

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUIMICA

**"ESTUDIO DEL EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y  
CONCENTRACIÓN DE COLORANTES EN TRICOMÍAS, UTILIZANDO COLORANTES  
DISPERSOS DE ALTA ENERGÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO EN  
TELAS 100% POLIESTER"**

TESIS DE GRADO

**AMANDA JOSÉ RÍOS Y RÍOS**  
CARNET 11411-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA

**"ESTUDIO DEL EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y  
CONCENTRACIÓN DE COLORANTES EN TRICOMÍAS, UTILIZANDO COLORANTES  
DISPERSOS DE ALTA ENERGÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO EN  
TELAS 100% POLIESTER"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA

POR  
**AMANDA JOSÉ RÍOS Y RÍOS**

PREVIO A CONFERÍRSELE  
EL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

**NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
ING. JUAN CARLOS GARCÍA CERÓN

**TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**  
MGTR. JOSÉ MANUEL CASTAÑEDA ORELLANA  
MGTR. RYAN RENE RAMIREZ RODAS  
LIC. LUIS ALBERTO AGUILAR PRADO

## CARTA DE APROBACIÓN DE ASESOR

Guatemala, 19 de junio de 2017

Magister  
Marya Alejandra Ortiz Patzán  
Secretaria de Facultad  
Facultad de Ingeniería

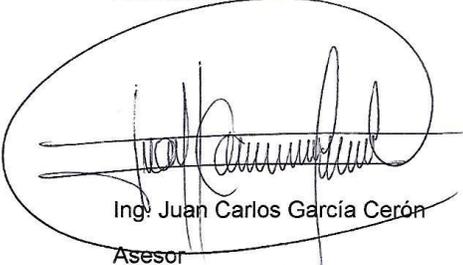
Estimada Magister Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y desearle éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO DEL EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y CONCENTRACIÓN DE COLORANTES EN TRICROMÍAS, UTILIZANDO COLORANTES DISPERSOS DE ALTA ENERGÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO EN TELAS 100% POLIESTER”** de la estudiante **Amanda José Ríos y Ríos** quien se identifica con el número de carné **1141112**, de la carrera de Ingeniería Química. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente.



Ing: Juan Carlos García Cerón  
Asesor

# CARTA DE AUTORIZACIÓN DE GRABACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN



FACULTAD DE INGENIERÍA  
No. 0269-2017

## Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante AMANDA JOSÉ RÍOS Y RÍOS, Carnet 11411-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02464-2017 de fecha 20 de julio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**"ESTUDIO DEL EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y CONCENTRACIÓN DE COLORANTES EN TRICOMÍAS, UTILIZANDO COLORANTES DISPERSOS DE ALTA ENERGÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO EN TELAS 100% POLIESTER"**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA QUÍMICA en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 22 días del mes de agosto del año 2017.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA  
INGENIERÍA  
Universidad Rafael Landívar

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS

Por darme la sabiduría y las fuerzas para poder lograr cada una de mis metas a lo largo de mi vida

A MIS PADRES

Por creer en mí y alentarme a luchar por lo que quiero.

A MIS HERMANOS

Por ser el ejemplo a seguir que ilumina mi camino y el apoyo en momentos de dificultad.

A MI FAMILIA

Por todo su amor incondicional.

A MIS AMIGOS

Por estar siempre presentes y crear lindos momentos que llevo siempre en el corazón

## **DEDICATORIA**

- A DIOS                      Por su infinita misericordia que me permitió llegar hasta el final de mi carrera. Por su amor incondicional que nunca nos falla.
- A MI MAMA                Por dedicar su tiempo y amor en mi crianza y educación.
- A MI HERMANA            Por su cariño y enseñanzas a través del ejemplo.

## RESUMEN EJECUTIVO

### ESTUDIO DEL EFECTO EN LA MODIFICACIÓN DE TEMPERATURA, TIEMPO Y CONCENTRACIÓN DE COLORANTES EN TRICROMÍAS, UTILIZANDO COLORANTES DISPERSOS DE ALTA ENERGÍA, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO EN TELAS 100% POLIÉSTER”

Amanda José Ríos y Ríos

Ingeniería Química

En el presente trabajo de investigación se estudiaron los factores de temperatura, tiempo y concentración de colorantes dispersos, en tricromías, para determinar el efecto que estos tienen sobre el teñido de telas 100% poliéster. El estudio se realizó sobre seis formulaciones diferentes utilizando colorantes dispersos de alta energía, de colores primarios, variando tres concentraciones distintas. A partir de los resultados obtenidos, para cada una de las formulaciones establecidas, se diseñó un procedimiento alternativo, el cual disminuye el tiempo de tinción en 45 minutos. Se realizaron pruebas comparando el procedimiento alternativo diseñado y el procedimiento actual que es utilizado por la empresa de estudio, de los resultados se pudo inferir que el nuevo procedimiento presenta resultados satisfactorios y que el uso de este dentro de la empresa aumenta la capacidad de producción de la misma.

**Descriptores:** teñido, colorantes dispersos, poliéster, tricromías, temperatura, tiempo, concentración.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Lo escrito sobre el tema</b> .....	2
<b>1.2 Resumen crítico del marco teórico</b> .....	4
1.2.1 Radiación electromