplea es de

25 a 30 minutos debido a que los pigmentos orgánicos tardan mas tiempo en romperse.

**Diagrama 2.** Balance del Molino y agitador crowles



Fuente: elaboración propia.

Donde

M1= Resina, disolventes y aditivos

M2=Pigmento

M3=Producto de mezclado

M4=Perdidas del mezclado

**Ecuación 1.** Balance de masa del Molino y agitador crowles

$$M1 + M2 = M3 + M4$$

$$M4 = 2,4 \text{ g}$$

**Ecuación 2.** Porcentaje de pérdida en la mezcla

$$\% M4 = \frac{((M1 + M2) - M3)}{(M1 + M2)}$$

$$\% M4 = 0,2\%$$

En el diagrama 2 se observa el balance de masa respectivo para el molino y agitador crowles, principalmente se origina la mezcla junto con sus respectivas ecuaciones 1 y 2, donde la ecuación 1 representa el valor de M4 la cual está representada por las pérdidas en la mezcla registradas en 2,4 gr, mientras que en la ecuación 2 se representa el porcentaje de la pérdida de mezcla la cual corresponde al 0,2% por arrastre<sup>36</sup>.

**1.6.3 Características de las pinturas.** Para determinar la calidad de las pinturas se determinan diferentes parámetros según norma interna de SIKA S.A.S para la viscosidad, tamaño de partícula y porcentaje de sólidos como se explica a continuación.

**Viscosidad.** Mediante el equipo descrito en el numeral 1.5.4 se analiza la manejabilidad de la mezcla, teniendo en cuenta que la temperatura y aguja deben ser más mismas (según normal interna de Sika S.A.S; usualmente la

<sup>36</sup> Sika S.A.S. Manual interno de Sika S.A.S.

viscosidad de estos concentrados pigmentarios varia un 20% cuando la mezcla se expone a estabilidad.

**Tamaño de partícula.** Mediante el equipo descrito en el numeral 1.5.3 se analiza la finura del pigmento el cual comprende en unidades Hegman entre 7 a 8 UH; esta variable es utilizada para verificar la dispersión y molienda de cada uno de los pigmentos en el sistema. Según norma interna de Sika S.A.S.

**Porcentaje de sólidos.** Por medio de esta variable se obtiene información de la cantidad de pigmento que se pudo haber perdido en el proceso de molienda (no más del 30% de la mezcla) con el instrumento indicado en el numeral 1.5.6; a continuación, se representa el balance masa (ecuación 3) en donde M1 representa la mezcla de aditivos, dispersante y vehículo o resinas, M2 corresponde a la cantidad de pigmento inicialmente y M3 el resultado obtenido del equipo durante la prueba de calidad<sup>37</sup>. Mediante la ecuación 4 se determina el porcentaje de sólidos al final de la mezcla una vez que se despeja el valor de X3.

**Ecuación 3.** Balance de masa porcentaje de sólidos

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

**Ecuación 4.** Porcentaje sólidos al final de la mezcla

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

En el siguiente capítulo se desarrolla la metodología del proceso de producción de los concentrados pigmentarios para los colores óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde encontrando así la relación de pigmento y dispersante, de tal forma que se obtenga la compatibilidad con los diferentes sistemas de pinturas, para dar cumplimiento al objetivo principal del proyecto.

## **1. ESTABLECER LA RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO Y DISPERSANTE A NIVEL LABORATORIO**

En este capítulo se evidencia cada uno de los métodos, procedimientos y normas establecidas por la empresa Sika S.A.S, quienes proporcionan su incondicional apoyo brindando espacios en el laboratorio y facilitando las materias primas necesarias para el desarrollo de este proyecto, así mismo todos los equipos,

---

<sup>37</sup> Sika S.A.S. Manual interno de Sika S.A.S.

instrumentos e información pertinente. A continuación, se describe el proceso de producción de los concentrados pigmentarios, óxido de hierro amarillo, óxido de hierro rojo y cromo verde, con su respectivo diseño de experimentos para establecer una relación entre pigmento y dispersante, con el fin de obtener resultados óptimos.

## **7 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de éste proyecto se toma como base el proceso de producción de concentrados pigmentaria a cargo de la empresa Sika S.A.S descrito en el numeral 1.6.1. A continuación se presenta la descripción completa del proceso utilizado para desarrollar cada uno de los concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde.

## **8 SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS**

Para la selección de materias primas se tiene en cuenta los principales componentes para elaborar los concentrados pigmentarios que son: vehículo, dispersante y pigmento.

**2.2.1 Vehículo o resinas.** La resina a utilizar es una mezcla de diferentes solventes proporcionados por la empresa Sika S.A.S, esta mezcla genera una química universal que indica una alta compatibilidad química en diferentes sistemas de pinturas, con una volatilidad media, baja viscosidad y una alta facilidad para la dispersión del pigmento (Según norma interna de Sika S. A. S.).

**2.2.2 Dispersante.** Este es suministrado por uno de los distribuidores de Sika S.A.S, es de cadenas poliméricas largas de base poliéster, compatible para sistemas de pigmentos orgánicos e inorgánicos; es aplicado en la producción de todos los concentrados pigmentarios con el fin de mejorar la molienda. (Según norma interna de Sika S. A. S.).

**2.2.3 Pigmento.** Para hacer la selección de los pigmentos inorgánicos se tiene en cuenta que son colores totalmente nuevos y por lo tanto de gran importancia, al ser pigmentos inorgánicos su molienda y dispersión no presenta dificultad ya que sus partículas tienden a separarse con facilidad porque son menos volátiles que otros pigmentos que tienen en la empresa; los colores a desarrollar son: óxido de hierro amarillo y rojo, descritos en el numeral 1.1.2.3 ilustraciones 2 y 3, óxido de cromo verde descrito en el numeral 1.1.2.3 ilustración 4.

## **9 ELABORACIÓN DE CONCENTRADOS PIGMENTARIOS**

Para la elaboración de concentrados pigmentarios, se agrega en el molino (ilustración 12) la mezcla de vehículo, dispersante y pigmento los cuales son tres colores, óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde teniendo en cuenta que primero se inicia por el color más claro y finaliza por el más oscuro; con ayuda de los proveedores se escogen las concentraciones dependiendo del área superficial del pigmento, esto para obtener un producto de calidad. Luego de obtener la mezcla, se introduce en el molino perlas de circonio en relación 1:1 con la mezcla, esto para analizar el comportamiento de los concentrados pigmentarios variando pigmento y dispersante; una vez la mezcla queda lista se realiza una agitación por 20 minutos en un proceso de molienda con 1580 RPM con el objetivo de disminuir el tamaño de partícula del pigmento, para ello se cuenta con la ayuda de las perlas de circonio ya que estas generan choques entre sí disminuyendo el tamaño de partícula del pigmento, cada 10 min se debe mirar el tamaño de partícula durante 2 ciclos con el instrumento Grindometro Hegman (ilustración 13), este debe tener un valor entre 7 y 8 UH que equivale a  $7.11 \times 10^{-3}$  y  $8.11 \times 10^{-3}$   $\mu\text{m}$ , (basado en la norma ISO1524), para posteriormente separar la mezcla en dos envases uno de vidrio que será para tomar todas las muestras necesarias y otro envase de metal el cual se deja a temperatura ambiente con la mezcla. En la ilustración 26 se evidencia la toma del tamaño de partícula para los tres colores descritos anteriormente demostrando fluidez, buen manejo y sin evidencia de grumos para cada uno de los tres pigmentos, este proceso se realiza con cada uno de los concentrados pigmentarios a elaborar, cabe aclarar que este paso es de vital importancia para el desarrollo del proyecto porque esta variable ayuda en la selección del mejor concentrado pigmentario por color. En el diagrama 3 se evidencia el procedimiento anteriormente descrito.

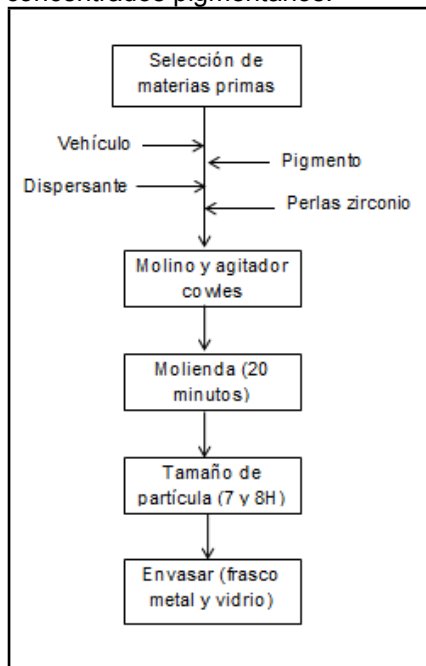
Para el diseño de experimentos se realiza el modelo factorial en donde se escogen dos variables de concentración, es decir, será tomado el porcentaje de pigmento y el porcentaje de dispersante, porcentajes que representan el total de cada mezcla; mientras las variables respuesta serán respectivamente la viscosidad y el esfuerzo de color; para tener un mejor resultado se tienen 3 niveles.

**Ilustración 26.** Toma de tamaño de partícula para óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde.



**Fuente:** elaboración propia.

**Diagrama 3.** Elaboración de concentrados pigmentarios.



**Fuente:** elaboración propia.

## 10 VARIABLES DE LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS

A continuación, se explicarán las variables establecidas por la empresa para obtener las mejores condiciones en los concentrados pigmentarios, de allí una de las variables que será útil para descartar ensayos serán la estabilidad y

porcentaje de sólidos, mientras que la evaluación del mejor concentrado pigmentario será tomada de las variables viscosidad y esfuerzo de color.

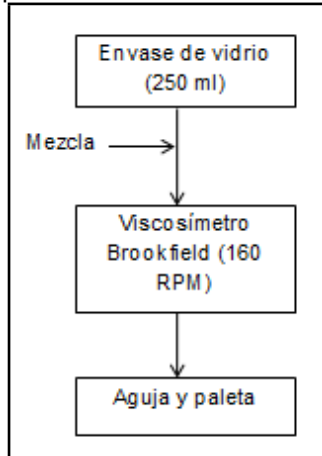
**2.4.1 Viscosidad.** Para medir la viscosidad se utilizó el equipo descrito en el numeral 1.5.4., que consiste en depositar la mezcla del concentrado pigmentario en un envase de vidrio de 250 ml, se llena el 80% del envase para que el equipo pueda ser más preciso, en el utilizamos dos agujas (ilustración 15) a 160 RPM, el equipo dará unidades en Krebs (Uk); este procedimiento se realiza antes y después de estabilidad para cada una de las muestras por color. En la ilustración 27 se evidencia la toma de viscosidad para los colores óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde (según normas internas de Sika S.A.S). En el diagrama 4 se evidencia el procedimiento anteriormente descrito.

**Ilustración 27.** Toma de viscosidad para óxido de hierro amarillo, rojo y cromo verde.



Fuente: elaboración propia

**Diagrama 4.** Metodología para la variable viscosidad.



Fuente: elaboración propia.

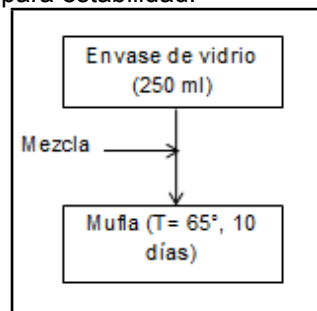
**2.4.2 Estabilidad.** Para medir esta variable, una vez que se toma la viscosidad para cada una de las muestras por color, los envases de vidrio son llevados a una mufla descrita en el numeral 1.5.5 a una temperatura de 65°C durante 10 días (según norma NTC 6108), esto con el fin de observar cambios en las mezclas bajo el efecto de la temperatura de 65°C como es la sedimentación; en la ilustración 28 se evidencia las muestras de los concentrados pigmentarios óxido de hierro rojo y cromo verde, cabe aclarar que después de pasar los 10 días las muestras en el envase de vidrio serán comparadas con los envases de metal teniendo en cuenta la sedimentación de cada muestra (según norma interna de Sika S.A.S). En el diagrama 4 se evidencia el procedimiento anteriormente descrito.

**Ilustración 28.** Prueba de estabilidad para óxido de hierro rojo y cromo verde.



Fuente: elaboración propia.

**Diagrama 4.** Metodología para estabilidad.



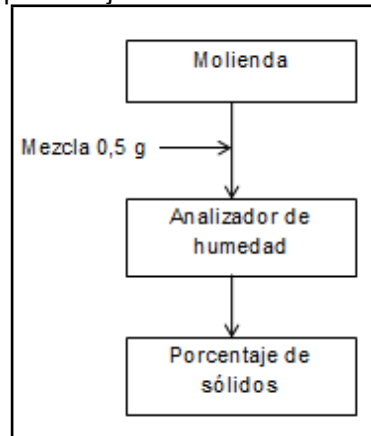
Fuente: elaboración propia.

**2.4.3 Porcentaje de sólidos.** Para medir esta variable se toma una pequeña muestra de los concentrados pigmentarios desarrollados de 0,5 g, y se lleva al equipo descrito en el numeral 1.5.6 a una temperatura de 150°C (según norma



interna de Sika S.A.S) después de su proceso de molienda, esto con el fin de determinar la cantidad de pigmento que se pudo haber perdido durante el proceso. En el diagrama 5 se evidencia el procedimiento de lo anteriormente descrito.

**Diagrama 5.** Metodología para porcentaje de sólidos.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.4.4 Esfuerzo de color.** Para realizar el esfuerzo de color se hizo una mezcla con una pasta blanca base uretano y un barniz, para esta muestra la cantidad de pigmento debe ser proporcional para todos los ensayos (los ensayos se tomaron antes y después de estabilidad para un total de 18 muestras por cada color como se evidencia en la ilustración 29), se debe tener en cuenta que los concentrados pigmentarios utilizados son las muestras depositadas en los frascos metálicos dejados a temperatura ambiente, que en este caso son antes de estabilidad y los envases de vidrio tomados como después de estabilidad porque estos fueron los introducidos en el horno.

Para el desarrollo de la variable de esfuerzo de color, se hizo por medio de una aplicación en lenetas descritas en el numeral 1.5.8, con ayuda del aplicador tipo Bird descrito en el numeral 1.5.7, como se evidencia en la ilustración 30, la aplicación de la muestra (concentrados pigmentario cromo verde) sobre las lenetas (según norma interna de Sika S.A.S); una vez que las lenetas se encuentran totalmente secas, se midió la luminosidad y colorimetría con el espectrofotómetro descrito en el numeral 1.5.12. En el diagrama 6 se evidencia el procedimiento de lo anteriormente descrito.

**Ilustración 29.** Concentrados pigmentarios por color con base uretano.



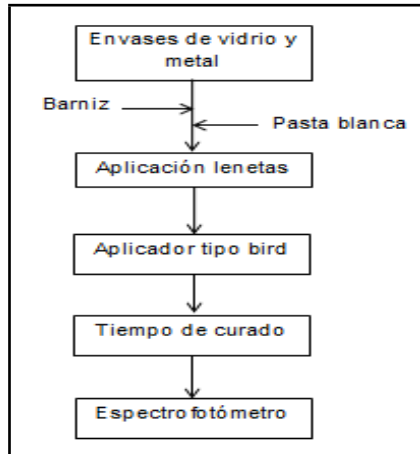
**Fuente:** elaboración propia.

**Ilustración 30.** Aplicación en leneta con aplicador Brid para cromo verde.



**Fuente:** elaboración propia.

**Diagrama 6.** Metodología para esfuerzo de color.



**Fuente:** elaboración propia.

## 11 CRITERIO DE SELECCIÓN PARA LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS

Una vez desarrollado la variable de esfuerzo de color descrito anteriormente es probable descartar algunos ensayos y posteriormente evaluar la compatibilidad de los concentrados pigmentarios para cada uno de los sistemas propuestos por la empresa, para ello se realizaron una serie de pruebas en diferentes cámaras con el fin de tener el mejor resultado, a continuación, se explica el proceso.

**2.5.1 Aplicación láminas metálicas.** Se aplicó con la pistola para pintar marca Devilbiss (descrito en el numeral 1.5.10) la pintura que represente mejores características de la mezcla de la base blanca y el barniz sobre láminas metálicas correctamente limpiadas y lijadas, en donde se puede empezar a observar la compatibilidad de las pinturas (sistemas epóxica, uretano, alquídico y acrílico) comparándolos con las pinturas patrón de la empresa, observando en ellas asentamiento y floculación de los concentrados pigmentarios; el tiempo de secado de las láminas metálicas será de ocho días a temperatura ambiente (según norma interna de Sika S.A.S).

**2.5.2 Cámara salina.** Las láminas metálicas según la norma NTC 1151<sup>38</sup> se les realiza una fisura en “V” para obtener resultados en menores tiempos de exposición al ambiente químicamente activo bajo la determinación de cloruro de sodio y bajo condiciones descritas en el numeral 1.5.13; en la ilustración 31 se evidencia las diferentes aplicaciones en donde tienen ciclos de 24 horas por 4 días (según norma interna de Sika S.A.S). Al terminar cada uno de los ciclos se realiza el ensayo de inspección visual (KIV)<sup>39</sup>, en donde estima cualitativamente el avance de la corrosión, como especifica la norma NTC 3951<sup>40</sup>. Este parámetro se calcula aplicando la siguiente ecuación.

**Ecuación 5.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV= 100 -2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Dónde:

- Fz: Factor de Zona
- Ft: Factor de Tamaño
- Fd: Factor de Densidad

<sup>38</sup> Norma Técnica Colombiana. NTC 1151. Procedimiento para el ensayo en cámara Salina.1998.

<sup>39</sup> VANEGAS MONTES Loria, Villalba Bolanos Wendy Jazmín Mercedes. Identificación del rango de vida útil de recubrimientos orgánicos para control de la corrosión atmosférica en un ambiente industrial. Universidad Industrial De Santander. Escuela de ingeniería química. Santander. 1999.

<sup>40</sup> Norma técnica colombiana en pinturas. NTC 3951.Productos afines a sistema de pinturas protectoras y variables de evaluación en campo. 1996.

Los valores de los factores se muestran a continuación y están relacionados con los niveles de avance de la corrosión.

**Factor de zona (Fz):** El factor de zona y sus valores definidos en la escala de 1 a 10, están relacionados con los niveles de avance como se muestra a continuación:

- 2.0 = Aleatorio
- 3.0 = A 1 mm de la fisura
- 6.0 = A 3 mm de la fisura
- 7.0 = A más de 3 mm de la fisura
- 8.0 = En una región entre fisuras
- 9.0 = En más de una región entre fisuras
- 10.0 = En todas las regiones entre fisuras

**Factor de tamaño (Ft):** Es el factor de tamaño y su magnitud está definida como sigue:

- 3 = Grande (diámetro superior a tres (3) veces el ancho de la fisura)
- 2 = Mediana (diámetro entre dos (2) veces el ancho de la fisura)
- 1 = Pequeña (diámetro igual al ancho de la fisura)
- 0,5 = Muy pequeña (diámetro inferior al ancho de la fisura)

**Factor de densidad (fd):** Se define cualitativamente de la siguiente manera:

- 2 = Alta (Cuando es mayor al 50% de la fisura, o mayor al 50% del área de la zona)
- 1 = Media (cuando esta entre el 20% y el 50% de la longitud de la fisura, o entre el 20% y el 50% del área de la zona)
- 0.5 = Baja (cuando es menor al 20% de la longitud de la fisura, o menor al 20% del área de la zona)

Los valores de los factores calificativos obtenidos de cada uno de los sistemas fisurados se introducen en la ecuación 3 y el resultado se ubica en los siguientes niveles para determinar el desempeño del recubrimiento.

- KIV= 100 Cuando el recubrimiento no presenta falla alguna por efecto de la corrosión.
- $KIV \geq 60$  Cuando el proceso de avance de la corrosión se encuentra en rangos admisibles, es decir, que un valor inferior a este indica que el sistema de recubrimiento presenta fallas en su capacidad de protección.

- KIV = 0 Cuando el recubrimiento presenta deterioro completo por avance o desarrollo total del proceso de corrosión.

**Ilustración 31.** Aplicaciones expuestas a cámara salina.



**FUENTE:** elaboración propia.

**2.5.3 Cámara Lluvia Ácida.** Las aplicaciones por cada sistema de pintura se expusieron a cámara lluvia ácida descrito en el numeral 1.5.14 simulando el efecto de lluvia ácida, para ello se depositó 0,12g de sulfato de sodio y 4,2g de ácido sulfúrico (según norma interna de Sika S.A.S); en la ilustración 32 se evidencia las láminas metálicas por cada sistema de pintura, con 2 ciclos de 400 horas. Al terminar cada ciclo se deben medir las propiedades de brillo y esfuerzo de color descritos en el numeral 1.6.16 y 1.6.17.

**Ilustración 32.** Aplicaciones expuestas a cámara lluvia ácida.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.5.4 Cámara Uv.** En esta prueba las aplicaciones se expusieron a luz ultravioleta con altas temperaturas descrito en el numeral 1.5.11, en la ilustración 33 observan las láminas en la cámara Uv en donde para los sistemas de pintura alquídico, acrílico, epóxico su ciclo fue cada 24 horas por 5 días, mientras que el uretano y el sustrato tuvo un ciclo de 200 horas durante 1 mes, ya que este sistema de pintura tiende a presentar mayor resistencia a la luz ultra violeta.

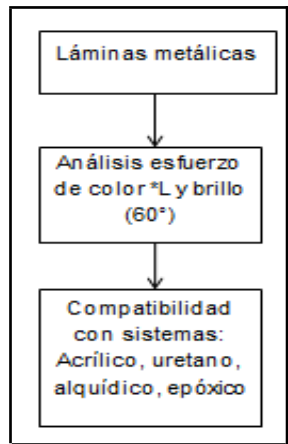
**Ilustración 33.** Aplicaciones expuestas a cámara Uv.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.5.5 Esfuerzo de Color.** Al terminar cada uno de los ciclos se analizó con el instrumento descrito en el numeral 1.5.12 en donde se tiene en cuenta la luminosidad en el eje  $L^*$  (descrito en el numeral 1.3.1), este procedimiento se realizó antes y después de que las aplicaciones estén expuestas a cada una de las cámaras descritas anteriormente, esto con el fin de encontrar variación entre las láminas. En el diagrama 7 se evidencia el procedimiento de lo anteriormente descrito.

Diagrama 7.  
Metodología análisis  
esfuerzo de color y  
brillo.

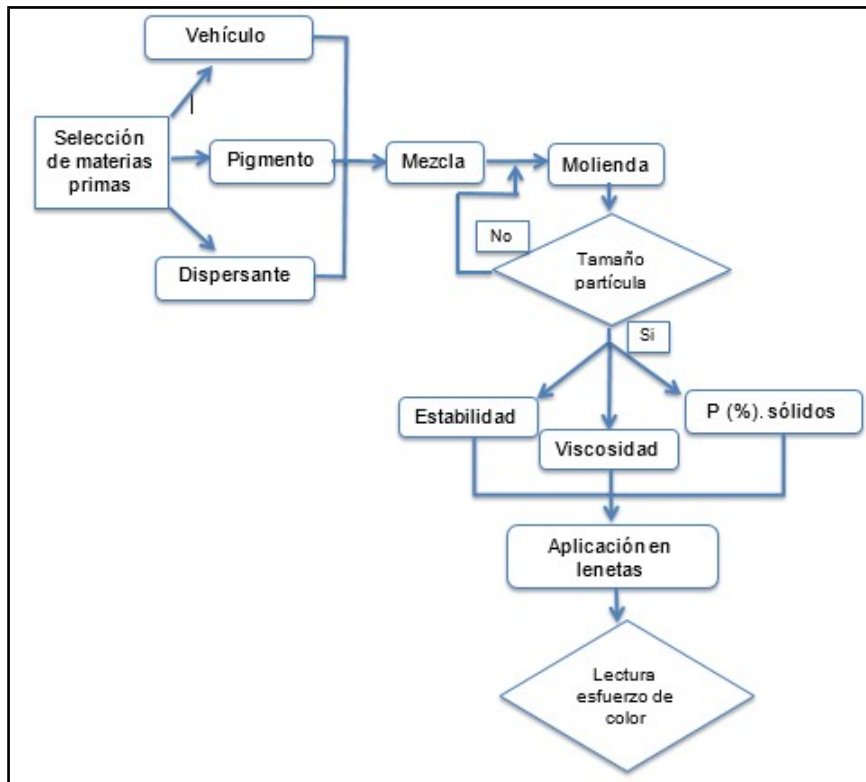


Fuente: elaboración propia.

**2.5.6 Brillo.** Al igual que el esfuerzo de color, para evaluar esta variable se esperó a que cada uno de los ciclos terminara para cada una de las cámaras, en donde con el refractómetro descrito en el numeral 1.5.9 se analizó la pérdida de brillo que las láminas sufrieron a 60° de incidencia de luz. En el diagrama 7 se evidencia el procedimiento de lo anteriormente descrito.

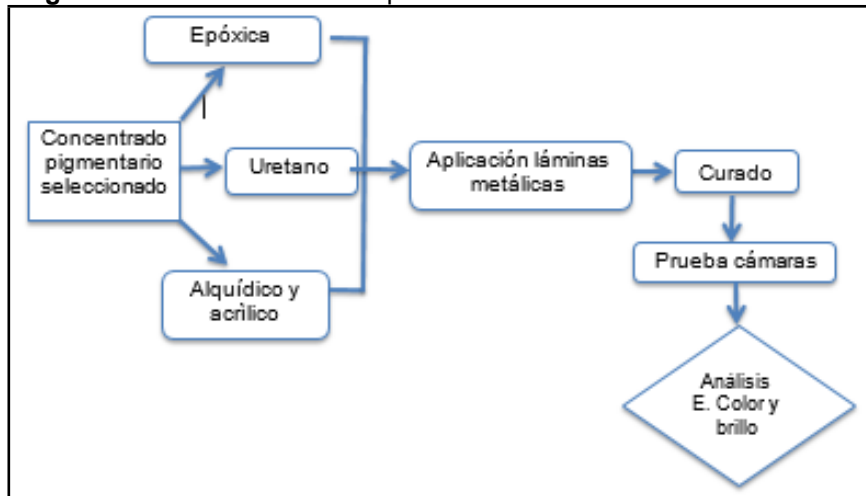
Después de realizar el proceso de producción de pinturas con cada una de los sistemas descritos por la empresa, se evaluó con un diseño de experimentos cada variable, para así llegar a la solución del objetivo principal de este proyecto encontrando los concentrados pigmentarios que demuestren mejores propiedades y compatibilidad con cada una de los sistemas expuestos anteriormente. A continuación, se evidencia en el diagrama 8 el proceso de producción de concentrados pigmentarios de acuerdo a la metodología usada en el presente proyecto.

**Diagrama 8.** Proceso experimental para los concentrados pigmentarios.



Fuente: elaboración propia.

Diagrama 9. Evaluación de compatibilidad en láminas metálicas.



Fuente: elaboración propia.

## 12 DISEÑO DE EXPERIMENTOS



Para este punto, el diseño experimentos será 3<sup>2</sup> factorial en donde tendrá 3 niveles y 2 factores representadas por el porcentaje de pigmento y el porcentaje de dispersante; las repuestas de la optimización será el esfuerzo de color y viscosidad respectivamente.

Los concentrados pigmentarios a evaluar son óxido de hierro amarillo, cromo verde y rojo, cada uno de ellos de tipo inorgánico como se describe en el numeral 1.1.2; para el diseño de experimentos se toma dos variables de concentración, representadas por el porcentaje de pigmento (por el desarrollo de color) y dispersante (por la fluidez que le otorga al concentrado pigmentario), mientras que las variables de respuesta serán representadas por la viscosidad y el esfuerzo de color, dicho esto, se maneja hipótesis (concentración de dispersante y pigmento afecta a la viscosidad y esfuerzo de color) y hipótesis nula (no hay efecto de la concentración de pigmento y dispersante en las variables viscosidad y esfuerzo de color); para obtener un mejor resultado en cada concentrado pigmentario se tiene en cuenta 3 niveles en donde -1 será la menor cantidad de pigmento bajo, 0 cantidad de pigmento medio y 1 mayor cantidad de pigmento alto, de esta manera se encontrará la relación de pigmento y dispersante dando solución al segundo objetivo. Estos valores son suministrados por la empresa por las investigaciones anteriormente realizadas en esta. Para el diseño de experimentos software estadístico como Statgraphics.

*Tabla 1. Diseño experimentos para Óxido de hierro amarillo.*

NIVELES	VARIABLES	
	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
-1	46	5
0	48	4
1	50	2

**Fuente:** elaboración propia.

*Tabla 2. Diseño experimentos para Óxido de cromo verde.*

NIVELES	VARIABLES	
	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
-1	65	2
0	72	1.5
1	80	1

**Fuente:** elaboración propia.

*Tabla 3. Diseño experimentos para Óxido de hierro rojo.*

NIVELES	VARIABLES
---------	-----------

	% Pigmento (respecto al total de mezcla)	% Dispersante (respecto al pigmento)
-1	63	4
0	67	3
1	71	2

**Fuente:** elaboración propia.

En las tablas 1,2 y 3 se evidencia el valor de porcentaje de pigmento (respecto a la mezcla total ya que es la materia prima con mayor proporción en la mezcla) y porcentaje de dispersante (respecto al pigmento), todas ellas para cada nivel correspondiente a los tres colores a desarrollar.

### 13 RELACIÓN PIGMENTO DISPERSANTE

Para llegar al cumplimiento del segundo objetivo se debe encontrar los ensayos con mejor concentración de pigmento y dispersante por color empezando por el más claro hasta llegar al más oscuro, con el fin de descartar algunos ensayos se evalúa el tamaño de partícula, estabilidad, porcentaje de sólidos y viscosidad, esto con el fin de encontrar los ensayos que presenten menor viscosidad (variación no mayor a 20% según norma interna de la empresa), buen esfuerzo de color \*L y menor proporción de dispersante. A continuación, se representa cada uno de los resultados obtenidos por cada uno de las variables mencionadas anteriormente.

### 14 ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO

Para el desarrollo de este concentrado pigmentario se toma el diseño de experimentos de la tabla 1; a continuación, se muestra en la tabla 4 la cantidad en gramos del dispersante, pigmento y vehículo respectivamente con una base de cálculo de 1000 gr, cabe aclarar que la variación de cada uno de las concentraciones depende del área superficial de cada pigmento, esto acorde a indicaciones de proveedores.

*Tabla 4. Cantidad reactivos óxido de hierro amarillo.*

Ensayo	Pigmento	Dispersante	Vehículo
--------	----------	-------------	----------

	gr	gr	gr
<b>AM-1</b>	460	23	161
<b>AM-2</b>	460	18	163
<b>AM-3</b>	460	13	164
<b>AM-4</b>	480	24	155
<b>AM-5</b>	480	18	157
<b>AM-6</b>	480	13	158
<b>AM-7</b>	500	25	147
<b>AM-8</b>	500	17	150
<b>AM-9</b>	500	12	152

Fuente: elaboración propia.

**2.8.1 Tamaño de Partícula.** Para determinar esta variable después de cada molienda se tomaron dos ciclos cada uno de 10 minutos (este tiempo se determinó ya que al ser pigmentos inorgánicos no requiere de tanto tiempo para que pigmento se rompa) en donde debe indicar entre 7 y 8 UH (ilustración 26) con el instrumento descrito en el numeral 1.5.3. para un buen resultado tal como se describe en el numeral 2.3.

Tabla 5. Tamaño de partícula óxido de hierro amarillo cada 10 minutos.

Ensayo	10 minutos	20 minutos
<b>AM-1</b>	7,5	7,5
<b>AM-2</b>	7,5	7,5
<b>AM-3</b>	7,5	7,5
<b>AM-4</b>	7,5	7,5
<b>AM-5</b>	7,5	7,5
<b>AM-6</b>	7,0	7,5
<b>AM-7</b>	8,0	7,5
<b>AM-8</b>	8,0	7,5
<b>AM-9</b>	8,0	7,5

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 5 se evidencia que el tamaño de partícula cumple con la finura requerida entre el rango de 7 y 8 UH en un tiempo de 10 a 20 minutos demostrando un comportamiento ideal del pigmento óxido de hierro amarillo como la fluidez, ausencia de grumos y viscosidad en la mezcla, para los ensayos AM-1 al AM-6 demuestran tener un tamaño de partícula constante de 7,5 UH debido a la variación de pigmento y dispersando desempeñando así mejores resultados, para los ensayos AM-7 al AM-9 demostró un tamaño de partícula de 8 UH a los 10 minutos y 7,5 UH al pasar 20 minutos esto se debe a la cantidad de pigmento que presentan con respecto al dispersante hace que la disminución de la partícula del pigmento tarde más tiempo.

Todas las muestras después de evaluar su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.4.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de los concentrados pigmentarios a una temperatura de 60°C.

**2.8.2 Viscosidad Antes y Después de Estabilidad.** Tal como se describió en el numeral 2.4.1 se evaluó la viscosidad antes y después para cada ensayo óxido de hierro amarillo, en donde se obtuvieron los siguientes resultados evidenciados en la tabla 6. Una vez que las muestras salieron de estabilidad se observó cada uno de los ensayos en donde se determinó que AM-5 presente mayor sedimentación frente a los demás ensayos.

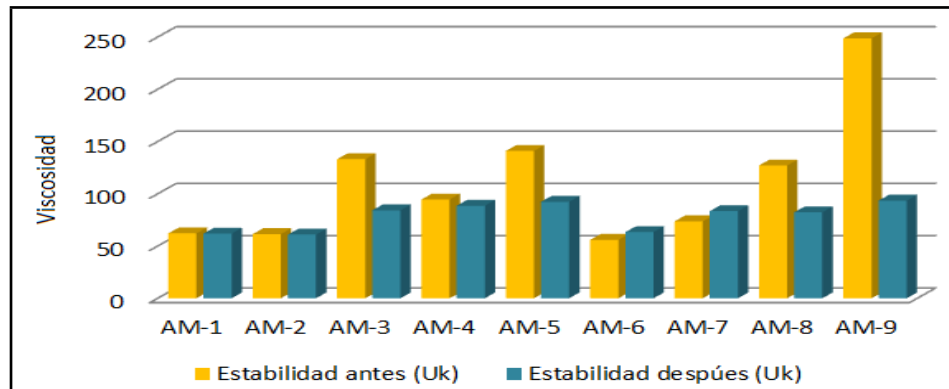
Tabla 6. Valores de viscosidad antes y después de estabilidad óxido de hierro amarillo.

<b>Ensayo</b>	<b>Estabilidad antes (Uk)</b>	<b>Estabilidad después (Uk)</b>	<b>% variación</b>
<b>AM-1</b>	62,1	61,9	0,32
<b>AM-2</b>	61,4	60,9	0,81
<b>AM-3</b>	133,1	84,1	36,81
<b>AM-4</b>	94,5	88,5	6,34
<b>AM-5</b>	141,0	92,3	34,53
<b>AM-6</b>	55,9	55,2	1,23
<b>AM-7</b>	73,6	83,3	13,17
<b>AM-8</b>	127,1	82,2	35,32
<b>AM-9</b>	248,7	93,4	64,44

Fuente: elaboración propia.

Para considerar que una muestra presenta buena estabilidad, la viscosidad no debe superar el 20 % (según norma interna de Sika S.A.S) con respecto de la viscosidad del material original; tomando como base este criterio en la tabla 6 se evidencia que los ensayos AM-1, AM-2, AM-4, AM-6, y AM-7 cumplen con el requisito anteriormente nombrado, sin embargo los ensayos AM-1, AM-2 y AM-6 demuestran un cambio mínimo con mejores propiedades haciendo que el concentrado pigmentario sea aceptable para su selección, mientras que los ensayos AM-3, AM-5, AM-8 y AM-9 pueden ser descartados al presentar gran variación en la viscosidad, esto se puede dar debido a la pérdida de vehículo durante la prueba generando sedimentación en la mezcla lo cual no sería lo ideal al momento de almacenarlas.

**Gráfica 1.** Comparación antes y después de estabilidad óxido de hierro amarillo.



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 1 se evidencian los datos correspondientes a la tabla 6, tal como se mencionó anteriormente los ensayos AM-1, AM-2, AM-4 y AM-6 representan menor variación en cuanto a la viscosidad dando más certeza para la elección del concentrado pigmentario, mientras que el ensayo AM-9 presenta más de 200 Krebs (Uk) antes de estabilidad y 93,4 Uk después de estabilidad esto lo hace el ensayo con mayor variación (64,44%), dicho comportamiento se debe a su alta concentración de pigmento (500 gr) y su baja cantidad de dispersante (12 gr) el cual tiende a sedimentarse perdiendo propiedades en el concentrado pigmentario, al evidencia menor viscosidad después de estabilidad puede ser por error humano al momento de utilizar el instrumento descrito en el numeral 1.5.4.

**2.8.3 Porcentaje de sólidos.** Para determinar esta variable se tiene en cuenta lo descrito en el numeral 2.4.3, en donde se determina la cantidad de pigmento que se pudo haber perdido en el proceso de molienda, a continuación, se muestra la tabla 7 con los datos determinados.

**Tabla 7.** Valores porcentaje de sólidos óxido de hierro amarillo.

Muestra	% Sólidos
AM-1	47,62
AM-2	47,36
AM-3	47,12
AM-4	49,71
AM-5	49,23
AM-6	49,08
AM-7	50,58
AM-8	51,33
AM-9	51,52

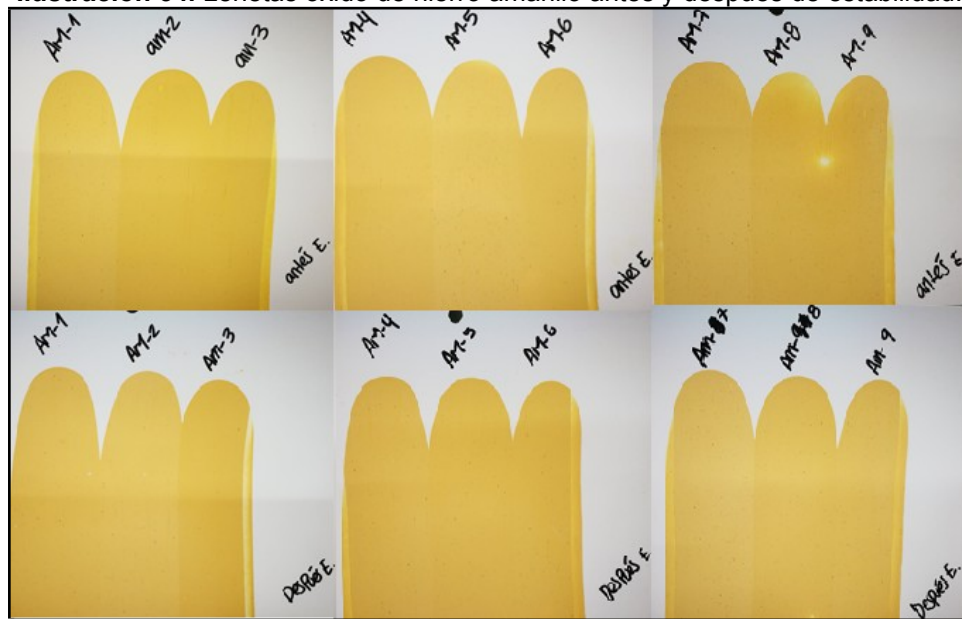
Fuente: elaboración propia.

En la tabla 7 se puede evidenciar el porcentaje de sólidos para cada uno de los ensayos, en donde se toma como referencia la cantidad de pigmento de la

mezcla evidenciada en la tabla 4, allí se observa que la cantidad de pigmento es proporcional al porcentaje de sólidos en los ensayos del AM-1 al AM-9 lo que indica una dispersión adecuada para cada uno de ellos, para los ensayos AM-1 quien representa un porcentaje de sólidos de 47,62%, AM-4 con 49,71% y AM-7 con 51,52% representan un aumento frente a la cantidad de pigmento inicial, debido a que su cantidad de dispensarte es mayor (23 gr, 24 gr, y 25 gr respectivamente), esto debido a que las partículas del pigmento lo suficientemente humectadas generando aglomeración del pigmento.

**2.8.4 Esfuerzo de color.** Para el desarrollo de esta variable descrito en el numeral 2.1.16 y con ayuda del programa OnColor proporcionado por la empresa, analiza el esfuerzo de color para cada uno de los ensayos antes y después de estabilidad tomando el valor de eje L\* descrito en el numeral 1.3.1, como se evidencia en la ilustración 34 dicho las lenetas de cada uno de los ensayos antes y después de estabilidad en donde se facilitará la lectura con el espectrofotómetro descrito en el numeral 1.5.11, cabe aclarar que los ensayos AM-5, AM-7 y AM-9 presentaron pequeñas partículas de pigmentos en las lenetas de tal forma que requería más tiempo de molienda, a continuación se demuestra la tabla 8 con cada uno de los datos obtenidos.

**Ilustración 34.** Lenetas óxido de hierro amarillo antes y después de estabilidad.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8.** Valores esfuerzo de color L\* antes y después de estabilidad óxido de hierro amarillo.

<b>Ensayo</b>	<b>Estabilidad antes</b>	<b>Estabilidad después</b>	<b>% variación</b>
<b>AM-1</b>	81.49	80.86	0.77
<b>AM-2</b>	80.55	81.31	0.94
<b>AM-3</b>	80.47	79.97	0.62
<b>AM-4</b>	80.51	80.97	0.57
<b>AM-5</b>	81.33	80.45	1.08
<b>AM-6</b>	80.97	80.61	0.44
<b>AM-7</b>	81.75	82.08	0.40
<b>AM-8</b>	80.81	80.76	0.06
<b>AM-9</b>	80.88	81.22	0.42

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se puede evidenciar los valores de la variable de esfuerzo de color para cada uno de los ensayos en donde su variación no aumenta del 2%, como se puede observar el rango se mantuvo de 80 a 83 \*L, según la ilustración 8 al ser un óxido de hierro amarillo un color claro este se encuentra en el indicador +b\* el cual es amarillo con tendencia hacia el blanco sin perder luminosidad y fuerza en el pigmento , en cuanto al ensayo AM-5 su variación fue del 1,08% a pesar de que la cantidad de pigmento frente a los ensayos AM-1, AM-2 Y AM-3 era en mayor proporción. A continuación, se evidencia en la gráfica 2 el cambio que tubo cada uno de los ensayos antes y después de estabilidad.

**2.8.5 Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo.** Como se mencionó en el numeral 2.6 el diseño de experimentos con sus correspondientes variables a desarrollar, en donde la tabla 1 hace descripción al concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo, a continuación, en la tabla 9 se evidencia las respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo, allí se indica los datos para el diseño de experimentos respecto a cada uno de las variables que se requieren para la solución de este.

Tabla 9. Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo.

ENSAYO	% pigmento	% dispersante	Viscosidad (Uk)	Esfuerzo de color (*L)
AM-1	46	5	62,1	81.49
AM-2	46	4	61,4	80.55
AM-3	46	2	133,1	80.47
AM-4	48	5	94,5	80.51
AM-5	48	4	141,0	81.33
AM-6	48	2	55,9	80.97
AM-7	50	5	73,6	81.75
AM-8	50	4	127,1	80.81
AM-9	50	2	248,7	80.88

Fuente: elaboración propia.

**2.8.6 Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color \*L del óxido de hierro amarillo.** Para el análisis estadístico ANOVA en donde se evidencia en la tabla 10, el valor del pigmento estará descrito por la palabra A mientras que el dispersante con la letra B. En este caso el diseño de experimentos indica un nivel de confianza del 95%.

El estadístico  $R^2$  indica que el modelo, así ajustado, explica 49,9425% de la variabilidad en Esfuerzo de color. El estadístico  $R^2$  ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 0,0%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,529455. El error medio absoluto (MAE) de 0,262222 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en sus datos. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%. A continuación, se evidencia la ecuación polinomial con el mejor ajuste para el esfuerzo de color \*L.

**Ecuación 6.** Ecuación esfuerzo de color óxido de hierro amarillo.

$$\text{Esfuerzo de color} = 80,86 - 0,136667*A + 0,0466667*B + 0,26*A^2 + 0,375*A*B - 0,09*B^2$$

Fuente: Statgraphics, simulador.

Tabla 10. Análisis de varianza para el esfuerzo de color óxido de hierro amarillo.

Fuente	Suma de Cuadrado	Razón	Valor-P
--------	------------------	-------	---------



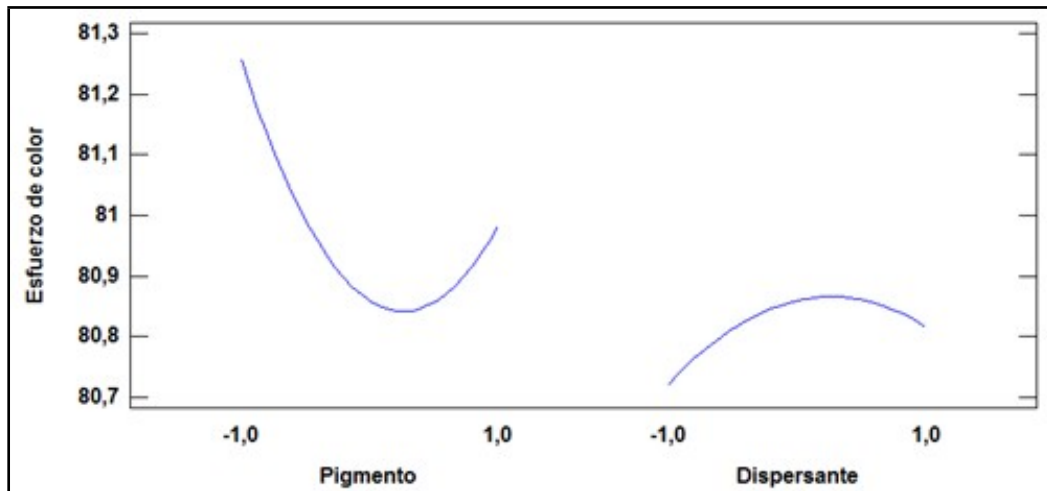
	<b>cuadrados</b>	<b>medio</b>	<b>-F</b>	
A: pigmento	0,112067	0,112067	0,40	0,5721
B:Dispersante	0,0130667	0,0130667	0,05	0,8429
AA	0,1352	0,1352	0,48	0,5373
AB	0,5625	0,5625	2,01	0,2516
BB	0,0162	0,0162	0,06	0,8255
Error total	0,840967	0,280322		
Total (corr)	1,68			

**Fuente:** Statgraphics, simulador

En la tabla 10 se evidencia el análisis de varianza para el óxido de hierro amarillo en donde primero se encuentra los factores correspondientes para el diseño de experimentos, luego la suma de cuadrados el cual indica el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta, luego la razón-F prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas, y por ultimo vapor-P obtiene una referencia para aceptar o rechazar hipótesis.

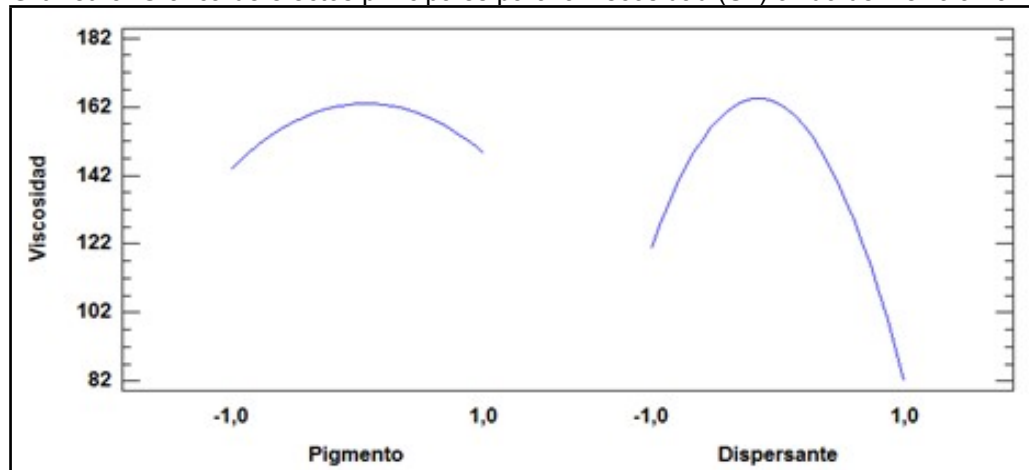
**2.8.7 Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo.** En la gráfica 2 se puede evidencia el efecto que tiene el pigmento y el dispersante frente al efecto del esfuerzo de color, en este caso el pigmento será el factor que más afecta a la variable respuesta esfuerzo de color, se puede observar que a medida que se aumenta de nivel de -1 a 1 el esfuerzo de color disminuye, es decir, así se tenga mayor concentración de pigmento este no demostrara mejores resultados frente a la variable respuesta a analizar. Para el caso del dispersante no se evidencia cambios tan significativos en el esfuerzo de color, pero este factor cuenta con gran importancia en la estabilidad y molienda, ya que si se desea mayor esfuerzo de color se tendría que aumentar la concentración de dispersante en la mezcla.

**Gráfica 2.** Gráfica de efectos principales para el esfuerzo de color L\* óxido de hierro amarillo.



Fuente: Statgraphics, simulador.

**Gráfica 3.** Gráfica de efectos principales para la viscosidad (Uk) óxido de hierro amarillo.



Fuente: Statgraphics, simulador.

En la gráfica 3 se evidencia el efecto que tiene el pigmento y el dispersante frente a la otra variable de respuesta que es la viscosidad, en este caso, se puede observar que el dispersante a medida que aumenta en -1 que es el eje x representado como los niveles del diseño de experimentos en la tabla 1 el nivel va disminuyendo la variable respuesta hasta llegar a 1, mientras que para el factor pigmento no tiene gran variabilidad frente a la viscosidad ya que permanece constante entre los niveles -1 y 1, en cuanto la concentración de pigmento sea mayor la mezcla se tornara viscosa.

### 2.8.8 Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo. Habiendo construido modelos

significativos para ambas respuestas (esfuerzo de color \*L (mayor representación de esta variable), viscosidad y dispersante (menor proporción de estas variables)), las características óptimas de los factores pueden ser determinadas, teniendo en cuenta que la finalidad del diseño de experimentos es maximizar el esfuerzo de color L\* y minimizar la viscosidad, en donde se utiliza la búsqueda numérica para encontrar la mejor localización en la región experimental (punto local óptimo); esto nos lleva a obtener el mejor concentrado pigmentario, en la tabla 11 se evidencia la optimización por medio del programa.

**Tabla 11.** Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo.

	Pigmento%	Dispersante%	Viscosidad	Esfuerzo de
	A	B	(Uk)	color (*L)
<b>Codificadas</b>	-1	1	56,653	81,945
<b>Reales</b>	48	4	55,9	80,49

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 11 se puede evidenciar los resultados óptimos para el concentrado pigmentario con mejores propiedades, en donde se encuentra el nivel -1 de pigmento indicando la menor cantidad de pigmento y 1 con menor cantidad de dispersante a diferencia de los demás ensayos, dicho esto, el ensayo AM-6 presenta mejores resultados en cada uno de las variables a analizar, utilizando el diseño de experimentos se confirma que es el concentrado pigmentario con mejores condiciones, ya que cuenta con un nivel de viscosidad bajo y representa mayor esfuerzo de color L\*.

## 15 ÓXIDO CROMO VERDE

Para el desarrollo de este concentrado pigmentario se toma el diseño de experimentos de la tabla 2 del numeral 2.6; a continuación, se muestra en la tabla 12 la cantidad en gramos del dispersante, pigmento y vehículo tomando como base de cálculo 1000 g, cabe aclarar que las concentraciones dependen del área superficial del pigmento, esto acorde a indicaciones de proveedores

Tabla 12. Cantidad reactivos óxido cromo verde.

<b>Ensayo</b>	<b>Pigmento gr</b>	<b>Dispersante gr</b>	<b>Vehículo gr</b>
<b>VE-1</b>	650	13	97
<b>VE-2</b>	650	9	101
<b>VE-3</b>	650	5	105
<b>VE-4</b>	725	14	72
<b>VE-5</b>	725	10	76
<b>VE-6</b>	725	5,6	78
<b>VE-7</b>	800	16	46,7
<b>VE-8</b>	800	11	49,7
<b>VE-9</b>	800	6	51,5

**Fuente:** elaboración propia.

**2.9.1 Tamaño de partícula.** Para determinar esta variable después de cada molienda se toman dos ciclos cada uno de 10 minutos, en este tiempo lo ideal es que el tamaño de partícula se encuentre entre 7 y 8 UH (ilustración 26) utilizando el instrumento descrito en el numeral 1.5.3.

**Tabla 13.** Tamaño de partícula Óxido cromo verde cada 10 minutos.

<b>Ensayo</b>	<b>10 minutos</b>	<b>20 minutos</b>
<b>VE-1</b>	7,5	7,5
<b>VE-2</b>	7,5	7,5
<b>VE-3</b>	7,5	7,5
<b>VE-4</b>	7,5	7,5
<b>VE-5</b>	7,5	7,5
<b>VE-6</b>	7,5	7,5
<b>VE-7</b>	7,5	8,0
<b>VE-8</b>	7,5	8,0
<b>VE-9</b>	7,5	8,0

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 13 se evidencia un tamaño de partícula constante entre el rango de 7,5 UH en un tiempo de 10 a 20 minutos entre los ensayos VE-1 al VE-6 demostrando una dispersión en el pigmento, mientras que para los ensayos VE-7 al VE-9 su tamaño de partícula estuvo entre 7,5 y 8 a los 10 minutos y 20 minutos, a pesar de que represento una variación se encuentra entre el rango óptimo para los concentrados pigmentarios. Al observar que la mayoría de los ensayos no presenta una variación, indica que los tres niveles son aptos para un concentrado pigmentario.

Todas las muestras después de evaluar su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.4.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de los concentrados pigmentarios a una temperatura de 60°C.

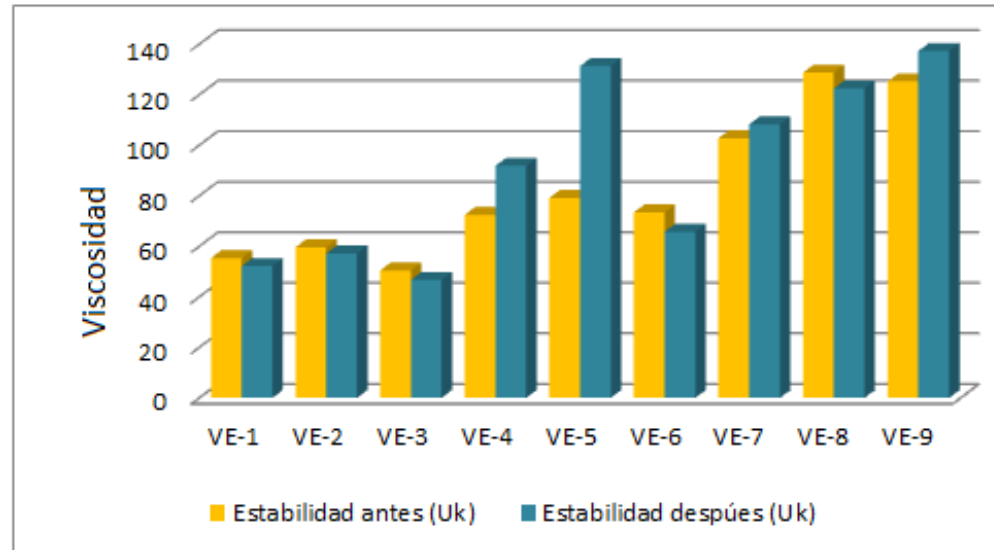
**2.9.2 Viscosidad antes y después de estabilidad.** Tal como se describió en el numeral 2.4.1 se evalúa la viscosidad antes y después para cada ensayo óxido de cromo verde, en donde se obtiene los siguientes resultados evidenciados en la tabla 14.

Tabla 14. Valores de viscosidad antes y después de estabilidad óxido cromo verde.

Ensayo	Estabilidad antes (Uk)	Estabilidad después (Uk)	% variación
VE-1	55,3	52,1	5,78
VE-2	59,6	57,12	4,15
VE-3	50,4	46,6	7,53
VE-4	72,4	91,8	26,79
VE-5	79,1	131,3	65,99
VE-6	73,4	65,7	10,49
VE-7	102,7	108,2	5,35
VE-8	128,7	122,4	4,89
VE-9	125,2	137,2	9,58

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 4. Comparación antes y después de estabilidad para óxido cromo verde.



Fuente: elaboración propia.

En la tabla 14 se puede evidenciar el valor de cada uno de las viscosidades por ensayo antes y después de estabilidad en donde el ensayo VE-5 presenta mayor variabilidad, esto debido a la pérdida de vehículo durante la prueba y la

porosidad del pigmento la cual tiene un secado rápido al ambiente; 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, ya que esta es una mezcla coloidal, las moléculas grandes que tienen forman coloides moleculares, generando floculación al final del envase, mientras que los ensayos con resultados óptimos fueron los ensayos con variación del 6% las cuales fueron VE-1,VE-2,VE-7 y VE-8, en la gráfica 4 se observa el comportamiento de cada uno de los ensayos antes y después de estabilidad en donde el aumento de viscosidad se evidencia en el ensayo VE-5 tal como se describió anteriormente, mientras que los ensayos más aceptados para un concentrado pigmentario fueron VE-1, VE-2 y VE-8.

**2.9.3 Porcentaje de sólidos.** Para determinar esta variable se tiene en cuenta lo descrito en el numeral 2.4.3, en donde se determina la cantidad de pigmento que se pudo haber perdido en el proceso de molienda, a continuación, se muestra la tabla 15 con los datos determinados.

Tabla 15. Valores porcentaje de sólidos óxido cromo verde.

<b>Muestra</b>	<b>% Sólidos</b>
<b>VE-1</b>	66,86
<b>VE-2</b>	61,21
<b>VE-3</b>	62,15
<b>VE-4</b>	73,89
<b>VE-5</b>	72,11
<b>VE-6</b>	72,32
<b>VE-7</b>	81,88
<b>VE-8</b>	79,82
<b>VE-9</b>	79,6

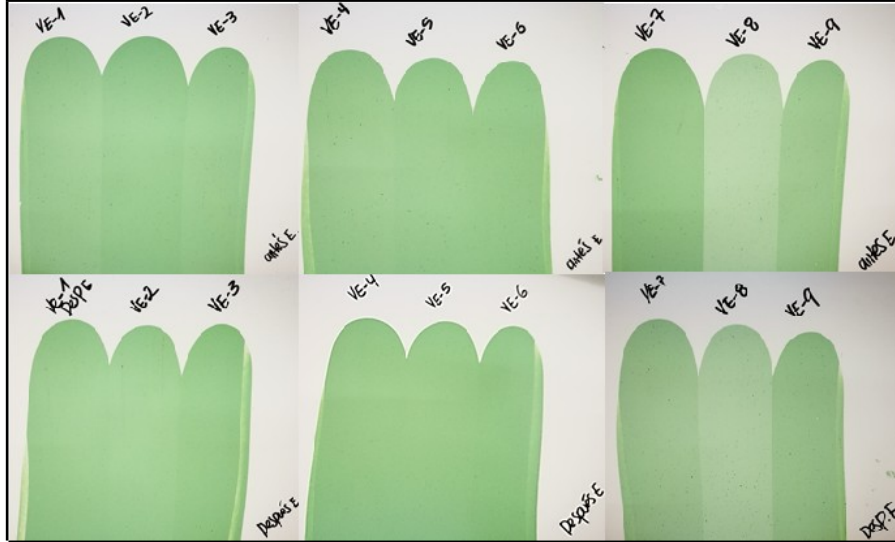
FUENTE: Autor

En este punto se toma como referencia la cantidad de pigmento en la mezcla de cada uno de los ensayos descrito en la tabla 12, se evidencia que el porcentaje de sólidos es proporcional a la cantidad de pigmento inicial, esto quiere decir que se presenta una dispersión adecuada; para los ensayos del VE-1, VE-4 y VE-9 el porcentaje de sólidos es mayor ( 66,86%, 73,89% y 81,88%) en aquellos ensayos donde se tiene mayor cantidad de dispersante (13 gr, 14 gr y 16 gr) esto sucede ya que las partículas del pigmento están suficientemente humectadas generando aglomeración en el pigmento.

**2.9.4 Esfuerzo de color.** Al igual que el análisis de esfuerzo de color del pigmento óxido de hierro amarillo se realiza el mismo procedimiento ya descrito en el numeral 2.4.4, así mismo la ilustración 30 representa la aplicación de cada

uno de los ensayos en lenetas. La tabla 16 corresponde a los datos tomados de esfuerzo de color \*L antes y después de estabilidad.

**Ilustración 35.** Lenetas óxido cromo verde antes y después de estabilidad.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 16.** Valores esfuerzo de color L\* antes y después de estabilidad óxido de cromo verde.

Ensayo	Estabilidad antes	Estabilidad después	% variación
VE-1	71.54	71.35	0.26
VE-2	72.95	72.8	0.20
VE-3	72.58	71.50	1.48
VE-4	72.81	71.43	1.89
VE-5	72.04	71.33	0.98
VE-6	72.20	71.61	0.81
VE-7	71.85	77.60	8.0
VE-8	77.98	79.99	2.57
VE-9	74.35	76.79	3.28

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 16 se puede observar el esfuerzo de color para cada uno de los ensayos óxido cromo verde en donde los ensayos VE-1 al VE-6 presentan un porcentaje de variación del 1,5% los cuales demuestran ser resultados favorables para un concentrado pigmentario, los ensayos VE-1, VE-2 VE-5 y VE-6 presentan buena luminosidad a pesar de que su cantidad de pigmento es menor se evidencia variación del 1%, los ensayos VE-4 Y VE-7 debido a que la cantidad de pigmento y dispersante están en mayor proporción tienen a tener

una variación mayor frente a los demás ensayos, de acuerdo al numeral 1.3.1 el eje que indicó el programa OnColor siempre se mantuvo en  $-a^*$  el cual indica un color verde.

**2.9.5 Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido cromo verde.** En la tabla 17 se puede evidenciar los resultados del diseño de experimentos tal como se explicó en el numeral 2.6 tabla 2 en donde se muestran cada uno de los niveles a utilizar para el concentrado pigmentario óxido de cromo verde.

**Tabla 17.** Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido cromo verde.

ENSAYO	% pigmento	% dispersante	Viscosidad (Uk)	Esfuerzo de color (*L)
VE-1	65	2	55,3	71.54
VE-2	65	1,5	59,6	72.95
VE-3	65	1	50,4	72.58
VE-4	72,5	2	72,4	72.81
VE-5	72,5	1,5	79,1	72.04
VE-6	72,5	1	73,4	72.20
VE-7	80	2	102,7	71.85
VE-8	80	1,5	128,7	77.98
VE-9	80	1	125,2	74.35

Fuente: elaboración propia.

**2.9.6 Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color \*L del óxido cromo verde.** Para el análisis estadístico ANOVA en donde se evidencia en la tabla 17, el valor del pigmento estará descrito por la palabra A mientras que el dispersante con la letra B. En este caso el diseño de experimentos indica un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 71,8207% 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 24,8551%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,72465. El error medio absoluto (MAE) de 0,862716 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%, los datos del diseño



de experimentos se encuentran en la tabla 18. A continuación se evidencia la ecuación del ajuste encontrado para el esfuerzo de color óxido cromo verde.

**Ecuación 7.** Ecuación esfuerzo de color óxido cromo verde.

$$\text{Esfuerzo de color} = 73,8789 + 0,523333*A + 0,0483333*B + 1,63667*A^2 - 0,4275*A*B - 2,73833*B^2$$

**Fuente:** Statgraphics, simulador.

Tabla 18. Análisis de varianza para el esfuerzo óxido cromo verde.

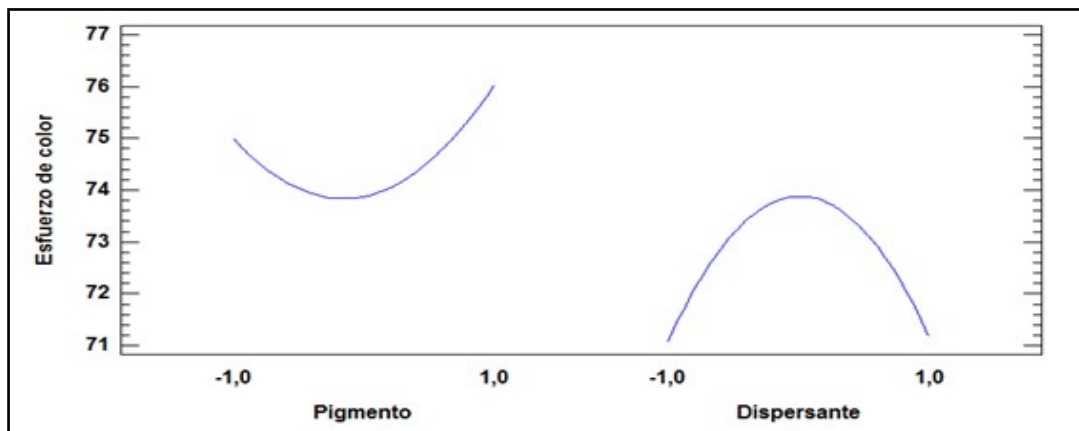
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón -F</b>	<b>Valor-P</b>
A: pigmento	1,64327	1,64327	0,55	0,5112
B: Dispersante	0,0140167	0,0140167	0,00	0,9496
AA	5,35736	5,35736	1,80	0,2721
AB	0,731025	0,731025	0,25	0,6541
BB	14,9969	14,9969	5,04	0,1104
Error total	8,92322	2,97441		
Total (corr)	31,6658			

**Fuente:** Statgraphics, simulador.

En la tabla 18 se evidencia el análisis de varianza para el óxido de hierro amarillo en donde primero se encuentra los factores correspondientes para el diseño de experimentos, luego la suma de cuadrados el cual indica el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta, luego la razón-F prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas, y por último vapor-P obtiene una referencia para aceptar o rechazar hipótesis.

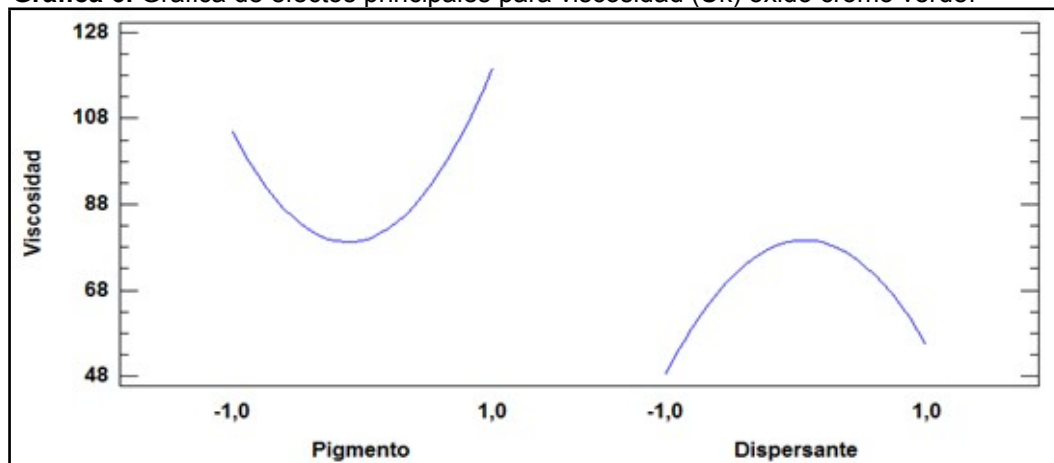
**2.9.7 Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde.** En la gráfica 5 y 6 se analizará el efecto que tiene el pigmento y dispersante para las variables respuesta viscosidad y esfuerzo de color, para el diseño de los gráficos se utilizó el programa Statgraphics.

**Gráfica 5.** Grafica de efectos principales para el esfuerzo de color L\* óxido cromo verde.



Fuente: Statgraphics, simulador.

**Gráfica 6.** Grafica de efectos principales para viscosidad (Uk) óxido cromo verde.



Fuente: Statgraphics, simulador.

En la gráfica 5 se evidencia que el factor que más afecta al esfuerzo de color se encuentra en el pigmento, al incrementar la cantidad de pigmento del nivel -1 a 1 este aumenta su color en un valor de 76 \*L, mientras que la cantidad de dispersante no altera el esfuerzo de color, para la gráfica 6 la variable que más afecta al esfuerzo de color también es el pigmento debido a posibles interacciones entre el pigmento, ya que de sus niveles -1 y 1 entre más cantidad de pigmento la mezcla tiende a tornarse viscosa, mientras que para el dispersante entre sus niveles -1 y 1 la cantidad de este no afecta la viscosidad de la mezcla.

**2.9.8 Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde.** Al igual que el concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo el criterio de selección para el mejor concentrado pigmentario será el diseño de experimentos con mayor esfuerzo de color \*L y con la menor

viscosidad posible, tal como se describió en el numeral 2.8.8 en la tabla 19 se evidencia la optimización por medio del programa.

Tabla 19. Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido cromo verde.

	<b>Pigmento%</b> <b>A</b>	<b>Dispersante%</b> <b>B</b>	<b>Viscosidad</b> <b>(Uk)</b>	<b>Esfuerzo de</b> <b>color (*L)</b>
<b>Codificadas</b>	-1	1	52,304	83,052
<b>Reales</b>	65	2	55,9	72,95

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 19 se puede evidenciar los resultados óptimos para el concentrado pigmentario con mejores propiedades, en donde a partir de todos los ensayos realizados el VE-2 presenta mejores resultados en cada uno de las variables a analizar, utilizando el diseño de experimentos se confirma que es el concentrado pigmentario con mejores condiciones, ya que cuenta con un nivel de viscosidad bajo y representa mayor esfuerzo de color L\*.

## 16 ÓXIDO DE HIERRO ROJO

La experimentación que se realizó para este concentrado pigmentario se evidencia en la tabla 3, a continuación, se presenta cada una de las cantidades de materia prima utilizadas para el desarrollo de este concentrado pigmentario en la tabla 20.

Tabla 20. Cantidad reactivos de hierro rojo.

<b>Ensayo</b>	<b>Pigmento</b> <b>gr</b>	<b>Dispersante</b> <b>gr</b>	<b>Vehículo</b> <b>gr</b>
<b>RO-1</b>	630	25	100
<b>RO-2</b>	630	18	102
<b>RO-3</b>	630	14	104
<b>RO-4</b>	670	26	85
<b>RO-5</b>	670	20	88
<b>RO-6</b>	670	15	90
<b>RO-7</b>	710	28	70
<b>RO-8</b>	710	22	72
<b>RO-9</b>	710	16	75

Fuente: elaboración propia.

**2.10.1 Tamaño de partícula.** Para determinar esta variable después de cada molienda se toman dos ciclos cada uno de 10 en donde debe indicar entre 7 y 8 UH (ilustración 26) con el instrumento descrito en el numeral 1.5.3, en la tabla 21 se evidencias los resultados de molienda.

**Tabla 21.** Tamaño de partícula Óxido de hierro rojo cada 10 minutos.

<b>Ensayo</b>	<b>10 minutos</b>	<b>20 minutos</b>
<b>RO-1</b>	7,5	7,5
<b>RO-2</b>	7,5	7,5
<b>RO-3</b>	8,0	8,0
<b>RO-4</b>	7,5	8,0
<b>RO-5</b>	7,5	7,5
<b>RO-6</b>	7,5	7,5
<b>RO-7</b>	7,5	7,5
<b>RO-8</b>	8,0	8,0
<b>RO-9</b>	7,5	7,5

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 21 se evidencia que el tamaño de partícula se encuentra en el rango óptimo para un buen concentrado pigmentario, los ensayos del RO-1 al RO-9 presentan buena maleabilidad y capacidad de dispersante alto, sin embargo, los ensayos que más resaltan son RO-1, RO-2, RO-5, RO-6 Y RO-9, al ser un pigmento inorgánico no necesito de más tiempo para lograr una buena molienda.

Todas las muestras después de evaluar su tamaño de partícula son envasadas para someterlas a estabilidad (descrito en numeral 2.4.2) por 10 días, esto para observar el comportamiento de los concentrados pigmentarios a una temperatura de 60°C.

**2.10.2 Viscosidad antes y después de estabilidad.** Tal como se describió en el numeral 2.4.1 se evalúa la viscosidad antes y después para cada ensayo óxido de hierro rojo, en donde se obtiene los siguientes resultados evidenciados en la tabla 22.

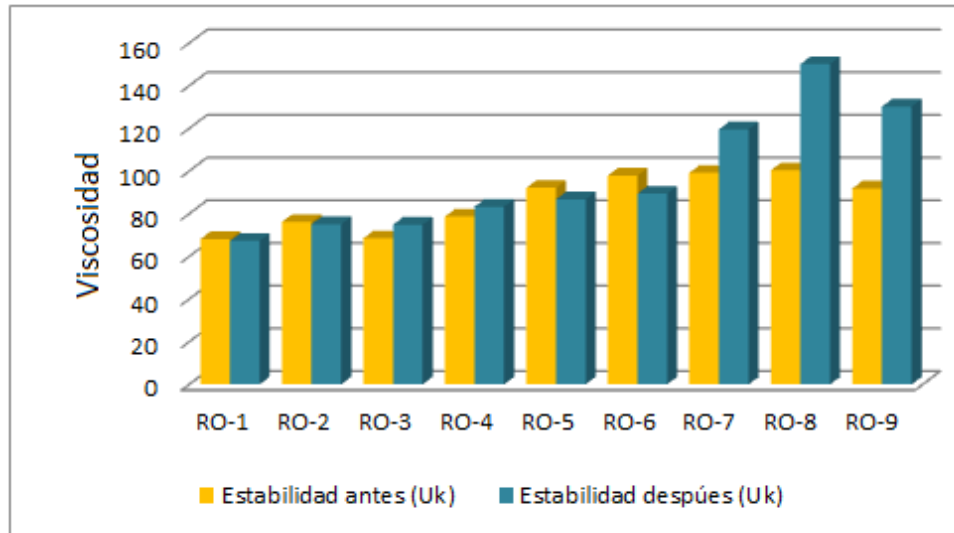
**Tabla 22.** Valores de viscosidad antes y después de estabilidad óxido de hierro rojo

<b>Ensayo</b>	<b>Estabilidad antes (Uk)</b>	<b>Estabilidad después (Uk)</b>	<b>% variación</b>
<b>RO-1</b>	68,1	67,2	1,32
<b>RO-2</b>	76,1	75	1,44
<b>RO-3</b>	68,45	74,8	9,27
<b>RO-4</b>	78,6	83,2	5,85
<b>RO-5</b>	92,1	86,7	5,86
<b>RO-6</b>	97,9	89,4	8,68
<b>RO-7</b>	99,1	119,5	20,58
<b>RO-8</b>	100,3	150,1	49,65
<b>RO-9</b>	91,8	130,2	41,83

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 22 se evidencia los datos de cada uno de los ensayos antes y después de estabilidad en donde los que presentaron mejores resultados no tienen gran porcentaje de variación 10% , estos fueron RO-1 al RO-9, sin embargo los ensayos que destacan son RO-1, RO-2, RO-4, RO-5 ya que sus propiedades no cambian tras su almacenamiento, sin embargo los ensayos RO-7, RO-8 y RO-9 presentan gran variación en su viscosidad después de estabilidad debido a que su cantidad de pigmento y dispersante es mayor, estos ensayos podrían ser descartados ya que no cumplen con el criterio para un concentrado pigmentario con buenas propiedades. En la gráfica 7 se evidencia que los ensayos con mayor variabilidad fueron los últimos ensayos como se describió anteriormente RO-7, RO-8 y RO-9 con 20,58 49,65% y 41,83% respectivamente después de estabilidad ya que el calor al que son sometidos los ensayos genera que el pigmento se disperse con mayor proporción (a la cantidad de pigmento y dispersante) generando asentamientos no deseados, por otro lado, se observa que los ensayos con menor viscosidad y variabilidad antes y después fueron RO-1, RO-2 y RO-4 con 1,32%, 1,44%,5,85%.

**Gráfica 7.** Comparación antes y después de estabilidad para óxido de hierro rojo.



Fuente: elaboración propia.

**2.10.3 Porcentaje de sólidos.** Para determinar esta variable se tiene en cuenta lo descrito en el numeral 2.4.3, en donde se determina la cantidad de pigmento que se pudo haber perdido en el proceso de molienda tal como se hizo con los demás concentrados pigmentarios, los datos recopilados evidencia en la tabla 20, a continuación, se muestra la tabla 23 con los datos obtenidos.

**Tabla 23.** Valores porcentaje de sólidos óxido de hierro rojo.

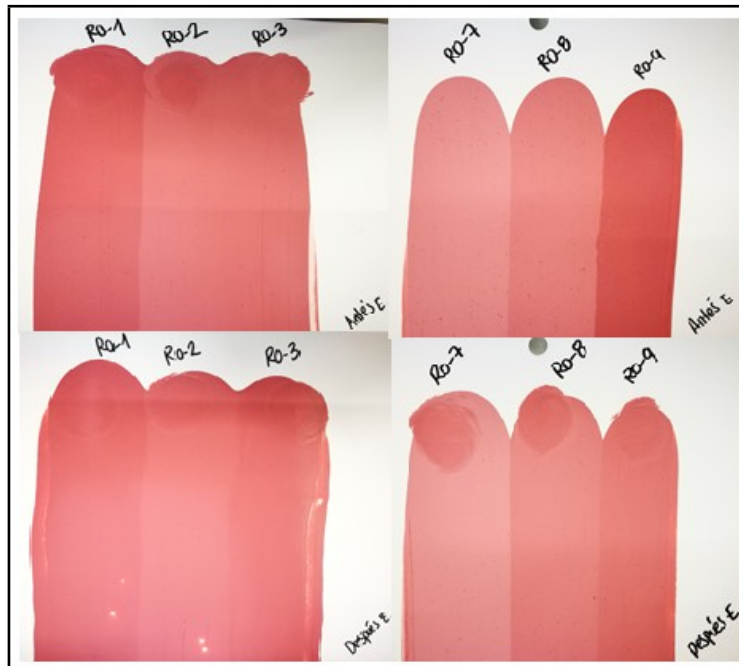
Muestra	% Sólidos
RO-1	64,81
RO-2	64,60
RO-3	64,15
RO-4	68,70
RO-5	68,43
RO-6	68,38
RO-7	73,95
RO-8	72,23
RO-9	71,20

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 23 se evidencia el porcentaje de sólidos de cada uno de los ensayos, en donde la cantidad de pigmento inicial es proporcional al porcentaje de sólidos lo cual representación de una buena dispersión en todos los ensayos, cabe aclarar que los ensayos que demuestran un pequeño aumento son los ensayos que tiene mayor cantidad de dispersante RO-1, RO-4 y RO-7 con 64,81%, 64,70% y 73,95%, esto es debido a la humectación del pigmento lo cual general aglomeración.

**2.10.4 Esfuerzo de color.** Al igual que el análisis de esfuerzo de color de los pigmentos óxido de hierro amarillo y cromo verde tiene el mismo procedimiento ya descrito en el numeral 2.4.4. Así mismo la ilustración 36 representa la aplicación de los ensayos RO-1, RO-2, RO-3, RO7, RO-8 Y RO-9 en lenetas. Seguido de la tabla 24 la cual corresponde a los datos tomados de esfuerzo de color \*L antes y después de estabilidad.

**Ilustración 36.** Lenetas óxido de hierro rojo antes y después de estabilidad.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 24.** Valores esfuerzo de color L\* antes y después de estabilidad óxido de hierro rojo.

Ensayo	Estabilidad	Estabilidad	% variación
--------	-------------	-------------	-------------

	<b>antes</b>	<b>después</b>	
<b>RO-1</b>	67,51	67,05	0,68
<b>RO-2</b>	54,71	57,72	5,51
<b>RO-3</b>	60,07	61,58	2,53
<b>RO-4</b>	59,7	60,47	1,28
<b>RO-5</b>	59,49	58,38	1,86
<b>RO-6</b>	58,56	59,85	2,20
<b>RO-7</b>	59,01	64,68	9,60
<b>RO-8</b>	60,1	60,65	0,91
<b>RO-9</b>	54,71	58,93	7,71

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 24 se puede evidenciar el esfuerzo de color \*L antes y después de estabilidad en donde la variabilidad de los ensayos RO-1, RO-3, RO-4, RO-5, RO-6 y RO-7 no superaron el 3% lo que indica que la cantidad de pigmento no influye en el esfuerzo de color, para todos los ensayos el programa OnColor represento el eje +a\* el cual indica según lo descrito en el numeral 1.3.1 su indicativo es rojo, el ensayo RO-7 represento variedad en la tonalidad por lo cual representa falta de dispersión en las moléculas, otro de los factores en alguno de los ensayo pudieron ser errores humanos en el momento de aplicar los concentrados pigmentarios en las lenetas, tiempo de molienda.

**2.10.5 Análisis de resultados para el concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.** En la tabla 25 se puede evidenciar los resultados del diseño de experimentos tal como se explicó en el numeral 2.6 tabla 3 en donde se muestran cada uno de los niveles a utilizar para el concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.

Tabla 25. Respuestas para la obtención de concentrados pigmentarios óxido de hierro rojo.

<b>ENSAYO</b>	<b>% pigmento</b>	<b>% dispersante</b>	<b>Viscosidad (Uk)</b>	<b>Esfuerzo de color (*L)</b>
---------------	-------------------	----------------------	------------------------	-------------------------------



<b>RO-1</b>	63	4	68,1	67,51
<b>RO-2</b>	63	3	76,1	54,71
<b>RO-3</b>	63	2	68,45	60,07
<b>RO-4</b>	67	4	78,6	59,7
<b>RO-5</b>	67	3	92,1	59,49
<b>RO-6</b>	67	2	97,9	58,56
<b>RO-7</b>	71	4	99,1	59,01
<b>RO-8</b>	71	3	100,3	60,1
<b>RO-9</b>	71	2	91,8	54,71

Fuente: elaboración propia.

**2.10.6 Análisis de varianza con su respectiva ecuación polinomial para el esfuerzo de color \*L del óxido de hierro rojo.** Para el análisis estadístico ANOVA en donde se evidencia en la tabla 26, el valor del pigmento estará descrito por la palabra A mientras que el dispersante con la letra B. En este caso el diseño de experimentos indica un nivel de confianza del 95%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 80,7081% 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 48,5551%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,67889. El error medio absoluto (MAE) de 1,33457 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%. A continuación, se evidencia la ecuación del ajuste encontrado para el esfuerzo de color óxido de hierro rojo.

**Ecuación 8.** Ecuación esfuerzo de color óxido de hierro rojo.

$$\text{Esfuerzo de color} = 58,2522 + 1,80167*A - 1,49667*B + 1,72167*A^2 - 3,5775*A*B - 0,1233333*B^2$$

Fuente: Statgraphics, simulador.

**Tabla 26.** Análisis de varianza para el esfuerzo óxido de hierro rojo.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón -F</b>	<b>Valor-P</b>
A: pigmento	19,476	19,476	2,71	0,1980
B: Dispersante	13,4401	13,4401	1,87	0,2646

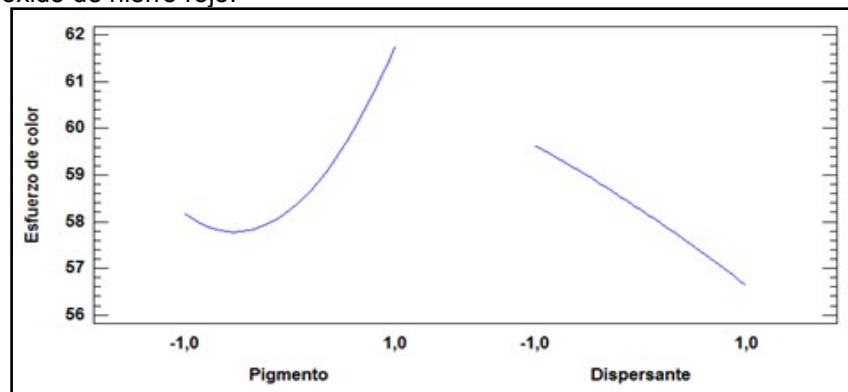
AA	5,92827	5,92827	0,83	0,4304
AB	51,194	51,194	7,13	0,0756
BB	0,0304222	0,0304222	0,00	0,9522
Error total	21,5294	7,17645		
Total (corr)	111,598			

Fuente: Statgraphics, simulador.

En la tabla 26 se evidencia el análisis de varianza para el óxido de hierro rojo en donde primero se encuentra los factores correspondientes para el diseño de experimentos, luego la suma de cuadrados el cual indica el efecto de cambio de nivel y repetición del factor en la variable respuesta, luego la razón-F prueba la hipótesis sobre el cociente de dos varianzas, y por ultimo vapor-P obtiene una referencia para aceptar o rechazar hipótesis.

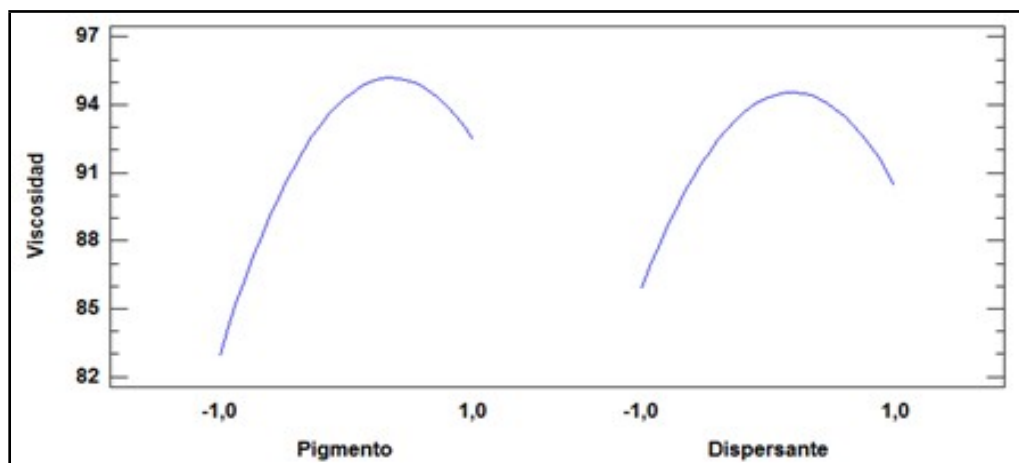
**2.10.7 Análisis de gráficos de efectos para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.** En la gráfica 8 y 9 se analizará el efecto que tiene el pigmento y dispersante para las variables respuesta viscosidad y esfuerzo de color, para el diseño de los gráficos se utilizó el programa Statgraphics.

**Gráfica 8.** Gráfica de efectos principales para el esfuerzo de color L\* óxido de hierro rojo.



Fuente: Statgraphics, simulador.

**Gráfica 9.** Gráfica de efectos principales para viscosidad (Uk) óxido de hierro rojo.



Fuente: Statgraphics, simulador.

En la gráfica 8 se evidencia el efecto que tiene el pigmento frente a la variable respuesta esfuerzo de color, a medida que el pigmento aumenta el color es más notable entre los niveles -1 con esfuerzo de color de 58\*L y 1 con 61,9\*L, mientras que el dispersante se observa una decadencia del nivel -1 a 1 de 57\*L, para la gráfica 9 tanto el pigmento como el dispersante se comportan de manera proporcional con respecto a la viscosidad, ya que al disminuir la cantidad de cualquiera de los dos factores la viscosidad disminuye hasta el nivel -1 con 85 Uk.

**2.10.8 Optimización del modelo para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.** Al igual que el concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo y cromo verde el criterio de selección para el mejor concentrado pigmentario será el diseño de experimentos con mayor esfuerzo de color \*L y con la menor viscosidad posible tal como se describió en el numeral 2.8.8, en la tabla 27 se evidencia la optimización por medio del programa.

Tabla 27. Optimización del modelo polinomial para la obtención del concentrado pigmentario óxido de hierro rojo.

	<b>Pigmento %</b>	<b>Dispersante %</b>	<b>Viscosidad</b>	<b>Esfuerzo de color (*L)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>(Uk)</b>	
<b>Codificadas</b>	-1	1	70,9701	66,7264
<b>Reales</b>	63	4	68,1	67,51

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 27 se puede evidenciar los resultados óptimos para el concentrado pigmentario con mejores propiedades, en donde a partir de todos los ensayos realizados el ensayo RO-1 presenta mejores resultados en cada uno de las variables a analizar, utilizando el diseño de experimentos se confirma que es el

concentrado pigmentario con mejores condiciones, ya que cuenta con un nivel de viscosidad bajo y representa mayor esfuerzo de color  $L^*$  características apropiadas para un concentrado pigmentario.

Una vez se estable la relación de pigmento y dispersante con ayuda del diseño de experimentos  $3^2$  factorial para óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo, tomando como variable respuesta la viscosidad ( $U_k$ ) y esfuerzo de color  $L^*$ , se toman los ensayos que presentaron condiciones óptimas, los cuales fueron AM-6, VE-2 Y RO-1, dando cumplimiento al segundo objetivo del presente proyecto.

## **2. EVALUAR COMPATIBILIDAD Y DESEMPEÑO EN LOS DIFERENTES SISTEMAS DE PINTURAS EPÓXICA, URETANO, ALQUÍDICO Y ACRÍLICO EN CÁMARA ÁCIDA, UV Y SALINA**

En este capítulo se evalúa la compatibilidad (ver anexos 8,9,10) de los concentrados pigmentarios seleccionados en el capítulo anterior (AM-6, VE-2 y RO-1) con cada uno de los sistemas de pinturas que maneja Sika S.A.S, los cuales será epóxico, uretano, alquídico y acrílico, cabe aclarar que al ser colores nuevos para la empresa, no existe un patrón entre dichos colores, por ende se toma una base blanca por cada sistema de pintura la cual será referenciada como patrón; para evaluar el desempeño de cada concentrado se realiza una mezcla en relación 20:2 con el sistema de pintura y concentrado pigmentario respectivamente, para luego aplicar la mezcla a láminas metálicas descrita en el numeral 2.5.1 para que estas puedan ser llevadas en diferentes cámaras evaluando brillo y esfuerzo de color como se describe en el numeral 2.5.5 y 2.5.6 con su respectivo diagrama 7.

## 17 ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO

Una vez se realiza la aplicación de las mezclas (patrón y concentrado pigmentario desarrollado) en láminas metálicas se deja un tiempo de curado de 5 días, en donde se observó que no había flotación de las partículas del pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación además de presentar una capa uniforme en la lámina. Adicionalmente se realiza una mezcla con barniz y el concentrado pigmentario seleccionado anteriormente AM-6, con el fin de evaluar el comportamiento del color ya que la resina transparente hace que el pigmento desarrolle su color con más intensidad, esta aplicación solo se tendrá en cuenta para pruebas en la cámara UV.

**3.1.1 Cámara ácida.** Terminado el tiempo de curado se prepara la cámara ácida descrita en el numeral 2.5.3, en donde se analiza brillo y esfuerzo de color en 2 ciclos de 400 horas respectivamente. A continuación, en la tabla 28 se evidencia los datos obtenidos correspondientes para el análisis de brillo por cada ciclo en los sistemas de pintura epóxico, uretano, alquídico y acrílico. (Donde P=patrón y E= ensayo)

Tabla 28. Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, uretano, alquídico y acrílico.

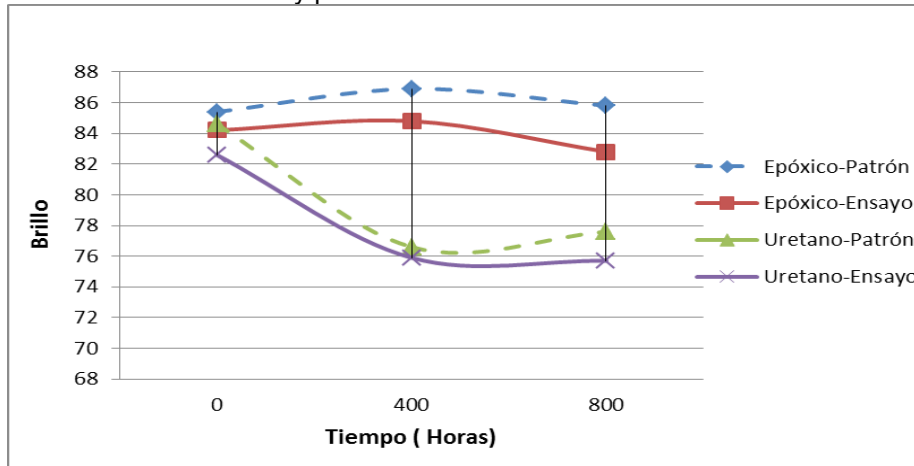
Tiempo	Epóxico		Uretano		Alquídico		Acrílico	
	P	E	P	E	P	E	P	E

(Horas)								
0	85,4	84,2	84,6	82,6	23,5	22,4	8,9	7,4
400	86,9	84,8	76,6	75,9	24,2	23,9	8,1	7,5
800	85,8	82,8	77,6	74,7	25,9	24,7	6,8	4,8

Fuente: elaboración propia

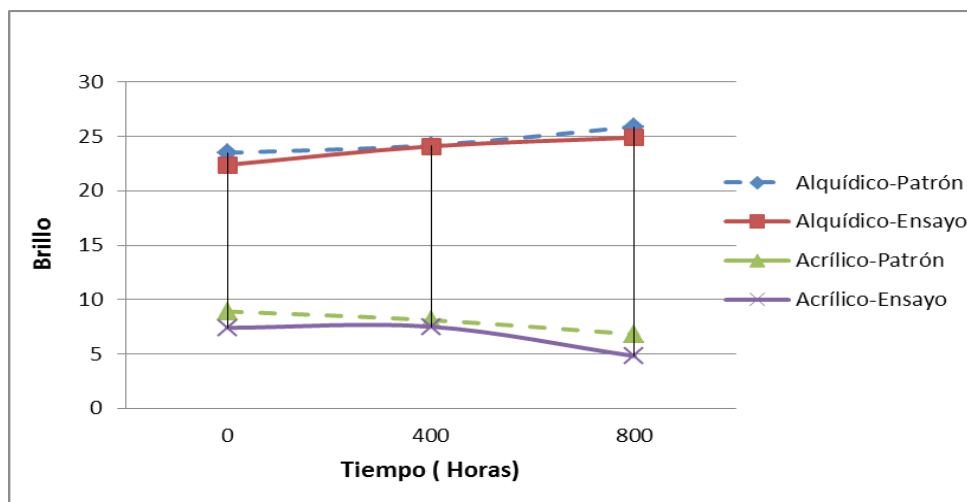
En la tabla 28 se observa los datos obtenidos de la variable brillo para cada lámina metálica del color óxido de hierro amarillo en donde se evalúa el comportamiento del óxido de hierro amarillo frente a cada sistema de pintura. Para las láminas epóxicas y uretano se observa que la pintura patrón se encuentra en el rango de 85° a 87° y 75° a 85° respectivamente, mientras que los valores del ensayo evidencian una variación de 2° con respecto al patrón señal de una buena compatibilidad ya que la gráfica 10 evidencia un comportamiento similar al patrón al paso de 800 horas. Para el sistema de pinturas alquídico y acrílico se evidencia una variación del 22° a 26° con una diferencia no mayor al 2° , al igual el comportamiento para el ensayo fue similar presentando aumento de brillo, esto debido a la cantidad de dispersante que tiene la mezcla lo cual hace que las partículas del pigmento se dispersen bien otorgando mayor brillo, mientras que para el sistema acrílico tanto para el patrón como para el ensayo, del primer al segundo ciclo se observa una variación del brillo como se describe en el numeral 1.2.2. a continuación las gráficas 10 y 11 representan el comportamiento del óxido de hierro amarillo con los diferentes sistemas de pinturas.

**Gráfica 10.** Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 11.** Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia

En la gráfica 10 y 11 el comportamiento que evidencia cada concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo frente a los diferentes sistemas de pinturas se observa una tendencia de disminución en cuanto al brillo de los ensayos frente al patrón, a pesar de ello es notable el mismo comportamiento para cada uno de los sistemas de pintura epóxico, uretano, alquídico y acrílico.

Al igual que la variable brillo, se debe analizar el esfuerzo de color \*L para cada uno de las láminas expuestas a la cámara ácida, después de cada uno de los ciclos; en la tabla 29 se evidencia cada uno de los datos tomados de las láminas metálicas durante los dos ciclos para cada uno de los sistemas de pintura con su respectivo patrón.

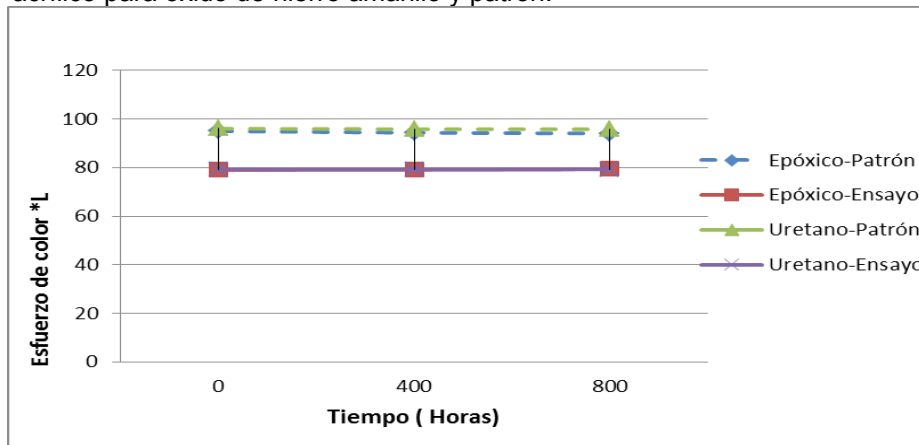
Tabla 29. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Uretano		Alquídico		Acrílico	
	P	E	P	E	P	E	P	E
0	94,9	79,0	96,0	79,2	96,6	78,1	97,6	79,5
400	94,3	79,1	95,8	79,2	95,1	77,0	97,5	81,2
800	94,0	79,4	95,8	79,3	94,8	77,0	97,1	79,1

Fuente: elaboración propia

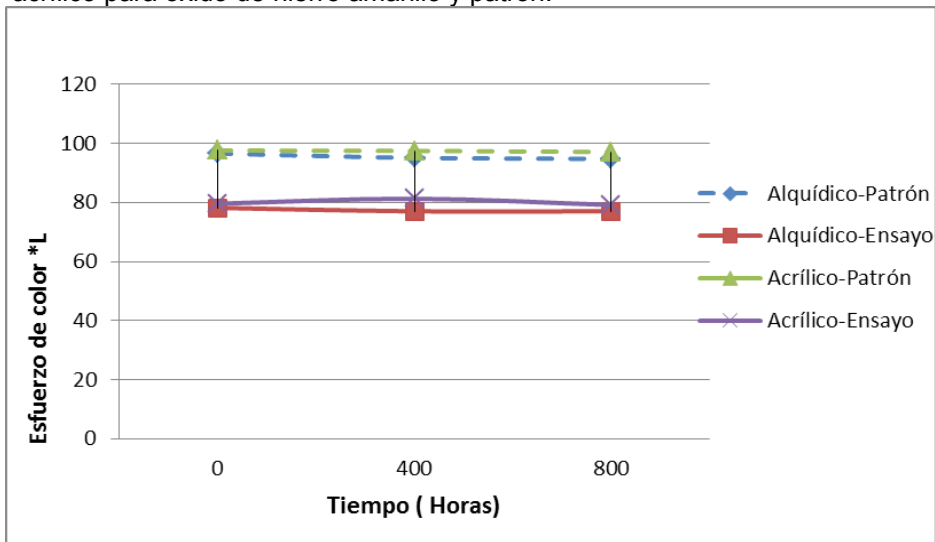
Al igual que el análisis de la variable brillo, la tabla 29 evidencia los valores por cada una de las láminas óxido de hierro amarillo con cada uno de los sistemas de pintura frente al patrón en donde se ve un cambio notorio frente al patrón y el ensayo, sin embargo, cada una de las aplicaciones son óptimas para su posterior uso ya que tienen un comportamiento similar a la del patrón, a lo que equivale que el ensayo realizado se encuentra en óptimas condiciones para la aplicación.

**Gráfica 12.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 13.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas alquídico y acrílico para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia

En las gráficas 12 y 13 se evidencia un comportamiento similar entre el ensayo óxido de hierro amarillo frente al patrón de cada sistema de pintura, sin embargo, la pintura uretano presente una variación del 0,5 L\* mientras que el alquídico y acrílico presente una variación del 1,0 L\* esto demuestra tener buena compatibilidad y por ende es apta para la aplicación a exteriores.

**3.1.2 Cámara Uv.** Tal como se describe en el numeral 2.5.4 cada uno de las láminas metálicas se exponen a luz ultravioleta entre temperaturas de 40 C° a 60 C° (según norma interna de Sika S.A.S) con el fin de determinar las pérdidas de



propiedades ópticas para cada sistema de pintura y su correspondiente patrón, en donde se toma 4 ciclos de 24 horas respectivamente, mientras que la pintura uretano tomo más tiempo de lo esperado debido a la resistencia a la pérdida de brillo que este tiene ante la luz ultravioleta tomando 2 ciclos de 400 (tabla 30). Al igual que la cámara ácida se analizará las variables de brillo y esfuerzo de color \*L.

**Tabla 30.** Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, acrílico y alquídico.

<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Epóxico</b>		<b>Acrílico</b>		<b>Alquídico</b>	
	<b>Patrón</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Patrón</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Patrón</b>	<b>Ensayo</b>
0	84,6	85,7	61,8	63,8	82,5	81
24	81,2	82,1	62,3	63,1	83,6	81,9
48	75,7	89,5	60,3	63,4	84,7	85,0
72	70,1	89,8	57,7	64,5	85,1	87,5
100	69,8	90,2	57,0	64,4	83,2	90,3

**Fuente:** elaboración propia

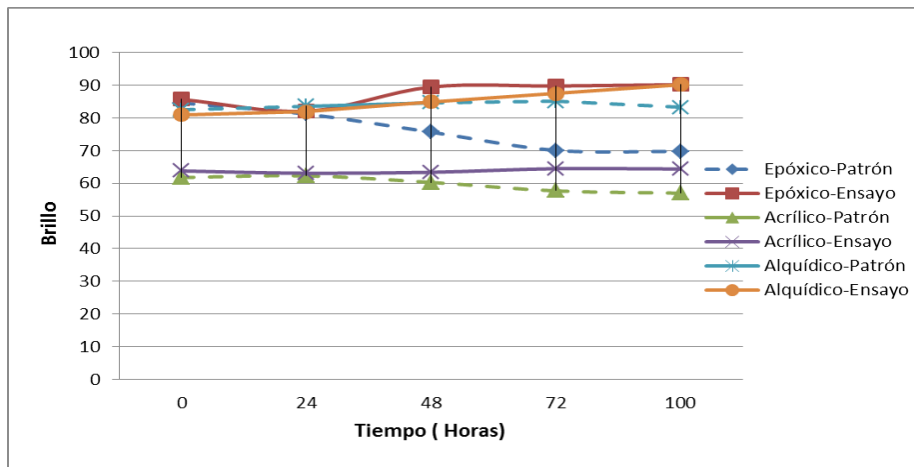
**Tabla 31.** Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para uretano.

<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Uretano</b>	
	<b>Patrón</b>	<b>Ensayo</b>
0	85,2	85,4
400	84,8	86,9
800	82,8	87,8

**Fuente:** elaboración propia

En las tablas 30 y 31 se evidencia los datos de las láminas metálicas para el color óxido de hierro amarillo con los diferentes sistemas de pinturas y su patrón, en donde se observa que cada sistema de pinturas epóxico, acrílico y alquídico su variable brillo es mayor al patrón, lo que indica además de una alta compatibilidad una mejora en el brillo.

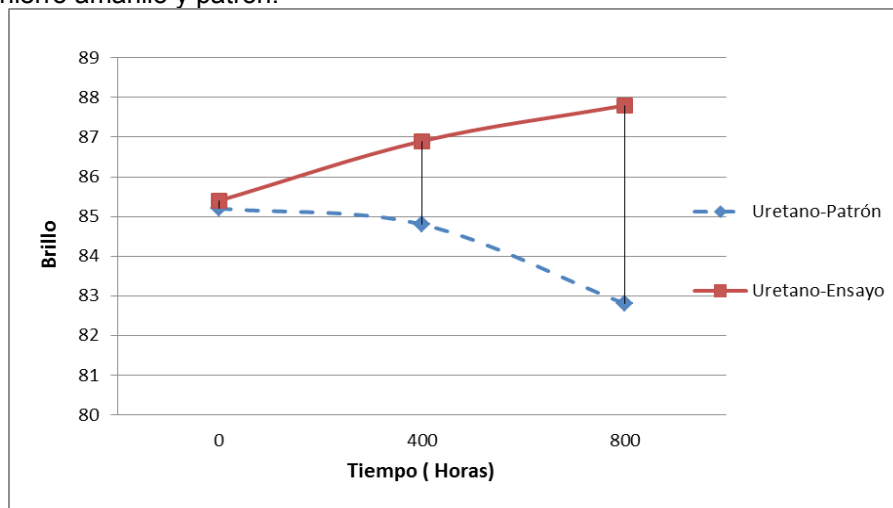
**Gráfica 14.** Valores de brillo para láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia

En la grafica 14 se evidencia la tendencia de las pinturas acrílico y alquídic a permanecer constantes otorgando mayor brillo, ya que el ensayo obtuvo un valor de  $65^\circ$  en 72 horas a diferencia del patrón que obtuvo un valor de  $58^\circ$  siendo este más bajo que el ensayo, la pintura epóxica demuestra una variación notable en el patrón de  $10^\circ$  respecto al ensayo al llevar 100 horas expuesto a rayos ultra violeta, mientras que el ensayo representa un aumento de brillo notable ( $20^\circ$ ); cada una de las pinturas demostró compatibilidad con cada sistema de pintura, lo cual indica que pueden ser utilizadas en exteriores.

**Gráfica 15.** Valores de brillo láminas metálicas uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia

La gráfica 15 representa el comportamiento de la pintura uretano, en donde el patrón tiende a disminuir  $2^\circ$  su brillo durante el ciclo de 400 a 800 horas, mientras que el ensayo aumenta  $2^\circ$  en el mismo tiempo su brillo al pasar las 800

horas, este es el comportamiento que se espera de esta clase de pintura ya que por su composición química son utilizadas en exteriores por su constante brillo al pasar el tiempo, la pintura AM-6 indico buena compatibilidad con el sistema uretano, ademas a esto mejora en la variable brillo.

Para analizar la variable esfuerzo de color \*L, las láminas metálicas son expuestas de igual manera a rayos ultravioleta en 4 ciclos de 24 horas para los sistemas de pintura epóxico, acrílico, alquídico y 2 ciclos para uretano ya que como se menciona anteriormente este sistema representa mayor resistencia a los rayos Uv; en la tabla 32 y 33 se observa los datos obtenidos al pasar cada uno de los ciclos.

Tabla 32. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para epóxico, crítico y alquídico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Acrílico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	94,22	78,85	97,85	79,52	96,18	78,12
24	92,64	78,22	97,85	79,35	96,05	77,56
48	91,72	78,55	97,71	79,43	95,92	77,30
72	91,11	78,04	97,74	79,25	95,84	77,45
100	91,09	77,90	97,54	79,02	95,66	77,25

Fuente: elaboración propia

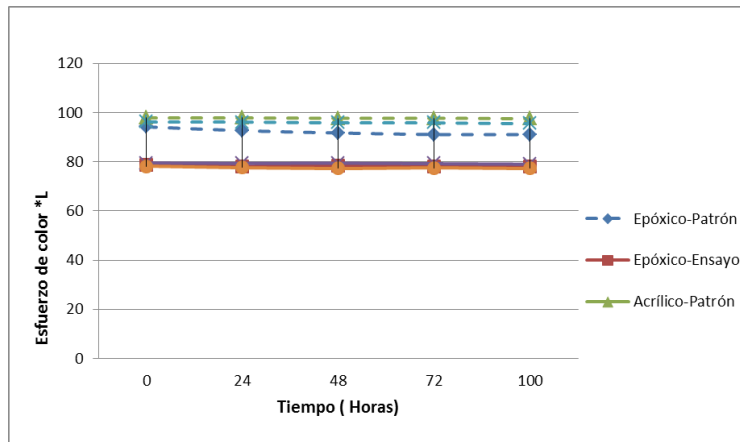
Tabla 33. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo para uretano.

Tiempo (Horas)	Uretano	
	Patrón	Ensayo
0	96,15	79,13
400	95,86	78,46
800	95,52	78,59

Fuente: elaboración propia

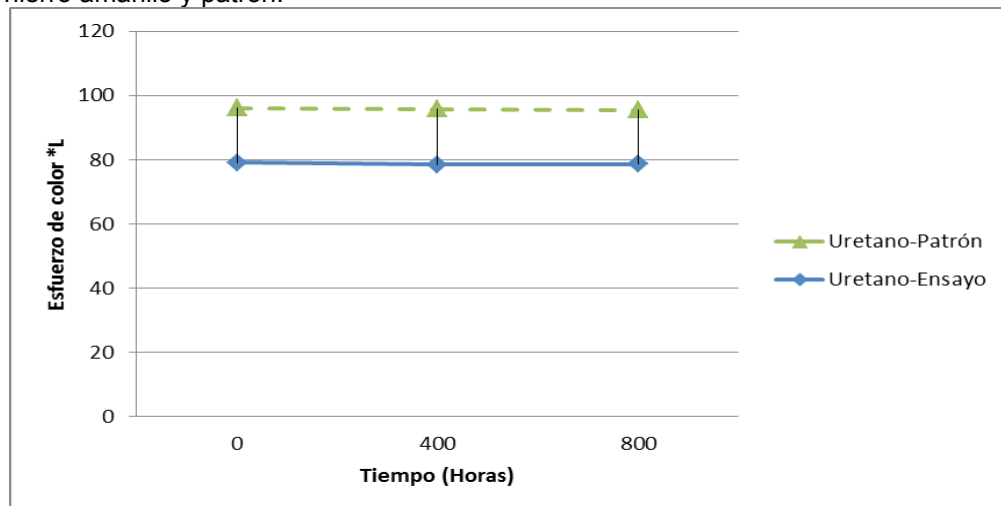
En las tablas 32 y 33 se observan los datos una vez las láminas terminan cada uno de los ciclos. Para cada una de las pinturas, se evidencia un comportamiento constante ya que el patrón se mantiene en 95° y el ensayo en 80° al transcurrir el tiempo; una clara muestra de la compatibilidad que existe con el ensayo escogido anteriormente AM-6.

**Gráfica 16.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas para epóxico, acrílico y alquídico óxido de hierro amarillo y patrón.



Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 17.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas uretano para óxido de hierro amarillo y patrón.











Fuente: elaboración propia

En las gráficas 16 y 17 se evidencia un comportamiento constante en el tiempo tanto para el ensayo como para el patrón en donde sus valores no varían del 1 \*L, lo que indica una buena compatibilidad entre el concentrado pigmentarios escogido AM-6 y el patrón; se observa que los rayos ultravioletas representan un 0% en los cambios drásticos en las aplicaciones.

**3.1.3 Cámara salina.** Cada uno de las láminas metálicas fueron expuestas al ambiente salino, en donde se realiza fisuras en forma de “V” para acelerar el proceso de degradación de los recubrimientos al ambiente, ubicándolas en soportes con inclinación de 30° de vertical durante ciclos de 24 horas como se describe en el numeral 2.5.2, para este ensayo se utiliza la inspección visual

(KIV) mediante la ecuación 3 debido a que no es posible evaluar las variables de brillo y esfuerzo de color.

Tabla 34. Inspección visual láminas metálicas Óxido de hierro amarillo epóxico cada 24 horas.

Epóxico	
Patrón (24 horas)	Ensayo (24 horas)
	
Patrón (48 horas)	Ensayo (48 horas)
	
Patrón (72 horas)	Ensayo (72 horas)
	
Patrón (100 horas)	Ensayo (100 horas)
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 34 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido AM-6, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Tabla 35. **KIV Óxido de hierro amarillo epóxico cada 24 horas.**

<b>Epóxico</b>		
<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	100
48	79	86
72	51	86
100	30	79






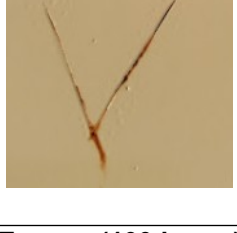


**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 35 se evidencia la disminución del KIV tanto en el patrón como en el ensayo, dando como resultado un mayor deterioro por dicho comportamiento a través del tiempo en el patrón vs el ensayo.

El patrón luego de 72 horas transcurridas ya tiene el KIV menor de 60, lo cual indica que el sistema de recubrimiento presenta fallas en su capacidad de protección, a diferencia del ensayo, el cual, al transcurrir el tiempo el KIV se encuentra mayor a 60, dando como resultado a un avance de la corrosión en rangos admisibles.

Tabla 36. Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo uretano cada 24 horas.

<b>Uretano</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>

	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 36 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido AM-6, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV= 100 -2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

**Tabla 37.** KIV Óxido de hierro amarillo uretano cada 24 horas.

<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Uretano</b>	
	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	86
48	79	79
72	79	79
100	51	51


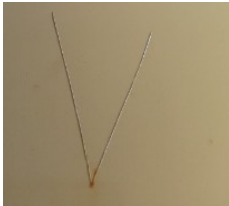






**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 37 se evidencia la disminución del KIV tanto en el patrón como en el ensayo, lo cual representa un comportamiento similar al transcurrir el tiempo (24 a 100 horas) entre las mismas, demostrando una vida útil en un ambiente químicamente activo.

**Tabla 38.** Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo alquímico cada 24 horas.

<b>Alquídico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>



	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 38 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido AM-6, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV= 100 -2 \Sigma Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Tabla 39. KIV Óxido de hierro amarillo alquídico cada 24 horas.




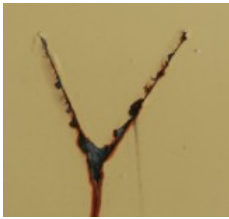




<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Alquídico</b>	
	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	100
48	79	86
72	79	86
100	51	79

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 39 se evidencia la disminución del KIV tanto en el patrón como en el ensayo, dando como resultado un mayor deterioro debido a que el KIV del patrón al transcurrir el tiempo (100 horas) tiene un valor de 51 a diferencia del ensayo que tiene un valor de 89, a pesar de esto, las aplicaciones presentan viabilidad ya que se encuentran en un rango de KIV igual a 60, lo que quiere decir que está en un rango admisible a la corrosión según rangos teóricos de KIV expuestos en el capítulo 2.

Tabla 40. Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro amarillo acrílico cada 24 horas.

<b>Acrílico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>

	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 40 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido AM-6, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Tabla 41. KIV Óxido de hierro amarillo acrílico cada 24 horas.

Tiempo (Horas)	Acrílico	
	Patrón KIV	Ensayo KIV
24	37	51
48	30	51
72	30	30
100	30	30

Fuente: elaboración propia

En la tabla 41 se evidencia disminución significativa del KIV (30) tanto en el patrón como en el ensayo, por la formación de ampollas presentó mayor deterioro en las zonas cercanas a la fisura, este resultado (KIV igual a 30) indica un resultado no muy viable para las aplicaciones del sistema acrílico.

## 18 ÓXIDO CROMO VERDE

Una vez se realiza la aplicación de las mezclas (patrón y concentrado pigmentario desarrollado) en láminas metálicas se deja un tiempo de curado de 5 días, en donde se observó que no había flotación de las partículas del pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación además de presentar una capa uniforme en la lámina, Adicionalmente se realiza una mezcla con barniz y el concentrado pigmentario seleccionado anteriormente VE-2, con el fin de evaluar el comportamiento del color ya que la resina transparente hace que el pigmento desarrolle su color con más intensidad, esta aplicación solo se tendrá en cuenta para pruebas en la cámara Uv.

**3.2.1 Cámara ácida.** Terminado el tiempo de curado se prepara la cámara ácida descrita en el numeral 2.5.3, en donde se analiza brillo y esfuerzo de color en 2 ciclos de 400 horas respectivamente. A continuación, en la tabla 42 se evidencia los datos obtenidos correspondientes para el análisis de brillo por cada ciclo en los sistemas de pintura epóxido, uretano, alquídico y acrílico. (Donde P=patrón y E= ensayo).

Tabla 42. Brillo en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.

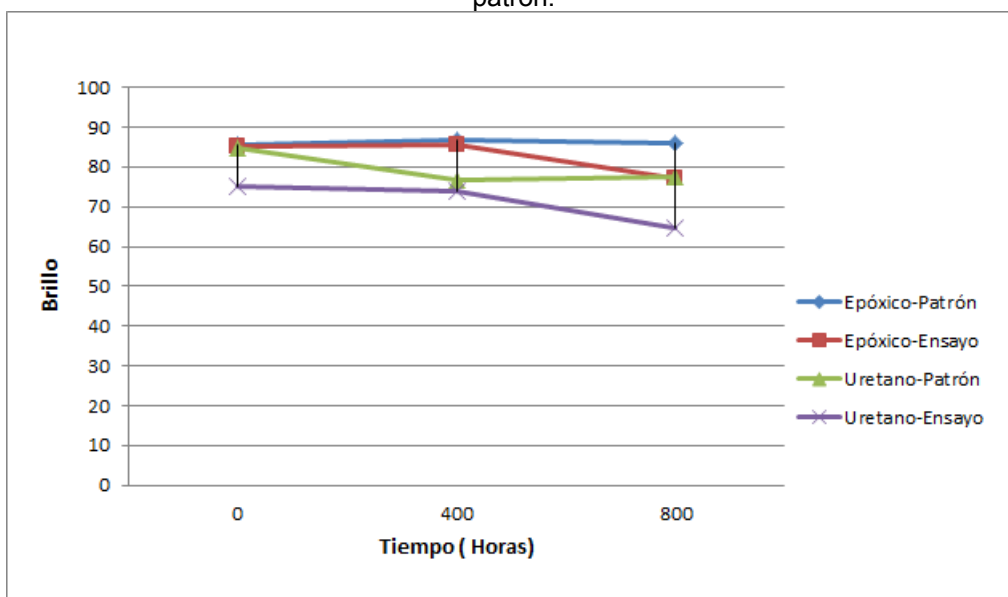
Epóxico	Uretano	Alquídico	Acrílico
---------	---------	-----------	----------

Tiempo (Horas)	P	E	P	E	P	E	P	E
0	85,4	85	84,6	75,1	23,5	21,8	8,9	5,2
400	86,9	85,7	76,6	73,9	24,2	22,4	8,1	5,4
800	85,8	77,1	77,6	64,6	25,9	24,7	6,8	4,5

Fuente: elaboración propia

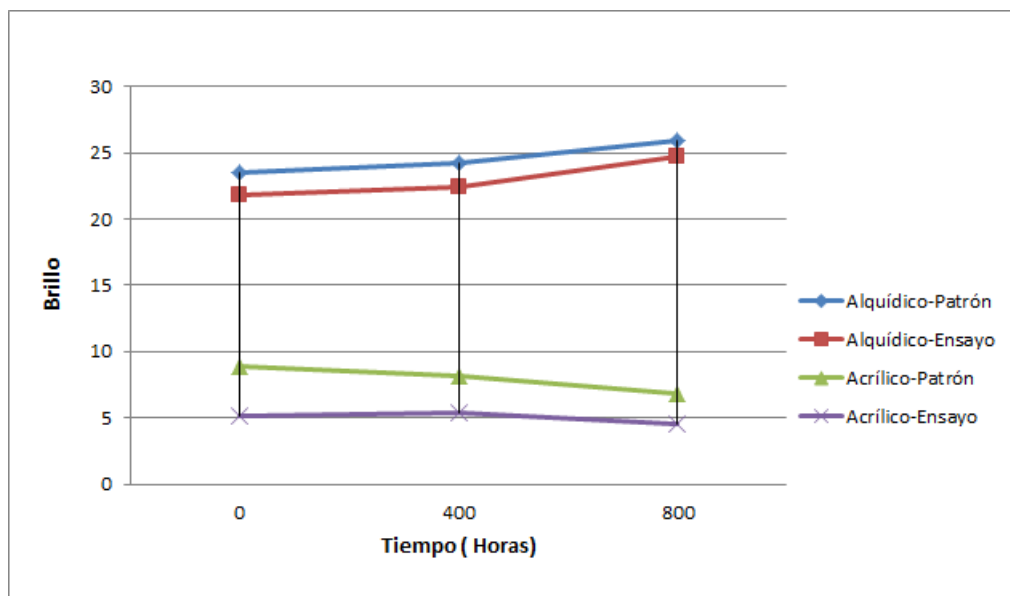
En la tabla 42 se evidencia los resultados tomados de la variable brillo para cromo verde y patrón, en donde para los sistemas epóxico ensayo se presentan una variación de 8° entre 400 y 800 horas a diferencia del comportamiento del patrón en donde su variación es el 1°, para el sistema uretano el patrón demuestra tener variabilidad en entre 0 y 400 horas, mientras que el ensayo presenta pérdida de brillo en el tiempo 400 a 800 con una variación de 10°, para el sistema alquídico tanto el patrón como el esa presentaron variabilidad de 2° señal de un comportamiento similar, por último el sistema acrílico evidencia pérdida de brillo en el tiempo de 800 horas, lo que indica un comportamiento similar frente al sistema patrón. A continuación, se evidencia en la gráfica 18 y 19 los datos obtenidos por la variable brillo para cada uno de los sistemas.

**Gráfica 18.** Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 19.** Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia

En las gráficas 18 y 19 se evidencia la variable brillo vs tiempo (horas) para cada uno de los sistemas, en donde para epóxico, uretano, alquídico y acrílico presenta un comportamiento constante entre ellos, señal de una buena compatibilidad.

Al igual que la variable brillo, se debe analizar el esfuerzo de color \*L para cada uno de las láminas expuestas a la cámara ácida, después de cada uno de los ciclos; en la tabla 43 se evidencia cada uno de los datos tomados de las láminas metálicas durante los dos ciclos para cada uno de los sistemas de pintura con su respectivo patrón. (Donde P=patrón y E= ensayo)

Tabla 43. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.

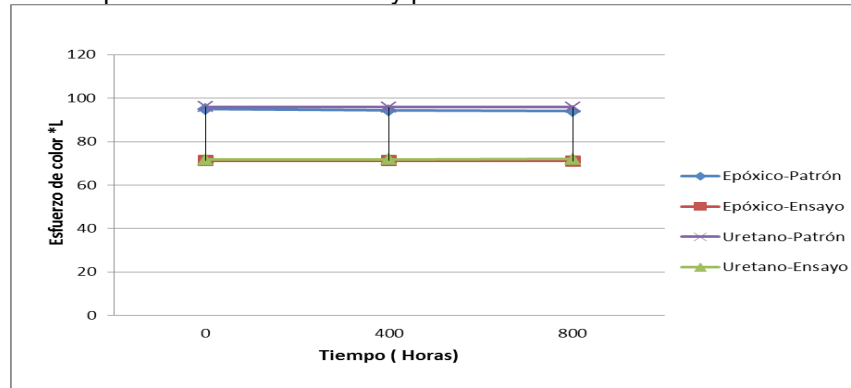
Tiempo (Horas)	Epóxico		Uretano		Alquídico		Acrílico	
	P	E	P	E	P	E	P	E
0	94,9	71,2	96,0	71,6	96,6	69,8	97,6	71,0
400	94,3	71,2	95,8	71,8	95,1	69,1	97,5	73,6
800	94,0	71,1	95,8	72,0	94,8	69,1	97,1	71,8

Fuente: elaboración propia

En la tabla 43 se evidencian los resultados obtenidos para la variable esfuerzo de color \*L para cada una de las láminas metálicas, para los sistemas epóxico, uretano, alquídico y acrílico mantuvo una variabilidad de 1\*L tanto el patrón como el ensayo, representación de que el esfuerzo de color se mantiene intacto al estar expuesto a la simulación de lluvia ácida, lo que representa un buen

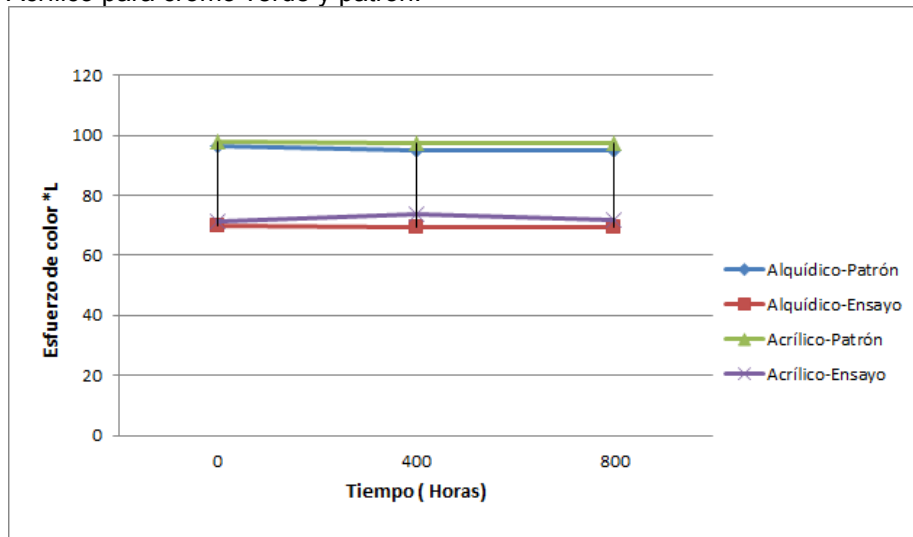
comportamiento en aplicaciones para exteriores; a continuación en las gráficas 20 y 21 se representa los valores expuesto anteriormente.

**Gráfica 20.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas epóxico y uretano para oxido cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 21.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas alquídico y Acrílico para cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia

En las gráficas 20 y 21 se evidencia un desfase entre los patrones y ensayos de aproximadamente 35 \*L entre ellas, estando por encima el patrón (rango de 97\*L) del ensayo (rango de 70\*L), estos resultados representan, una compatibilidad entre el concentrado pigmentario desarrollado óxido cromo verde y el sistema de pintura de la empresa SIKA S.A.S.

**3.2.2 Cámara Uv.** Tal como se describe en el numeral 2.5.4 cada uno de las láminas metálicas se exponen a luz ultravioleta entre temperaturas de 40 C° a 60

C° (según norma interna de Sika S.A.S) con el fin de determinar las pérdidas de propiedades ópticas para cada sistema de pintura y su correspondiente patrón, en donde se toma 4 ciclos de 24 horas respectivamente, mientras que la pintura uretano tomo más tiempo de lo esperado debido a la resistencia que este tiene ante la luz ultravioleta tomando 2 ciclos de 400 (tabla 45). Al igual que la cámara ácida se analizará las variables de brillo y esfuerzo de color \*L.

Tabla 44. Brillo en láminas metálicas oxido cromo verde para epóxico, acrílico y alquídico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Acrílico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	84,6	88,5	61,8	61,5	82,5	78,9
24	81,2	86,4	62,3	68,6	83,6	76,4
48	75,7	74,4	60,3	70,1	84,7	79,6
72	70,1	57,9	57,7	63,6	85,1	80,4
100	69,8	57,9	57,0	64,0	83,2	81,2

Fuente: elaboración propia

En la tabla 44 se evidencia los valores de brillo para cada uno de los sistemas, en donde el epóxico representa un comportamiento de disminución en cuanto al patrón y el ensayo de 7°, en el caso del acrílico a las 24 y 48 horas para el ensayo se presentó un aumento de brillo con respecto al tiempo inicial, comportamiento que se asimila al patrón, mientras que para el alquídico en el ensayo se presenta una variación de 3° en el tiempo 24 horas seguido de un aumento a las 48 horas, comportamiento que se asimilo al patrón.

Tabla 45. Brillo en láminas metálicas oxido cromo verde para uretano.

Tiempo (Horas)	Uretano	
	Patrón	Ensayo
0	85,2	84,4
400	84,8	83,8
800	82,8	82,1

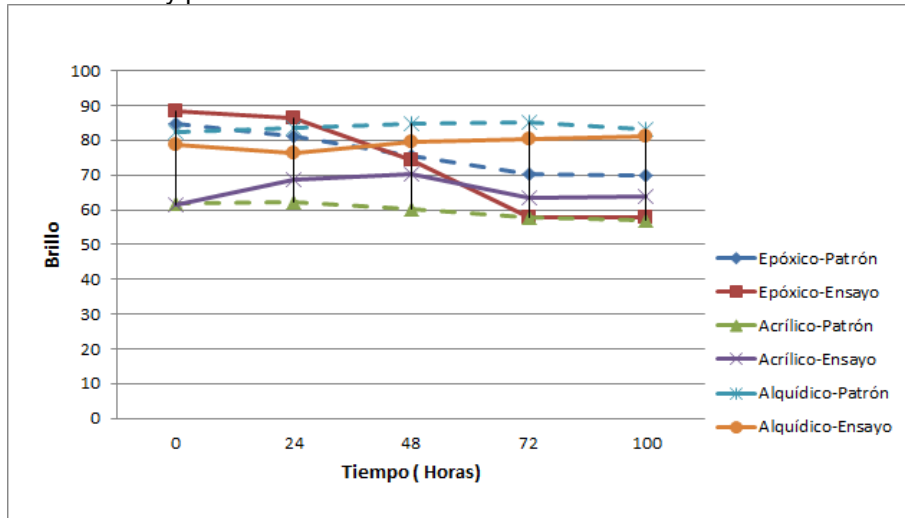
Fuente: elaboración propia

En la tabla 45 se representa el sistema uretano tanto del patrón como del ensayo VE-2, en donde el patrón y el ensayo evidencian el mismo comportamiento, disminuyendo el brillo a lo largo de tiempo (800 horas); a continuación, se observa en las gráficas 22 y 23 los valores de las tablas anteriormente descritas.

Gráfica 22. Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para oxido



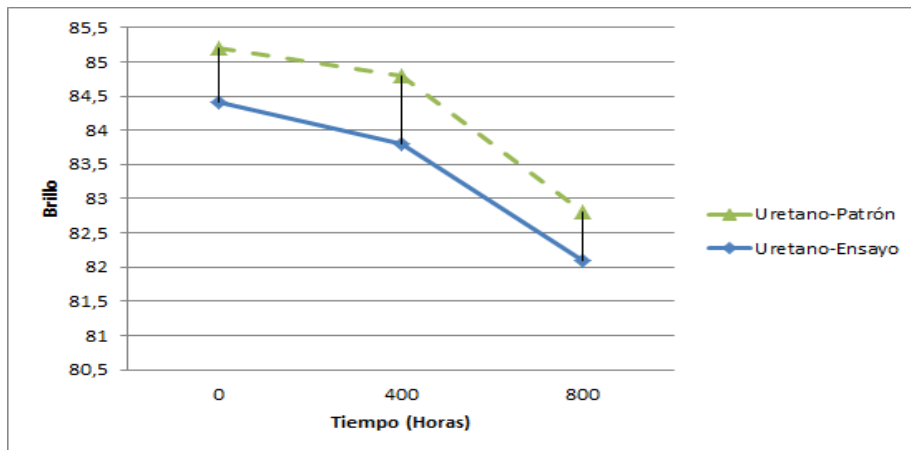
cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia

En gráfica 22 se evidencia el comportamiento de los sistemas analizando la variable brillo vs tiempo (horas), en donde el epóxico pierde brillo con una variación de  $10^\circ$ , sin embargo este se considera compatible con el sistema, ya que tiene una similitud de comportamiento con el patrón; para el sistema acrílico el ensayo evidencia mayor brillo a las 48 horas, luego de 72 horas perdió su brillo, sin embargo el comportamiento frente al patrón presentó mejoras  $20^\circ$  en la variable, finalmente el sistema alquídico se mantuvo en rangos similares en cuanto el ensayo y patrón como se observa en la tabla 45.

**Gráfica 23.** Valores de brillo láminas metálicas uretano para oxido cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia.

Para la gráfica 23, tal como se describió anteriormente, el sistema uretano requirió de más tiempo (800 horas) debido a la resistencia que esta clase de pintura tiene a rayos ultravioleta, esto quiere decir, que las aplicaciones de este sistema de pintura representa durabilidad con el paso del tiempo sin evidenciar deterioro.

Para analizar la variable esfuerzo de color \*L, las láminas metálicas son expuestas de igual manera a rayos ultravioleta en 4 ciclos de 24 horas para los sistemas de pintura epóxico, acrílico, alquídico y 2 ciclos para uretano ya que como se menciona anteriormente este sistema representa mayor resistencia a los rayos Uv; en la tabla 46 y 47 se observa los datos obtenidos al pasar cada uno de los ciclos.

**Tabla 46.** Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido cromo verde para epóxico, acrílico y alquídico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Acrílico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	94,22	71,19	97,85	71,08	96,18	69,81
24	92,64	70,76	97,85	71,15	96,05	69,55
48	91,72	70,54	97,71	71,15	95,92	69,49
72	91,11	70,34	97,74	71,14	95,84	69,44
100	91,09	70,39	97,54	71,07	95,66	69,28

Fuente: elaboración propia

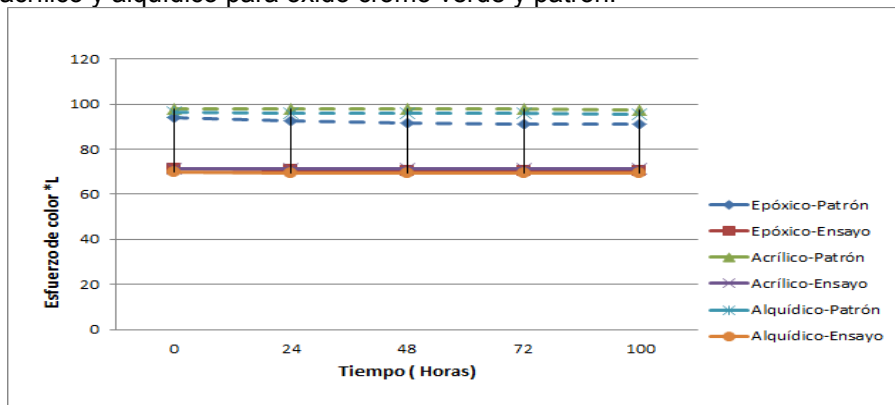
**Tabla 47.** Esfuerzo de color \*L en láminas Metálicas óxido cromo verde para uretano.

Tiempo (Horas)	Uretano	
	Patrón	Ensayo
0	96,15	79,13
400	95,86	78,46
800	95,52	78,59

Fuente: elaboración propia

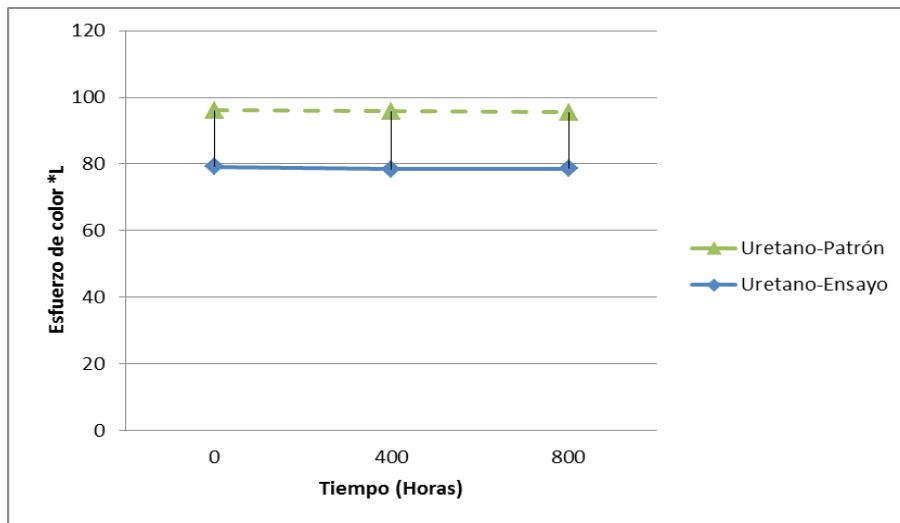
En las tablas 46 y 47 se evidencia los resultados de la variable esfuerzo de color \*L para cada una de las láminas con respecto a cada sistema como lo es el ensayo (óxido cromo verde VE-2) y el patrón respectivamente, en donde se evidencia un comportamiento constante con una variabilidad de 2\*L en todos los sistemas; en las gráficas 24 y 25 se observa el comportamiento de los datos anteriormente descritos.

**Gráfica 24.** Valores esfuerzo de color \*L láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido cromo verde y patrón.



Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 25.** Valores esfuerzo de color \*L láminas metálicas uretano para óxido cromo verde y patrón.











Fuente: elaboración propia.

En las gráficas 24 y 25 se observa un comportamiento constante entre el patrón (70\*L) y el ensayo (80 \*L) señal de compatibilidad en los sistemas epóxico, acrílico alquídico y uretano.

**3.2.3 Cámara salina.** Cada uno de las láminas metálicas fueron expuestas al ambiente salino, en donde se realiza fisuras en forma de “V” para acelerar el proceso de degradación de los recubrimientos al ambiente, ubicándolas en soportes con inclinación de 30° de vertical durante ciclos de 24 horas como se describe en el numeral 2.5.2, para este ensayo se utiliza la inspección visual (KIV) mediante la ecuación 3 debido a que no es posible evaluar las variables de brillo y esfuerzo de color.

Tabla 48. Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde epóxico cada 24 horas.

**Epóxico**

<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 48 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido VE-2, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Tabla 49. **KIV Oxido cromo verde epoxico cada 24 horas.**







<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Epoxico</b>	
	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	86
48	79	86
72	51	79
100	30	79

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 49 se evidencia una disminución en el KIV, tanto en el patrón como en el ensayo, dando como resultado una compatibilidad entre ellos y generando una mejora en el ensayo, ya que no disminuye el KIV del 60 (está en un rango admisible a la corrosión según rangos teóricos de KIV expuestos en el capítulo 2), lo cual indica que el sistema de recubrimiento no presenta fallas en su capacidad de protección.

Tabla 50. **Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde uretano cada 24 horas.**

<b>Uretano</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>

	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 50 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido VE-2, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

**Tabla 51.** KIV Óxido cromo verde uretano cada 24 horas.









<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Uretano</b>	
	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	100
48	79	86
72	79	79
100	51	79

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 51 se evidencia una disminución por igual del KIV en el patrón vs el ensayo, generando una compatibilidad entre ellos, dicho comportamiento es favorable para el proyecto ya que el ensayo adquiere un avance de la corrosión en rangos admisibles ( $KIV \geq 60$ , como se expone en el capítulo 2) al igual que el patrón.

**Tabla 52.** Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde alquídico cada 24 horas.



<b>Alquídico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 52 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido VE-2, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$









Tabla 53. **KIV óxido cromo verde alquídico cada 24 horas.**

<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Alquídico</b>	
	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	100
48	79	86
72	79	79
100	51	79

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 53 se evidencia en el patrón y el ensayo una disminución del KIV, generando una mejora en el ensayo, ya que dicho KIV no es menor a 60 al transcurrir el tiempo de 100 horas, lo cual indica que el sistema de recubrimiento no presenta fallas de oxidación a diferencia del patrón después de 48 horas de prueba.

**Tabla 54.** Inspección visual láminas metálicas óxido cromo verde acrílico cada 24 horas.

Acrílico	
Patrón (24 horas)	Ensayo (24 horas)
	
Patrón (48 horas)	Ensayo (48 horas)
	
Patrón (72 horas)	Ensayo (72 horas)
	
Patrón (100 horas)	Ensayo (100 horas)
	

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 54 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido VE-2, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual.

$$KIV= 100 -2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

**Tabla 55.** KIV Oxido cromo verde Acrílico cada 24 horas.

Tiempo (Horas)	Acrílico	
	Patrón KIV	Ensayo KIV
24	37	58
48	30	58
72	30	37
100	30	37

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 55 se evidencia una disminución en el KIV muy notable (70% al transcurrir las 100 horas), tanto en el patrón como en el ensayo, dando como resultado una compatibilidad entre ellos durante el tiempo transcurrido y generando una mejora en el ensayo, ya que no disminuye el KIV de 60, lo cual indica que el sistema de recubrimiento no presenta fallas en su capacidad de protección.

## 19 ÓXIDO DE HIERRO ROJO

Una vez se realiza la aplicación de las mezclas (patrón y concentrado pigmentario desarrollado) en láminas metálicas se deja un tiempo de curado de 5 días, en donde se observó que no había flotación de las partículas del pigmento, es decir, no hubo espacios vacíos en la aplicación además de presentar una capa uniforme en la lámina, Adicionalmente se realiza una mezcla con barniz y el concentrado pigmentario seleccionado anteriormente RO-1, con el fin de evaluar el comportamiento del color ya que la resina transparente hace que el pigmento desarrolle su color con más intensidad, esta aplicación solo se tendrá en cuenta para pruebas en la cámara Uv.

**3.3.1 Cámara ácida.** Terminado el tiempo de curado se prepara la cámara ácida descrita en el numeral 2.5.3, en donde se analiza brillo y esfuerzo de color en 2 ciclos de 400 horas respectivamente. A continuación, en la tabla 54 se evidencia los datos obtenidos correspondientes para el análisis de brillo por cada ciclo en los sistemas de pintura epóxico, uretano, alquídico y acrílico. (Donde P=patrón y E= ensayo)

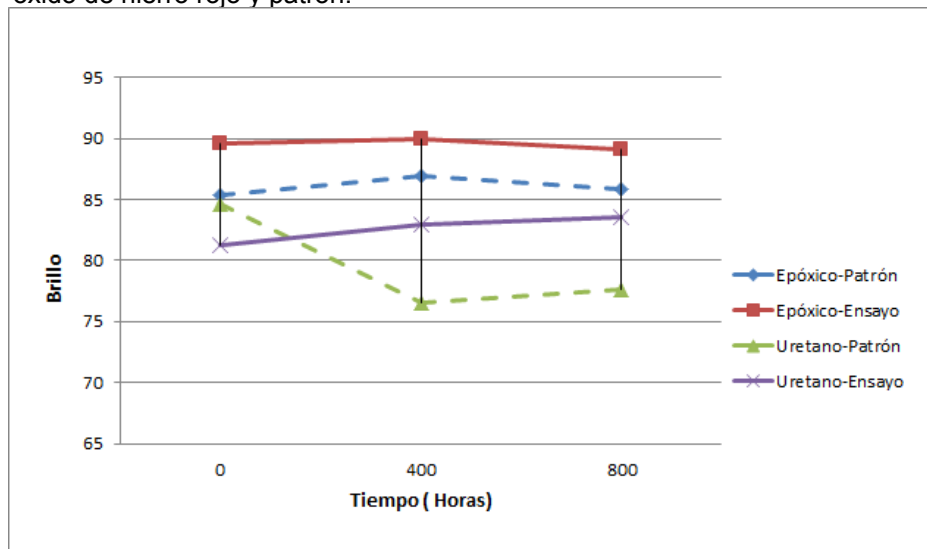
Tabla 56. Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, uretano, alquídico y acrílico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Uretano		Alquídico		Acrílico	
	P	E	P	E	P	E	P	E
0	85,4	89,6	84,6	81,3	23,5	20,5	8,9	4,1
400	86,9	89,9	76,6	82,9	24,2	21,2	8,1	4,8
800	85,8	89,1	77,6	83,5	25,9	22,4	6,8	4

Fuente: elaboración propia

En la tabla 56 se evidencia datos obtenidos para cada una de las láminas metálicas dependiendo su sistema en cuanto patrón y ensayo, para epóxico se evidencia un comportamiento constante con respecto al patrón y ensayo con una variabilidad de 1°, para uretano los datos del ensayo son constantes mediante una variación de 1°, mientras que el patrón consta de una diferencia de 7°, mientras que para el sistema alquídico se presenta una variación entre el ensayo y patrón de 2°, por último el acrílico entre patrón y ensayo no presenta gran variación durante el tiempo ya que su variabilidad es del 1°, es decir, que a lo largo del tiempo su brillo no se verá afectado; en la gráfica 26 se representa los valores representativos a la tabla mencionada anteriormente.

**Gráfica 26.** Valores de brillo para láminas metálicas epóxico y uretano para óxido de hierro rojo y patrón.

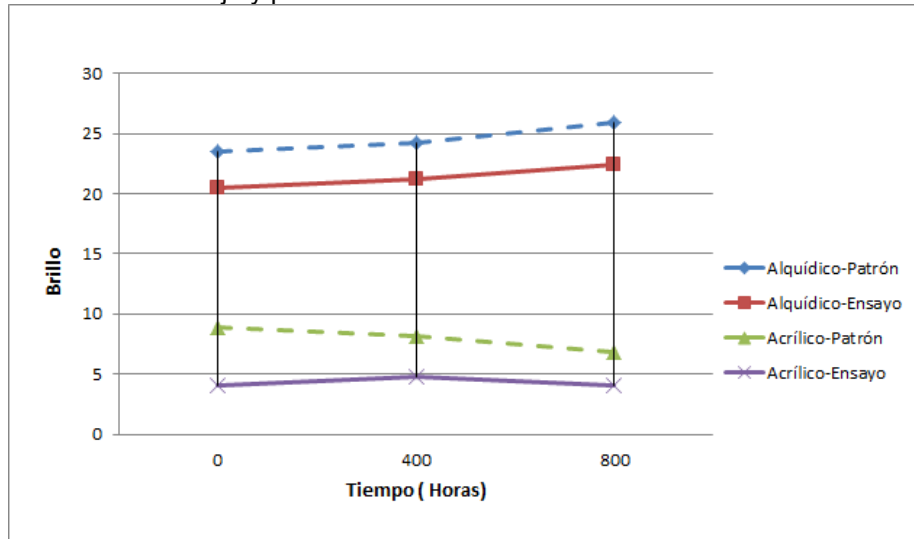


Fuente: elaboración propia

En la gráfica 26 se evidencia un comportamiento de compatibilidad entre los sistemas epóxico y uretano, en donde los ensayos en los dos casos evidencian un aumento de brillo de aproximadamente 3° con respecto al tiempo.

**Gráfica 27.** Valores de brillo para láminas metálicas alquídico y acrílico para

óxido de hierro rojo y patrón.



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 27 se evidencia un comportamiento constante a través del tiempo tanto en el sistema alquídico como en el acrílico, lo que indica una compatibilidad de los mismos.

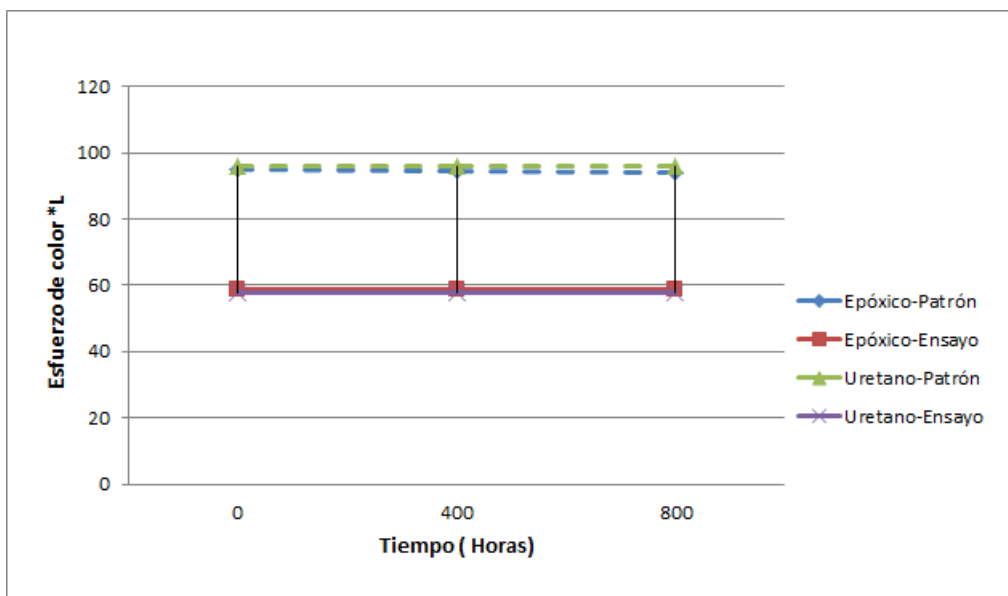
Al igual que la variable brillo, se debe analizar el esfuerzo de color \*L para cada uno de las láminas expuestas a la cámara ácida, después de cada uno de los ciclos; en la tabla 57 se evidencia cada uno de los datos tomados de las láminas metálicas durante los dos ciclos para cada uno de los sistemas de pintura con su respectivo patrón. (Donde, P = Patrón y E= Ensayo)

Tabla 57. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas de hierro de rojo para epóxico, uretano, alquídico y Acrílico.

Tiempo (Hr)	Epóxico		Uretano		Alquídico		Acrílico	
	P	E	P	E	P	E	P	E
0	94,9	58,5	96,1	57,5	96,6	56,0	97,6	56,69
400	94,3	58,8	95,8	57,5	95,1	56,0	97,5	58,25
800	94,0	58,7	95,8	57,8	94,8	56,0	97,1	58,84

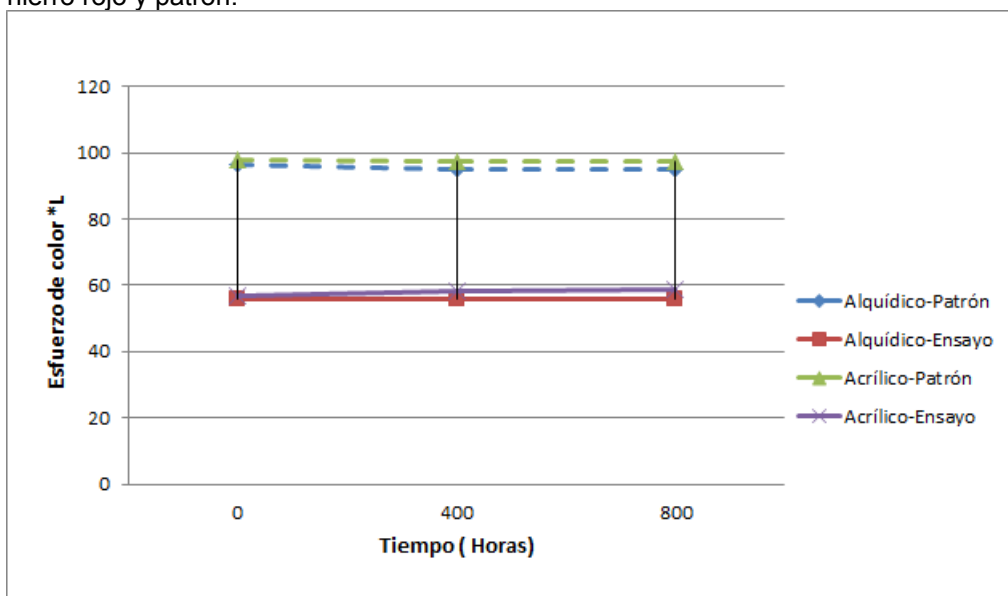
Fuente: elaboración propia.

**Gráfica 28.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas epóxico y uretano para óxido de hierro rojo y patrón.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 29.** Valores esfuerzo de color \*L en láminas metálicas alquídico y óxido de hierro rojo y patrón.



Fuente: elaboración propia

En las gráficas 28 y 29 se evidencia el comportamiento que tiene la variable esfuerzo de color \*L vs tiempo para cada uno de las láminas y sus correspondientes sistemas, en donde se representa una mínima variabilidad despreciable entre el patrón-patrón y el ensayo-ensayo, señal de compatibilidad entre cada uno de ellas al transcurrir el tiempo.

**3.3.2 Cámara Uv.** Tal como se describe en el numeral 2.5.4 cada uno de las láminas metálicas se exponen a luz ultravioleta entre temperaturas de 40 C° a 60 C° (según norma interna de Sika S.A.S) con el fin de determinar las pérdidas de propiedades ópticas para cada sistema de pintura y su correspondiente patrón, en donde se toma 4 ciclos de 24 horas respectivamente, mientras que la pintura uretano tomo más tiempo de lo esperado debido a la resistencia que este tiene ante la luz ultravioleta tomando 2 ciclos de 400 (tabla 59). Al igual que la cámara ácida se analizará las variables de brillo y esfuerzo de color \*L.

**Tabla 58.** Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, acrílico y alquídico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Acrílico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	84,6	89	61,8	79,5	82,5	78,9
24	81,2	86,4	62,3	78,6	83,6	80,7
48	75,7	80,8	60,3	78,1	84,7	79,8
72	70,1	80,9	57,7	77,2	85,1	79,9
100	69,8	90,9	57	78,7	83,2	89,5

Fuente: elaboración propia

En la tabla 58 se evidencia los datos de la variable brillo en cada uno de los ciclos mencionados anteriormente, en el sistema epóxico se evidencia una disminución de 5° mientras que el ensayo mantiene un comportamiento constante con variabilidad de 1°, mientras que el alquídico y acrílico representa una variabilidad de en el ensayo y patrón de 2°.

**Tabla 59.** Brillo en láminas metálicas óxido de hierro rojo para uretano.

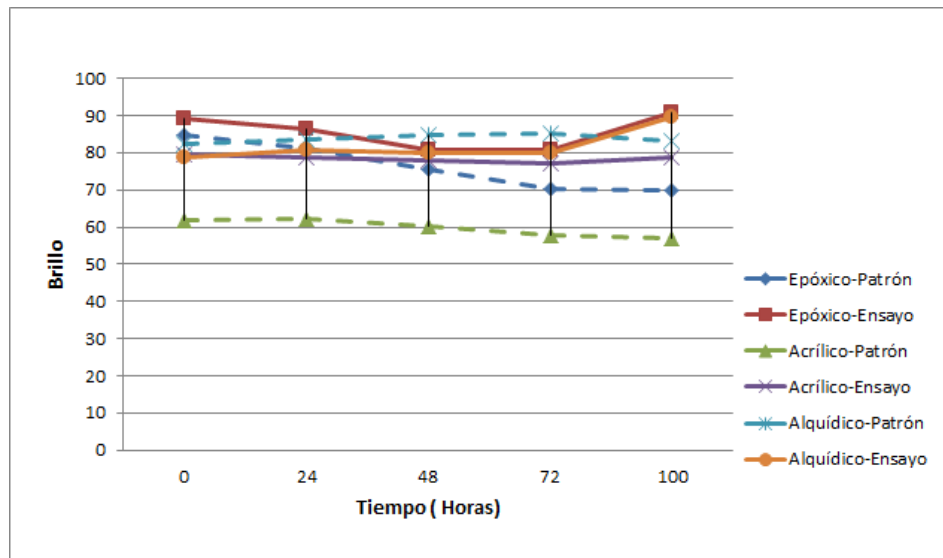
Tiempo (Horas)	Uretano	
	Patrón	Ensayo
0	85,2	79,9
400	84,8	82,8
800	82,8	88,1

Fuente: elaboración propia

En la tabla 59 se evidencia los datos de la variable brillo en el sistema uretano, en 2 ciclos de 400 horas, en donde el comportamiento para el ensayo representa una variabilidad mayor (5°) que en el patrón dándole más luminosidad al ensayo escogido RO-1. A continuación en las gráficas 30 y 31 se observan los valores obtenidos por la variable brillo vs tiempo.

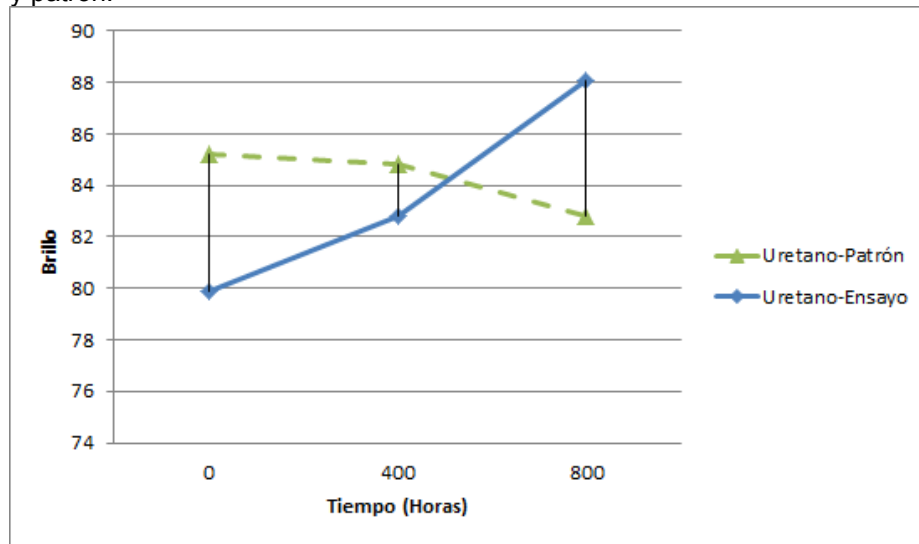
**Gráfica 30.** Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido de hierro rojo y patrón.





Fuente: elaboración propia

**Gráfica 31.** Valores de brillo lámina metálica uretano para óxido de hierro rojo y patrón.



Fuente: elaboración propia

En las graficas 30 y 31 se observa el comportamiento de cada uno de las láminas metálicas expuestas a cámara Uv en donde los sistemas representaron una compatibilidad en todas las químicas, además de aumento de luminosidad transcurridos 400 horas de 82,8° a 88,1° en el tiempo 800 horas como se expresa en la tabla 59.

Para analizar la variable esfuerzo de color \*L, las láminas metálicas son expuestas de igual manera a rayos ultravioleta en 4 ciclos de 24 horas para los

sistemas de pintura epóxico, acrílico, alquídico y 2 ciclos para uretano ya que como se menciona anteriormente este sistema representa mayor resistencia a los rayos Uv; en la tabla 60 y 61 se observa los datos obtenidos al pasar cada uno de los ciclos

Tabla 60. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro rojo para epóxico, acrílico y alquídico.

Tiempo (Horas)	Epóxico		Acrílico		Alquídico	
	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo	Patrón	Ensayo
0	94,22	58,57	97,85	56,81	96,18	55,72
24	92,64	58,49	97,85	56,79	96,05	55,93
48	91,72	58,43	97,71	56,76	95,92	54,76
72	91,11	58,57	97,74	56,51	95,84	55,79
100	91,09	58,47	97,54	56,41	95,66	56,01

Fuente: elaboración propia

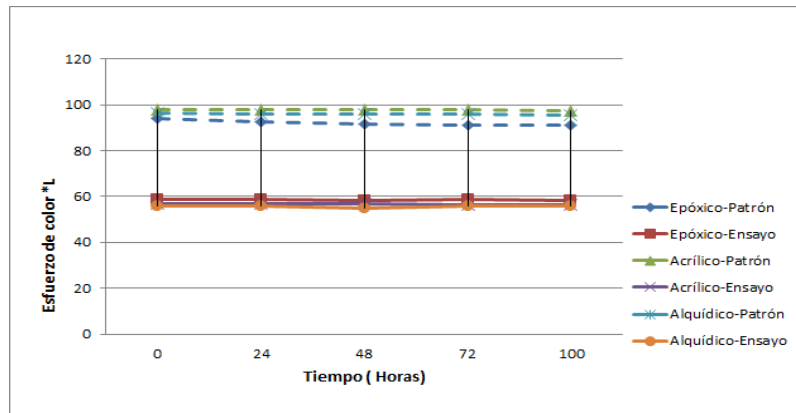
Tabla 61. Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro rojo para uretano.

Tiempo (Horas)	Uretano	
	Patrón	Ensayo
0	96,15	79,13
400	95,86	78,46
800	95,52	88,59

Fuente: elaboración propia

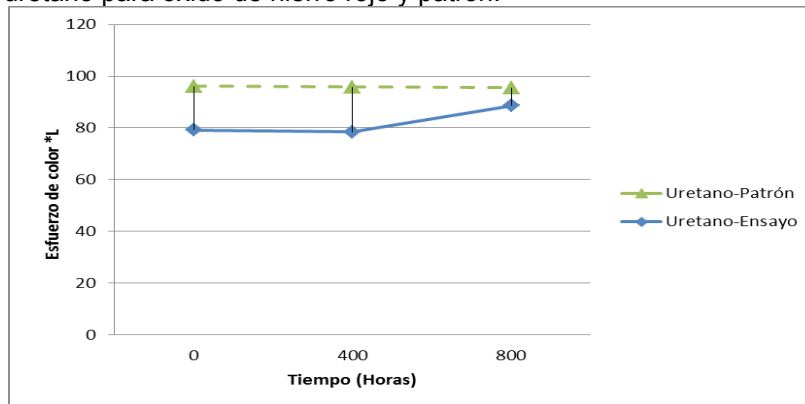
En las tablas 60 y 61 se evidencia un comportamiento constante al transcurrir el tiempo tanto en el patrón como en el ensayo en los valores expresados en dichas tablas en cada uno de los sistemas, señal de compatibilidad entre todos los sistemas en dichos tiempos, a pesar de que el sistema uretano requiere de más tiempo de exposición (800 horas) frente a los rayos Uv y su variación se mantuvo constante entre 96\*L para el patrón y 56\*L para el ensayo.

**Gráfica 32.** Valores de brillo láminas metálicas epóxico, acrílico y alquídico para óxido de hierro rojo y patrón.



Fuente: elaboración propia

**Gráfica 33.** Valores esfuerzo de color \*L láminas metálicas uretano para óxido de hierro rojo y patrón.





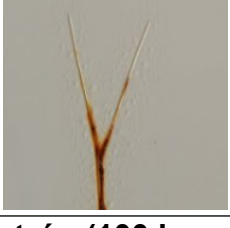
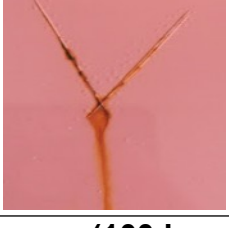




Fuente: elaboración propia

En las gráficas 32 se evidencia un comportamiento constante entre el ensayo y el patrón, lo cual indica una compatibilidad entre los sistemas, ya que no presentó degradación ni sedimentación del pigmento y flotación sobre la superficie, mientras que en la gráfica 33, se observa que del tiempo inicial pasadas las 400 horas hay un comportamiento constante entre el ensayo y patrón mientras que en las 800 horas el ensayo tiene un aumento la propiedad de color a lo largo del tiempo.

**3.3.3 Cámara salina.** Cada uno de las láminas metálicas fueron expuestas al ambiente salino, en donde se realiza fisuras en forma de “V” para acelerar el proceso de degradación de los recubrimientos al ambiente, ubicándolas en soportes con inclinación de 30° de vertical durante ciclos de 24 horas como se describe en el numeral 2.5.2, para este ensayo se utiliza la inspección visual (KIV) mediante la ecuación 3 debido a que no es posible evaluar las variables de brillo y esfuerzo de color.

Tabla 62. Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo epóxico cada 24 horas.

<b>Epóxico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 62 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido RO-1, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual

$$KIV= 100 -2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

**Tabla 63.** KIV Óxido de hierro rojo epóxico cada 24 horas.

Tiempo (Horas)	Epóxico	
	Patrón KIV	Ensayo KIV
24	86	86
48	79	79
72	51	79
100	30	79

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 63 se evidencia la disminución del KIV tanto en el patrón como en el ensayo, dando como resultado un deterioro de 79 a 51 en el patrón mientras que al transcurrir 100 su KIV llega a un valor de 30.









El ensayo generó un impacto positivo, ya que obtuvo una compatibilidad con el patrón y además de esto no disminuyó el KIV significativamente para tomarlo como rangos no admisibles ( $KIV < 60$  como se expresa en el capítulo 2).

**Tabla 64.** Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo uretano cada 24 horas.

---

**Uretano**

---

<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 64 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido RO-1, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$


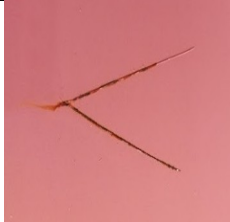






Tabla 65. KIV Óxido de hierro rojo uretano

<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	86	86
48	79	79
72	79	79
100	51	37

**Fuente:** elaboración propia

En la tabla 65 se evidencia la disminución del KIV mayor en el ensayo que en el patrón debido a que pasadas 100 horas el KIV es igual a 37 en el ensayo y el patrón tiene un valor de 51, lo que indica que el ensayo va a tener una oxidación más notable que la del patrón por dichos valores expresados anteriormente.

**Tabla 66.** Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo alquídico cada 24 horas.

<b>Alquídico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** elaboración propia.

En la tabla 66 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido RO-1, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual



$$KIV= 100 -2 \Sigma Fz (| Ft | + | Fd |)$$





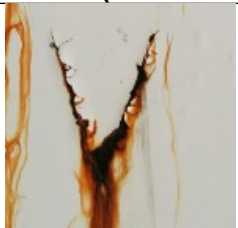
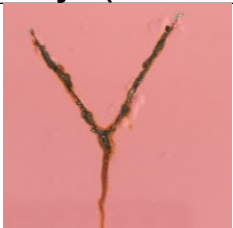


Tabla 67. KIV Óxido de hierro rojo alquídico

Tiempo (Horas)	Alquídico	
	Patrón KIV	Ensayo KIV
24	86	79
48	79	79
72	79	58
100	51	58

Fuente: elaboración propia

En la tabla 67 se evidencia que el patrón luego de 100 horas transcurridas tiene el KIV menor de 60, lo cual indica que el sistema de recubrimiento presenta una capacidad de protección baja, según datos teóricos del KIV representados en el capítulo 2, por otra parte, el ensayo al transcurrir el tiempo, el KIV se encuentra menor a 60, dando como resultado una compatibilidad entre el sistema a pesar de su capacidad de protección ante el fenómeno de la corrosión.

Tabla 68. Inspección visual láminas metálicas óxido de hierro rojo acrílico cada 24 horas.

<b>Acrílico</b>	
<b>Patrón (24 horas)</b>	<b>Ensayo (24 horas)</b>
	
<b>Patrón (48 horas)</b>	<b>Ensayo (48 horas)</b>
	
<b>Patrón (72 horas)</b>	<b>Ensayo (72 horas)</b>
	
<b>Patrón (100 horas)</b>	<b>Ensayo (100 horas)</b>
	

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la tabla 68 se observan las láminas metálicas expuestas a la cámara salina durante ciclos de 24 horas, en donde el patrón demostró un avance de la corrosión frente al ensayo escogido RO-1, esto hace que disminuya el valor de KIV con el transcurso del tiempo como se demuestra a continuación con la ecuación 3.

**Ecuación 3.** Ensayo de inspección visual

$$KIV = 100 - 2 \sum Fz (| Ft | + | Fd |)$$

Tabla 69. KIV Óxido de hierro rojo acrílico.

<b>Acrílico</b>		
<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Patrón KIV</b>	<b>Ensayo KIV</b>
24	37	58
48	30	37
72	30	30
100	30	30

Fuente: elaboración propia

En la tabla 69 se genera una disminución muy significativa desde la hora 24 (30), lo cual produce una oxidación mayor (50%) a comparación de los otros tipos de pinturas, dando así un KIV menor de 60 en todos los tiempos.

## 20 SUSTRATOS ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO, CROMO VERDE, Y ROJO

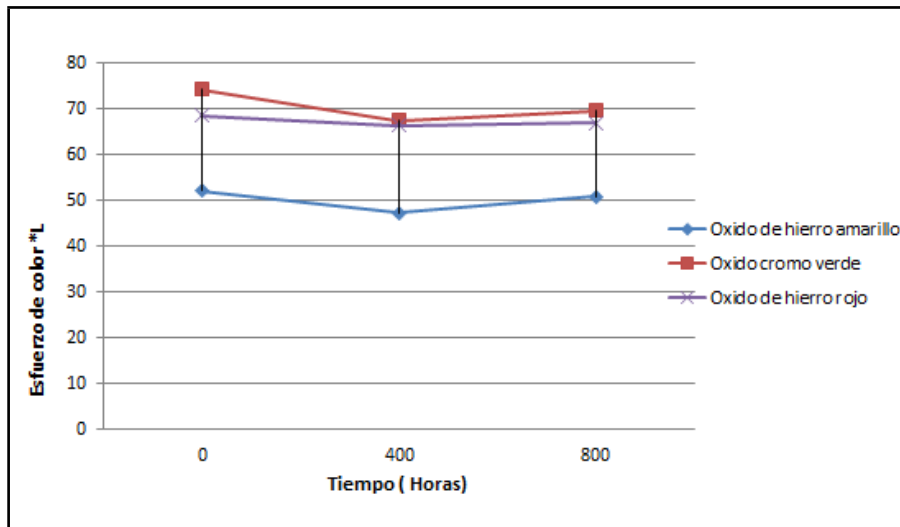
Se realiza una mezcla con barniz y el concentrado pigmentario anteriormente mencionados AM-6, VE-2 y RO-1 con el fin de evaluar el comportamiento del color ya que la resina transparente hace que el pigmento desarrolle su color con más intensidad, esta aplicación solo se tendrá en cuenta para pruebas en la cámara Uv, con dos ciclos de 400 horas debido a la resistencia que presenta la resina frente a los rayos ultravioleta.

Tabla 70. Brillo en láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.

<b>Tiempo (horas)</b>	<b>Óxido de hierro amarillo</b>	<b>Oxido cromo verde</b>	<b>Óxido de hierro rojo</b>
	<b>Ensayo</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Ensayo</b>
<b>0</b>	51,9	74,1	68,3
<b>400</b>	47,1	67,3	66,2
<b>800</b>	50,7	69,5	66,8

Fuente: elaboración propia

**Gráfica 34.** Valores de brillo láminas metálicas óxido de hierro amarillo, oxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.



Fuente: elaboración propia

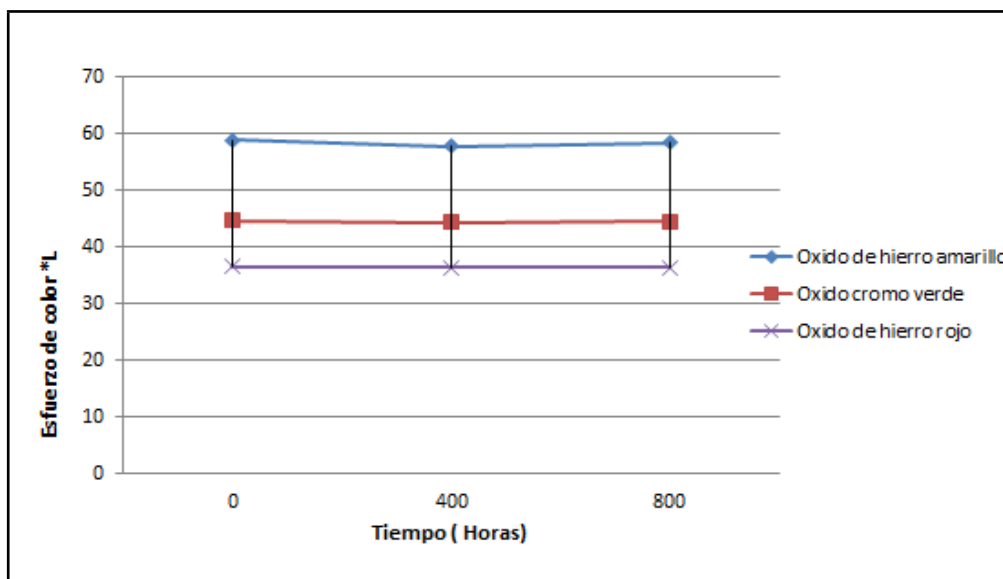
Mediante la tabla 70 se evidencian los resultados de la mezcla barniz y pigmento para los colores óxido de hierro amarillo, oxido cromo verde y óxido de hierro rojo, en donde en la gráfica 34 se observa el comportamiento que tiene cada pigmentos frente a los otros, en donde el concentrado pigmentarios que más representa luminosidad es el óxido cromo verde con 74,1° en el tiempo inicial y finalizando con 69,5° a las 800 horas, el segundo es el concentrado pigmentario óxido de hierro rojo y por ultimo óxido de hierro amarillo. Cabe aclarar que las pinturas barniz mantienen la tonalidad de los concentrados pigmentarios al tener base resina y no degrada su color.

**Tabla 71.** Esfuerzo de color \*L en láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.

Tiempo (horas)	Óxido de hierro amarillo	Oxido cromo verde	Óxido de hierro rojo
	Ensayo	Ensayo	Ensayo
<b>0</b>	58,76	44,5	36,47
<b>400</b>	57,65	44,29	36,23
<b>800</b>	58,3	44,46	36,33

Fuente: elaboración propia

**Gráfica 35.** Valores esfuerzo de color \*L láminas metálicas óxido de hierro amarillo, óxido cromo verde y óxido de hierro rojo para barniz y pigmento.



Fuente: elaboración propia

Mediante la tabla 71 se evidencian los resultados de la mezcla barniz y pigmento para los colores óxido de hierro amarillo, oxido cromo verde y óxido de hierro rojo, evaluando la variable esfuerzo de color \*L, en donde la gráfica 35 representa el comportamiento que tiene cada pigmento frente a los otros, se observa un comportamiento constante en cada uno de los pigmentos sin embargo el color óxido de hierro rojo representa aumento de color al pasar 800 horas, seguido del color óxido de hierro rojo y óxido de hierro amarillo.

Dando cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos en el proyecto se seleccionaron los mejores concentrados pigmentarios quienes demostraron condiciones óptimas para su uso (ver anexos 8,9,10 tablas resultados), teniendo en cuenta las variables respuesta esfuerzo de color y brillo; se evalúa su compatibilidad con cada uno de los sistemas de pinturas establecidos por la empresa Sika S.A.S en diferentes cámaras; en la tabla 72 se evidencia los ensayos escogidos por cada uno de los colores desarrollados (óxido de hierro amarillo, cromo verde y rojo) con cada uno de sus resultados obtenidos.

Tabla 72. Resultados concentrados pigmentarios óxido de hierro amarillo, cromo verde y rojo.

Óxido de hierro amarillo (AM-6)
---------------------------------

<b>% pigmento</b>	<b>% dispersante</b>	<b>Viscosidad (Uk)</b>	<b>Esfuerzo de color (*L)</b>
48	2	55,9	80,97
Óxido cromo verde (VE-2)			
<b>% pigmento</b>	<b>% dispersante</b>	<b>Viscosidad (Uk)</b>	<b>Esfuerzo de color (*L)</b>
65	2	59,6	72,95
Óxido de hierro rojo (RO-1)			
<b>% pigmento</b>	<b>% dispersante</b>	<b>Viscosidad (Uk)</b>	<b>Esfuerzo de color (*L)</b>
63	4	68,1	67,51

Fuente: elaboración propia

En la tabla 72 se evidencia el resultado del concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo, en donde el ensayo AM-6 obtuvo una viscosidad de 55,9 UK la cual representa un valor aceptable (valores otorgados del diseño de experimentos) entre los demás ensayos ya que, representa el valor más bajo entre las demás viscosidades ya que durante el proceso no tiene pérdida de vehículo en la mezcla, para el esfuerzo de color se obtuvo 80,97 \*L, el cual representa mayor desarrollo de color entre los demás ensayos sin perder luminosidad y fuerza en el color ubicado en el indicador  $-b^*$ , además de no presentar floculación, y sedimentación entre la mezcla permitiendo la aplicación en láminas con una textura aceptable para aplicación en exteriores; para la evaluación en cámaras ácida, Uv y salina se determinó la compatibilidad con cada uno de los sistemas epóxico, uretano, alquídico y acrílico. Para la cámara ácida se evidenció compatibilidad con el patrón tanto en el brillo (sin valores por debajo de  $10^\circ$  del patrón) como en el esfuerzo de color (sin valores por debajo de  $25^*L$  del patrón), además de representar un comportamiento similar al patrón; para la cámara UV las variable brillo represento además de compatibilidad entre los sistemas un mejor desempeño de  $7^\circ$  de brillo que el patrón, mientras que el esfuerzo de color \*L represento compatibilidad y similitud con el comportamiento de los sistemas; para la cámara salina el sistema KIV representa un valor de 79 evidenciando mejoras del 30% frente al patrón, para el sistema uretano tanto el ensayo como el patrón evidencian ampollas con un KIV menor a 60, para el sistema alquídico presentó un KIV mayor en el ensayo aumentando las propiedades de resistencia en un 30% frente al patrón, finalmente el sistema acrílico evidencia deterioro en las láminas del ensayo como del patrón, sin embargo el ensayo presenta un aumento de resistencia mínimo de 10% frente al patrón con respecto al tiempo.

Para el concentrado pigmentario óxido cromo verde el ensayo que representó mejores (valores otorgados por el diseño de experimentos) propiedades entre los ensayos fue el VE-2 en donde su viscosidad toma el valor de 59,6 UK y el

esfuerzo de color de 72,95 \*L, lo cual indica valores aceptables ya que, la viscosidad representa el valor uno de los valores más bajos frente a los demás ensayos, por otra parte el esfuerzo de color representa el valor más alto, resultado de que el concentrado pigmentario desarrollo un buen color, para la evaluación de la compatibilidad frente a cada uno de los sistemas expuestos por la empresa ( capítulo 3, numeral 3.2 ) para las cámaras tanto ácida como UV, representaron comportamientos similares al patrón lo que indica compatibilidad entre cada uno de los sistemas como se describe en los numerales 3.2.1 y 3.2.2 en donde el pigmento presenta mejor propiedad de brillo de 5° para el sistema epóxico y uretano, para la cámara UV además de su compatibilidad representa mejoras de la variable brillo de 5° para los sistemas epóxico y acrílico; mientras que para la cámara salina entre los sistemas epóxico, uretano y alquídico se observó mejoras en la resistencia de las láminas del 30% ya que el KIV presentó valores mayores a 60, mientras que el sistema acrílico descrito en el numeral 3.2.3, en donde se evidencia una mejora del 20% frente al patrón a pesar de que el KIV es menor a 30 lo que indica según datos teóricos expuestos en el capítulo 2 que se representan fallas en la capacidad de protección.

Para el concentrado pigmentario óxido de hierro rojo, el ensayo con mejores propiedades (valores otorgados por el diseño de experimentos) entre los ensayos fue el RO-1, en donde su viscosidad toma el valor de 68,1 UK representando el valor más bajo entre los demás ensayos, lo que indica un comportamiento óptimo para el concentrado pigmentario ya que en una pintura se busca su baja viscosidad para por su facilidad al momento de aplicar en exteriores, mientras el esfuerzo de color presentó un valor de 67,51 \*L, lo que indica mayor desarrollo del color frente a los demás ensayos, para la evaluación de la compatibilidad frente a cada uno de los sistemas de pintura establecidos por el empresa Sika S.A.S descrito en el capítulo 3, numeral 3.3, el concentrado pigmentario óxido de hierro rojo presentó compatibilidad frente a cada uno de los sistemas por su comportamiento constante en ausencia de sedimentación , aumentando la variable brillo en 3° (para cámara ácida en los sistemas epóxico y uretano) y 5° para cámara UV en un periodo de 400 horas para el sistema uretano, para la cámara salina se evidenció la compatibilidad en cada uno de los sistemas ya que la aplicación en las láminas no evidencia grumos ni floculación apta para la aplicación a exteriores, sin embargo los sistemas epóxico evidenciaron una mejora frente al fenómeno de la corrosión en un 30%, ya que su KIV presentó valores mayores a 60, para los sistemas uretano y alquídico presentaron un KIV de 37 y 58 respectivamente frente al patrón, lo que indica que las aplicaciones después de 72 horas presenta fallas en la protección de la lámina, para el sistema acrílico se evidencia un KIV menor a 60 en todos los ciclos, presentando el ensayo con mayor deterioro frente a la corrosión, mientras que el ensayo presenta una mejora del 15% a lo largo del tiempo.

### **3. CONCLUSIONES**

- Mediante el diagnóstico del estado actual de producción de pinturas manejadas por SIKKA S.A.S, se logró reducir los tiempos de molienda (10



minutos) haciendo más eficientes los concentrados pigmentarios de tipo inorgánico que los orgánicos utilizados actualmente por la empresa.

- Se estableció la relación entre concentración de pigmento y dispersante mediante el diseño de experimentos factorial  $3^2$  dando como resultado los mejores ensayos, los cuales son óxido de hierro amarillo AM-6 con 48% de pigmento y 1,4% de dispersante, óxido cromo verde VE-2 con 65% de pigmento y 0,9% de dispersante y óxido de hierro rojo RO-1 con 63% de pigmento y 2,5% de dispersante.
- Para el concentrado pigmentario óxido de hierro amarillo, se presenta buena homogenización durante el proceso de molienda debido a que el tamaño de partícula del pigmento no requiere de mayores tiempos de molienda para reducir su tamaño, por medio de la relación de pigmento 48% y dispersante 2% su viscosidad toma el valor más bajo entre los demás ensayos (55,9 UK); mientras que su esfuerzo de color tiende a ser constante debido a que tiene buen poder cubriente a lo largo del tiempo.
- El concentrado óxido de cromo verde, evidencia facilidad al ser mezclado ya que no presente aglomeraciones y con una manejabilidad apta para ser aplicada en exteriores ya que cumple con las propiedades de una pintura óptima (viscosidad baja de 59,6 UK y esfuerzo de color alto 80,97 \*L), al igual que el pigmento óxido de hierro amarillo se evidencia un comportamiento constante en la finura del pigmento tras los tiempo de molienda establecidos (20 minutos), el esfuerzo de color en este concentrado pigmentario tiende a permanecer constante en su tonalidad a lo largo del tiempo bajo temperaturas de (60°).
- En el caso del concentrado óxido de hierro rojo, al igual que los demás colores desarrollados presenta propiedades similares con facilidad para ser mezclado, manejabilidad apta para cualquier aplicación, fluidez en la mezcla y buen poder cubriente bajo temperaturas de 60° no tiende a perder su esfuerzo de color a lo largo del tiempo, bajo el diseño de experimentos se toma la viscosidad más baja entre los ensayos siendo el valor de 68,1 UK y esfuerzo de color con 67,51\*L representando el valor más alto entre los demás haciendo de esta una pintura apta para aplicaciones.
- Se evaluó la compatibilidad y desempeño de los concentrados pigmentarios con los cuatro sistemas de pintura establecidos por la empresa, en cada uno de las cámaras ácida, UV y salina, en donde se evidenció un comportamiento similar al patrón para los tres colores (brillo con diferencia no mayor a 10° y esfuerzo de color 25 \*L con respecto al patrón), sin embargo el concentrado óxido de hierro rojo evidenció aumento de brillo de 7° en los sistemas epóxico, uretano y acrílico en cámara ácida y UV, mientras que los

concentrados óxido de hierro Amarillo y cromo verde presentan mejoras de 5° en los sistemas uretano, epóxico y acrílico. Para la cámara salina cada uno de los colores presentaron mejores de 30% de protección a las aplicaciones ante el fenómeno de la corrosión.

- Por medio del diseño de experimentos se logró el desarrollo de tres concentrados pigmentarios (óxido de hierro amarillo, cromo verde y rojo) de tipo inorgánico, con un rango de variables aceptables para el desarrollo de pinturas que cumplen con las características propuestas por la empresa SIKA. S.A.S.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Como los aditivos tienen un efecto en la estabilidad, estos pueden aumentar la viscosidad, podría estudiarse la posibilidad de realizar un análisis en la formulación del desarrollo de concentrados pigmentarios para modificar esta

propiedad con el uso de aditivos y de esta forma no alterar las características de la mezcla.

- Realizar más ensayos con el pigmento óxido de hierro rojo, con concentraciones más altas de 71% de pigmento, ya que los valores de viscosidad para este pigmento varían mucho después de estabilidad.
- Para la producción de concentrados pigmentarios se recomienda realizar réplicas de los ensayos tomados como resultados AM-6, VE-2 y RO-1, para no generar incertidumbre en las relaciones de dispersante y pigmento; de esta manera tener un resultado más acertado.
- Analizar el costo de los concentrados pigmentarios de tipo inorgánico, teniendo en cuenta la naturaleza de estos pigmentos, así como costos energéticos ya que al reducir su tiempo de molienda el gasto será menor.

## **BIBLIOGRAFIA**

ALONSO FELIPE, José Vicente. PINTURAS, BARNICES y AFINES: Composición, formulación y caracterización. Universidad Politécnica de Madrid. 2013. [Consultado en abril 18 de 2018]

Analizadores de humedad halógenos HE73 de Mettler-Toledo [consultado el 20 marzo 2018] Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Analizadores-de-humedad-halogenos-HE73-para-resultados-rapidos+50000690>

[Anónimo]Revisión bibliográfica. En: Revista Española Pinturas Pigmentos Colorantes. vol. 32, p.26

Balanza OHAUS serie EC – Rapidez; Exactitud y portabilidad para operaciones de recuento [Consultado el 18 de abril de 2018].

Balanzas de laboratorio. Ohaus. Consultado [20 de marzo de 2018]. Disponible en: <https://us.ohaus.com/en-US/>

BYK. Finura de molienda. [Electronic(1)]. [Consultado el 18 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.byk.com/es/instrumentos/productos/download.php?doc=171>

CARLOS A. GIUDICE y ANDREA M. PEREYRA. Tecnología de pinturas y recubrimientos: componentes formulación. manufactura y calidad. Buenos Aires.2009. p.2

Catarina.udlap.mx. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA. [Consultado el 18 de abril de 2018]. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lpro/mondragon\\_n\\_vy/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/mondragon_n_vy/capitulo4.pdf)

Dispersing Process”. Incline.gr. [consultado el 20 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.incline.gr/inkjet/newtech/tech/dispersion/>

GIUDICE, Carlos; PEREYRA, Andrea. Tecnología de pinturas y recubrimientos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional- Argentina (2009). [Consultado el 18 de abril de 2018]

International organization for standardization. ISO 3231. Paints and varnishes determination of resistance to humid atmospheres containing sulfur dioxide. 1999.

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

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

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. 1 ed. Bogotá: El instituto 1998. 23p.

ifexport. Equipos de pintura. Devilbiss. [20 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.acabadoindustrial.com/2016/02/25/pistolas-de-pintar-devilbiss-2/>

JAVIER REYES Y FRANCISCO CORVO. Uso de una cámara de ensayos acelerados para el estudio de la degradación de. uso de una cámara de ensayos acelerados. 2011. P 2

JORDI CALVO CARBONELL. Pinturas y recubrimientos, introducción a su tecnología. Madrid.2009.p.11

JUAN SERNA. Tesis. Evaluación de la producción de las pastas pigmentarias para los diferentes sistemas de pinturas en la empresa Sika S.A.S.Bogota.2016

Konika Minolta. Entendiendo el espacio de color CIE L\* a\* b]\*.[consultado el 20 marzo 2018].Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Konika Minolta. Espectrofotómetro CM-600d. [Electronic (1)]. [Consultado el 21 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/products/cm-600d-spectrophotometer/>

LABEQUIM S. A. Viscosímetros Brookfield. [Electronic(1)]. [Consultado el 18 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.instrumentacion.com.mx/HTML/VISCOSIMETROS.htm>

LAVARDE LAVARDE.Victor Hugo. Diseño y fabricación de una cámara salina para análisis de corrosión en materiales. 2011.

Norma Técnica Colombiana. NTC 1151. Procedimiento para el ensayo en cámara Salina.1998.

Norma técnica colombiana en pinturas. NTC 3951.Productos afines a sistema de pinturas protectoras y variables de evaluación en campo. 1996.

Memmert Experts in Thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado. [Electronic(1)].[consultado el 20 marzo 2018]. <https://www.memmert.com/fileadmin/products/documents/categories/BR-Estufas-espagnol-D10027.pdf>

Memmert Experts in Thermostatics. Estufas de calentamiento y estufas de secado. [Electronic(1)].[ consultado el 20 marzo 2018].

METTLER TOLEDO. ¿Qué es un analizador de humedad y como se usa? [Consultado el 20 mayo del 2017] Disponible en: <https://www.mt.com/mx/es/home/library/FAQ/laboratory-weighing/what-is-a-moisture-analyzer.html>

Oximar Pigmentos- óxidos de hierro-Óxido de hierro amarillo [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

Oximar Pigmentos- óxidos de hierro-Óxido de hierro rojo [consultado el 15 de marzo del 2018]. Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

Oximar Pigmentos- óxidos de hierro-Óxido de hierro verde [consultado el 15 de marzo del 2018].Disponible en: <http://www.oximar.com/pigmentos/index.asp>

Prueba de ruta. Pinturas de uretano, metalicas o acrilicas. [Print(0)]. [Consultado el 18 de abril 2018]. Disponible en: <https://www.pruebaderuta.com/pinturas-de-uretano-metalicas-o-acrilicas-ventajas-y-desventajas.php>

Q-LAB. Cámara de envejecimiento acelerado QUV. [Electronic(1)].[consultado el 21 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>

Reporte industrial. Consultado [20 de marzo 2018]. Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/temas/Analizadores-de-humedad-halogenos-HE73-para-resultados-rapidos+50000690>

Rhopoint. Novo- Trio [Electronic(1)]. [Consultado el 20 de abril de 2018]. Disponible en: <https://www.rhopointinstruments.com.mx/product/brillometro-novo-gloss-trio/>

SÁNCHEZ SERENA, Emilio. Pintado y Secado Industrial. España Universidad Politécnica de Cataluña, 1991. p.19

Sika S.A.S. Manual interno de Sika S.A.S.

TEGO Dispers, Revista Aditivos Humectantes y Dispersantes. Germany. 1993

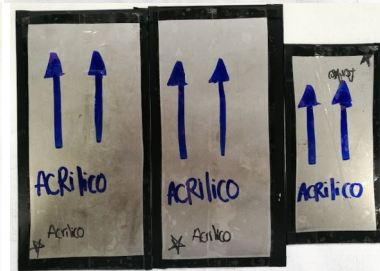
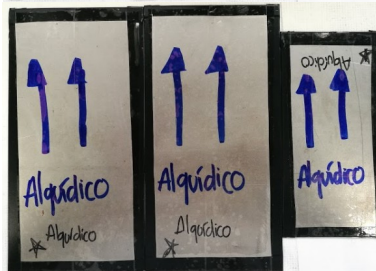
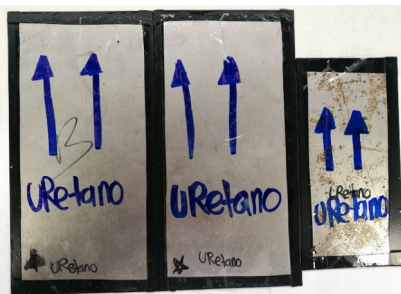
VANEGAS MONTES Loria, Villalba Bolanos Wendy Jazmín Mercedes. Identificación del rango de vida útil de recubrimientos orgánicos para control de la

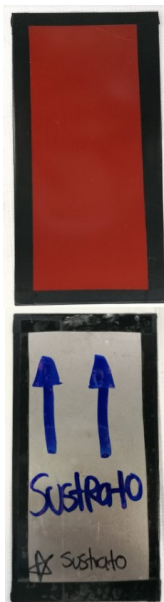
corrosión atmosférica en un ambiente industrial. Universidad Industrial De Santander. Escuela de ingeniería química. Santader. 1999.

## **ANEXOS**

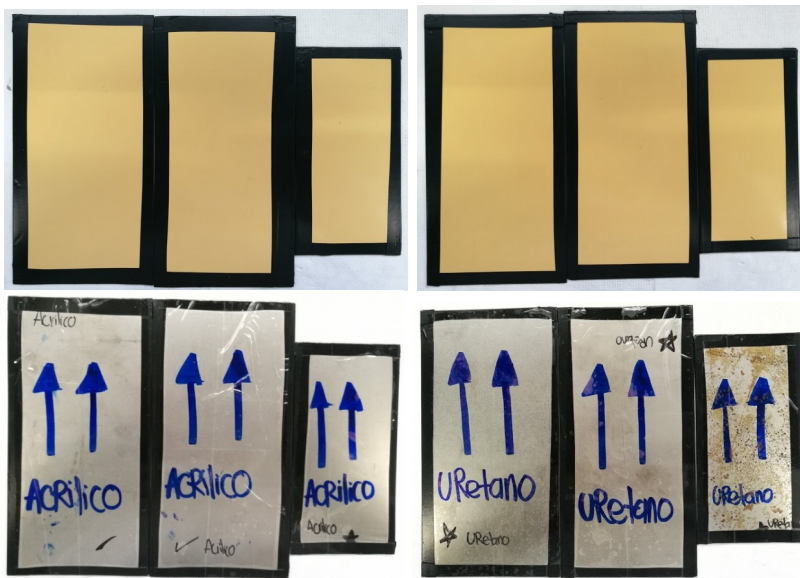
### **ANEXO A LAMINAS METALICAS POR CADA SISTEMA DE PINTURA (ÓXIDO DE HIERRO ROJO)**

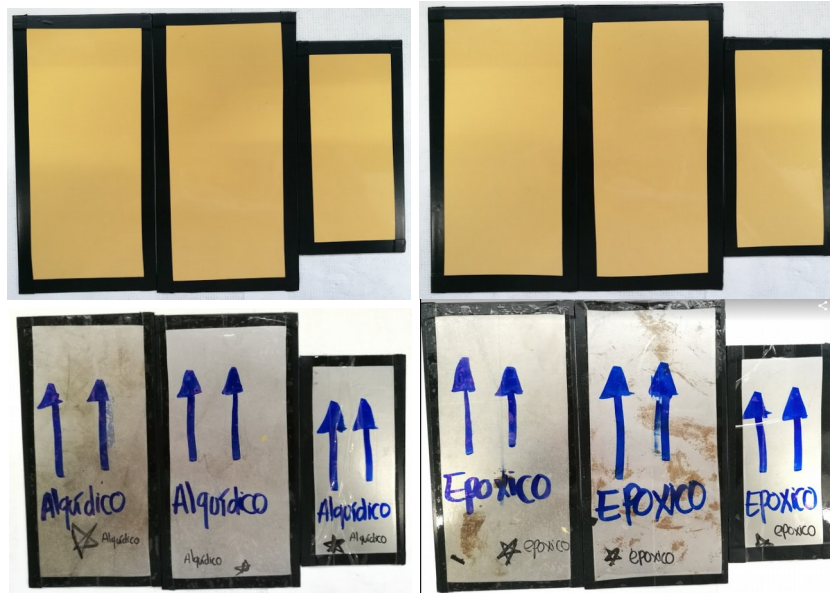




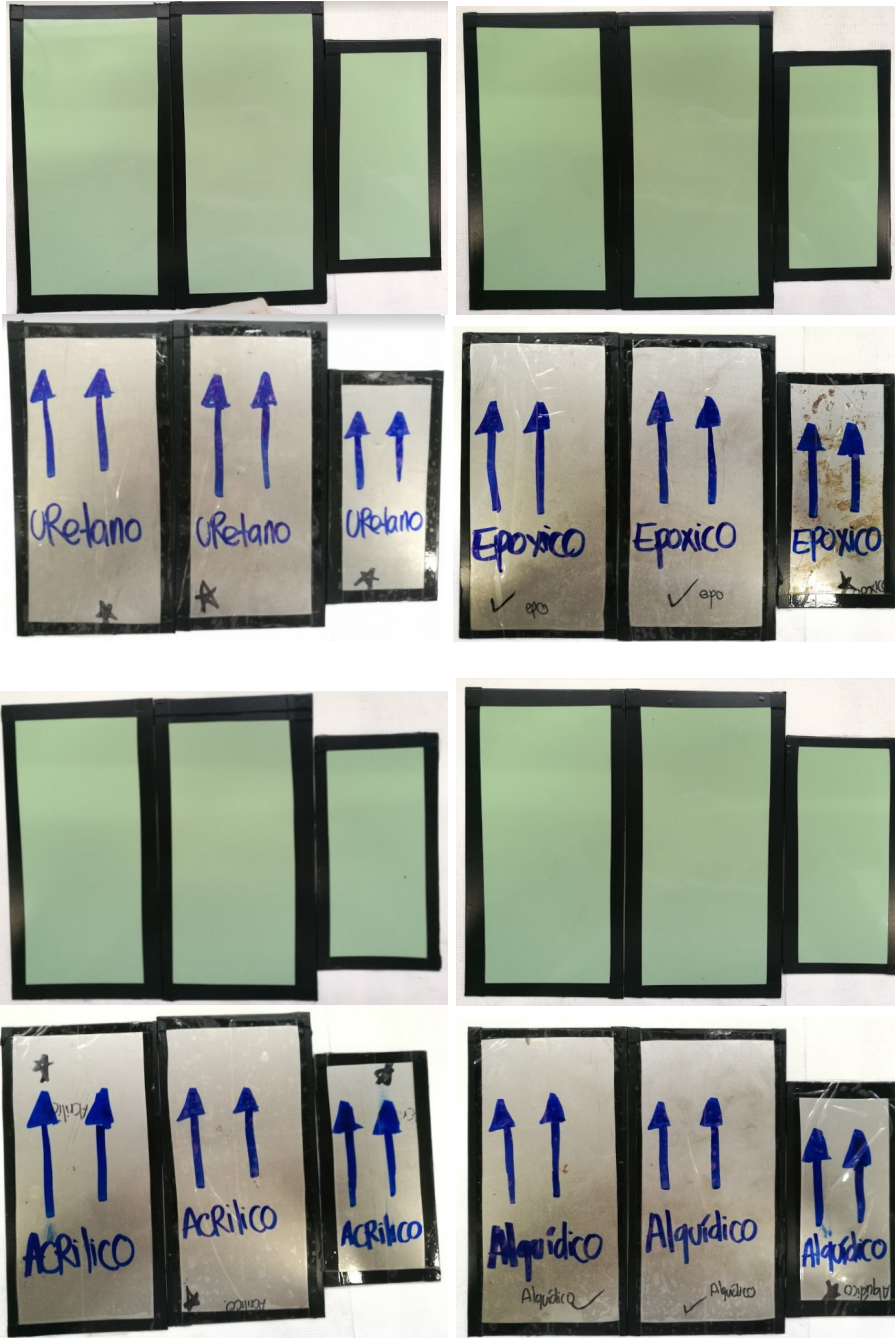


**ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO**



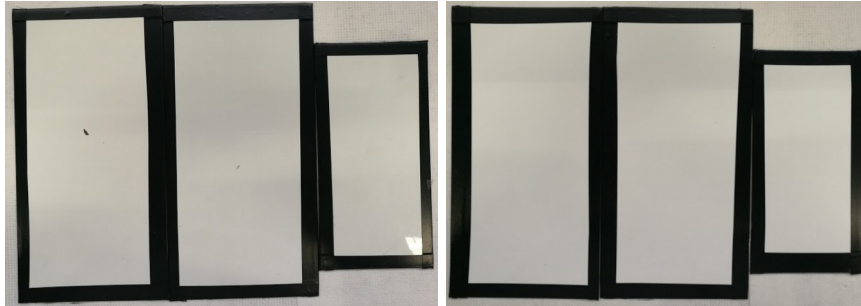


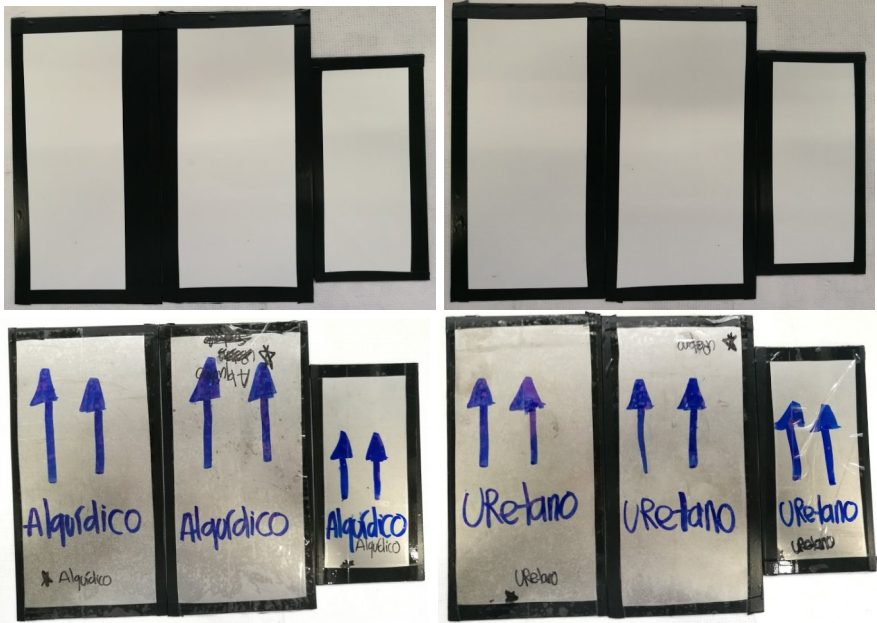
## ÓXIDO CROMO VERDE





PATRÓN





## ANEXO B FICHA TÉCNICA ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO



### ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO 313

NOMBRE DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS

Óxido de Hierro Amarillo. Subtono limpio.

Óxido de Hierro con un contenido de  $Fe_2O_3 \geq 86\%$ .

Contenido de $Fe_2O_3$ (%)	$\geq 86$
Absorción de aceite (ml/100 g)	25,0 – 35,0
Residuo en malla 45 $\mu$ m (%)	$\leq 0,30$
Sales solubles en agua (%)	$\leq 0,30$
Humedad (%)	$\leq 1,0$
pH	3,0-7,0
Densidad aparente ( $g/cm^3$ )	0,4-0,6
Forma de partícula	Acicular
$\Delta E$ comparada con estándar	$\leq 1,0$
Poder tintóreo	95 – 105

CARACTERÍSTICAS

El Óxido de Hierro Amarillo 313 se caracteriza por:

- Ser un grado de aplicación multipropósito.
- Su facilidad de dispersión.
- Excelente solidez a la luz y a los álcalis
- Su buena durabilidad.

APLICACIONES

El Óxido de Hierro Amarillo 313 se puede usar en:

- Pinturas base solvente en general, esmaltes arquitectónicos, etc.
- Pinturas Arquitectónicas acuosas para interiores y exteriores.
- Materiales para la construcción (morteros y concretos coloreados base cemento, bloques de cemento, pisos, etc.)
- Caucho
- Plástico

DOSIFICACIONES

El nivel de uso del Óxido de Hierro Amarillo 313 depende del sistema en que va a ser usado.

En materiales para la construcción base cemento la experiencia indica que la gama de saturación para este tipo de sistemas utilizando pigmentos de alta fuerza tintórea puede lograrse con dosificaciones de hasta un 5% (sobre el cemento) como máximo.

DOSIFICACIONES

En pinturas arquitectónicas e industriales el nivel de uso va en función del color

• Bogotá, D.C. Calle 17 # 96 A - 60 / Fontibón Tel: +57 (1) 404 4747  
 • Medellín: Carrera 50 FF #108 Sur - 61 / Sector Aguacatala Tel: +57 (4) 361 1800  
 • Cali: Carrera 6 #24 - 2B / San Nicolás. Tel: +57 (2) 380 9505



www.aquaterra.com.co

## ÓXIDO DE HIERRO AMARILLO 313

### INCORPORACIÓN

y costo de diseño de la formulación.

Para recomendaciones más específicas contacte al personal de Aquaterra.

El Óxido de Hierro Amarillo 313 se incorpora fácilmente mediante las técnicas y equipos comúnmente conocidos para dispersión; los procesos de incorporación pueden variar según el tipo de producto que se formule.

Para recomendaciones más específicas contacte a su asesor de Aquaterra.

### ALMACENAMIENTO

El Óxido de Hierro Amarillo 313 debe almacenarse en un lugar fresco y seco. Si se conserva en su empaque original y protegido de la humedad, su vida útil es indefinida.

### EMPAQUE

Sacos de papel con un contenido neto de 25 kg.



## ANEXO C FICHA TÉCNICA ÓXIDO DE HIERRO ROJO



### ÓXIDO DE HIERRO ROJO 130B

NOMBRE DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS

APLICACIONES

DOSIFICACIONES

Pigmento Inorgánico. Óxido de Hierro Rojo. Subtono rojo-azulado.

Óxido de Hierro con un contenido de  $Fe_2O_3 \geq 96 \%$ .

Contenido de $Fe_2O_3$ (%)	$\geq 96$
Absorción de aceite (ml/100 g)	15,0 – 25,0
Residuo en malla 325 (%)	$\leq 0,30$
Salas solubles en agua (%)	$\leq 0,30$
Humedad (%)	$\leq 1,0$
pH	3,0-7,0
Densidad aparente ( $g/cm^3$ )	0,7-1,1
Forma de partícula	Esférica
$\Delta E$ comparada con estándar	$\leq 1,0$
Poder tintóreo	95 – 105

El Óxido de Hierro Rojo 130B se caracteriza por:

- Ser un grado de aplicación multipropósito.
- Su facilidad de dispersión.
- Excelente solidez a la luz y a los álcalis.
- Su buena durabilidad.

El Óxido de Hierro Rojo 130B se puede usar en:

- Pinturas base solvente en general, esmaltes arquitectónicos, etc.
- Pinturas Arquitectónicas acuosas para interiores y exteriores.
- Materiales para la construcción (morteros y concretos coloreados base cemento, bloques de cemento, pisos, etc.)
- Caucho.
- Plástico.

El nivel de uso del Óxido de Hierro Rojo 130B depende del sistema en que va a ser usado.

En materiales para la construcción base cemento la experiencia indica que la gama de saturación para este tipo de sistemas utilizando pigmentos de alta fuerza tintórea puede lograrse con dosificaciones de hasta un 5% (sobre el cemento) como máximo.

• Bogotá, D.C. Calle 17 # 96 A - 60 / Fontibón Tel: +57 (1) 404 4747  
 • Medellín: Carrera 50 FF #10B Sur - 61 / Sector Aguacatala Tel: +57 (4) 361 1800  
 • Cali: Carrera 6 #24 - 28 / San Nicolás Tel: +57 (2) 380 9505



www.aquaterra.com.co

## ÓXIDO DE HIERRO ROJO 130B

### DOSIFICACIONES

En pinturas arquitectónicas e industriales el nivel de uso va en función del color y costo de diseño de la formulación.

Para recomendaciones más específicas contacte al personal de Aquaterra.

### INCORPORACIÓN

El Óxido de Hierro Rojo 130B se incorpora fácilmente mediante las técnicas y equipos comúnmente conocidos para dispersión; los procesos de incorporación pueden variar según el tipo de producto que se formule.

Para recomendaciones más específicas contacte a su asesor de Aquaterra.

### ALMACENAMIENTO

El Óxido de Hierro Rojo 130B debe almacenarse en un lugar fresco y seco. Si se conserva en su empaque original y protegido de la humedad, su vida útil es indefinida.

### EMPAQUE

Sacos de papel con un contenido neto de 25 kg.

## ANEXO D FICHA TÉCNICA ÓXIDO DE HIERRO CROMO VERDE



### ÓXIDO DE CROMO VERDE GX

NOMBRE DEL PRODUCTO

DESCRIPCIÓN

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ESPECIFICACIONES  
TÉCNICAS

Pigmento Inorgánico. Óxido de Cromo Verde. Subtono Verde-Azulado.

Óxido de Cromo con un contenido de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ≥ 99%.

Contenido de Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	≥ 99
Absorción de aceite (ml/100 g)	10,0 – 25,0
Residuo en malla 325 (%)	≤ 0,30
Sales solubles en agua (%)	≤ 0,30
Humedad (%)	≤ 0,3
pH	5,0-8,0
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,0 – 1,3
Forma de partícula	Esférica
ΔE comparada con estándar	≤ 1
Poder tintóreo	95 – 105

CARACTERÍSTICAS

El Óxido de Cromo Verde GX se caracteriza por:

- Alto poder cubriente
- Su facilidad de dispersión.
- Excelente solidez a la luz y a los álcalis
- Su buena durabilidad.
- Alta resistencia a la temperatura

APLICACIONES

El Óxido de Cromo Verde GX se puede usar en:

- Pinturas base solvente en general, esmaltes arquitectónicos, etc.
- Materiales para la construcción (morteros y concretos coloreados base cemento, bloques de cemento, pisos, etc.)
- Refractarios
- Pastas para frenos
- Abrasivos

DOSIFICACIONES

El nivel de uso del Óxido de Cromo Verde GX depende del sistema en que va a ser usado.

En materiales para la construcción base cemento la experiencia indica que la gama de saturación para este tipo de sistemas utilizando pigmentos de alta fuerza tintórea puede lograrse con dosificaciones de hasta un 5% (sobre el cemento) como máximo.

• Bogotá, D.C. Calle 17 # 96 A - 60 / Fontibón Tel: +57 (1) 404-4747  
• Medellín: Carrera 50 FF #108 Sur - 61 / Sector Aguacatalá Tel: +57 (4) 361 1800

• Cali: Carrera 6 #24 - 28 / San Nicolás. Tel: +57 (2) 390 9505



www.aquaterra.com.co

## ÓXIDO DE CROMO VERDE GX

### DOSIFICACIONES

En pinturas y otras aplicaciones el nivel de uso va en función del color y costo de diseño de la formulación.

Para recomendaciones más específicas contacte al personal de Aquaterra.

### INCORPORACIÓN

El Óxido de Cromo Verde GX se incorpora fácilmente mediante las técnicas y equipos comúnmente conocidos para dispersión; los procesos de incorporación pueden variar según el tipo de producto que se formule.

Para recomendaciones más específicas contacte a su asesor de Aquaterra.

### ALMACENAMIENTO

El Óxido de Cromo Verde GX debe almacenarse en un lugar fresco y seco. Si se conserva en su empaque original y protegido de la humedad, su vida útil es indefinida.

### EMPAQUE

Sacos de papel con un contenido neto de 25 kg.

**ANEXO E**  
**TABLA RESULTADOS**

**COMPATIBILIDAD DE LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS EVALUANDO DESEMPEÑO DE BRILLO Y ESFUERZO DE COLOR PARA CADA SISTEMA EN CÁMARA ÁCIDA**

Según norma interna de SIKA S.A.S para determinar la compatibilidad de los concentrados pigmentarios en cada sistema, se toma como base los resultados de brillo (los valores no deben estar 10° por debajo del patrón y las graficas correspondientes deben tener un comportamiento similar al patrón) y esfuerzo de color (los valores no deben estar 25\*L por debajo del patrón y las graficas correspondientes deben tener un comportamiento similar al patrón).

BRILLO						
Sistemas	Horas	Óxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
EPÓXICO	0	84,2	85	89,6	85,4	CT, MR
	400	84,8	85,7	89,9	86,9	CT, MR
	800	82,8	77,1	89,1	85,8	CT, MR
URETANO	0	82,6	75,1	81,3	84,6	CT
	400	75,9	73,9	82,9	76,6	CT, MR
	800	74,7	64,6	83,5	77,6	CT, MR
ALQUÍDICO	0	22,4	21,8	20,5	23,5	CT
	400	23,9	22,4	21,2	24,2	CT
	800	24,7	24,7	22,4	25,9	CT
ACRÍLICO	0	7,4	5,2	4,1	8,9	CT
	400	7,5	5,4	4,8	8,1	CT
	800	4,8	4,5	4	6,8	CT

ESFUERZO DE COLOR						
Sistemas	Horas	Óxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
EPÓXICO	0	79,03	71,28	58,59	94,99	CT
	400	79,15	71,24	58,88	94,37	CT
	800	79,41	71,1	58,77	94,07	CT
URETANO	0	79,29	71,68	57,57	96,07	CT
	400	79,21	71,83	57,54	95,81	CT
	800	79,3	72,05	57,84	95,84	CT
ALQUÍDICO	0	78,18	69,87	56,06	96,61	CT
	400	77,01	69,18	56,04	95,1	CT
	800	77,05	69,14	56,03	94,81	CT
ACRÍLICO	0	79,58	71,06	56,69	97,64	CT
	400	81,26	73,64	58,25	97,5	CT
	800	79,16	71,89	58,84	97,14	CT

**TABLA RESULTADOS  
COMPATIBILIDAD DE LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS EVALUANDO  
DESEMPEÑO DE BRILLO Y ESFUERZO DE COLOR PARA CADA SISTEMA  
EN CÁMARA UV**

BRILLO						
Sistemas	Horas	Oxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
EPÓXICO	0	85,7	88,5	89	84,6	CT,MA,MV,MR
	24	82,1	86,4	86,4	81,2	CT,MA,MV,MR
	48	89,5	74,4	80,8	75,7	CT,MA,MR
	72	89,8	57,9	80,9	70,1	CT,MA,MR
	100	90,2	57,9	90,9	69,8	CT,MA,MR
ALQUÍDICO	0	81	78,9	78,9	82,5	CT
	24	81,9	76,4	80,7	83,6	CT
	48	85	79,6	79,8	84,7	CT,MA
	72	87,5	80,4	79,9	85,1	CT,MA
	100	90,3	81,2	89,5	83,2	CT,MA
ACRÍLICO	0	63,8	61,5	79,5	61,8	CT,MA,MR
	24	63,1	68,6	78,6	62,3	CT,MA,MV,MR
	48	63,4	70,1	78,1	60,3	CT,MA,MV,MR
	72	64,5	63,6	77,2	57,7	CT,MA,MV,MR
	100	64,4	64	78,7	57	CT,MA,MV,MR

BRILLO						
Sistemas	Horas	Oxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
URETANO	0	85,4	84,4	79,9	85,2	CT,MA
	400	86,9	83,8	82,8	84,8	CT,MA
	800	87,8	82,1	88,1	82,8	CT,MA,MR

ESFUERZO DE COLOR						
Sistemas	Horas	Oxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
EPÓXICO	0	78,85	71,19	58,57	94,22	CT
	24	78,22	70,76	58,49	92,64	CT
	48	78,55	70,54	58,43	91,72	CT
	72	78,04	70,34	58,57	91,11	CT
	100	77,9	70,39	58,47	91,09	CT
ALQUÍDICO	0	78,12	69,81	55,72	96,18	CT
	24	77,56	69,55	55,93	96,05	CT
	48	77,3	69,49	54,76	95,92	CT
	72	77,45	69,44	55,79	95,84	CT
	100	77,25	69,28	56,01	95,66	CT
ACRÍLICO	0	79,52	71,08	56,81	97,85	CT
	24	79,35	71,15	56,79	97,85	CT
	48	79,43	71,15	56,76	97,71	CT
	72	79,25	71,14	56,51	97,74	CT
	100	79,02	71,07	56,41	97,54	CT

ESFUERZO DE COLOR						
Sistemas	Horas	Oxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
URETANO	0	79,13	79,13	79,13	96,15	CT
	400	78,46	78,46	78,46	95,86	CT
	800	78,59	78,59	88,59	95,52	CT

**TABLA RESULTADOS  
COMPATIBILIDAD DE LOS CONCENTRADOS PIGMENTARIOS EVALUANDO  
ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL (KIV) PARA CADA SISTEMA EN  
CÁMARA SALINA.**

ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL (KIV)						
Sistemas	Horas	Óxido de hierro amarillo	Óxido cromo verde	Óxido de hierro rojo	Patrón	Compatibilidad y mejora
EPÓXICO	24	100	86	86	86	CT,MA
	48	86	86	79	79	CT,MA,MV
	72	86	79	79	51	CT,MA,MV,MR
	100	79	79	79	30	CT,MA,MV,MR
URETANO	24	86	100	86	86	CT,MV
	48	79	86	79	79	CT,MV
	72	79	79	79	79	CT
	100	51	79	37	51	CT
ALQUÍDICO	24	100	100	79	86	CT,MA,MV
	48	86	86	79	79	CT,MA,MV
	72	86	79	58	79	CT
	100	79	79	58	51	CT,MA,MV,MR
ACRÍLICO	24	51	58	58	37	CT,MA,MV,MR
	48	51	58	37	30	CT,MA,MV,MR
	72	30	37	30	30	CT,CV
	100	30	37	30	30	CT,CV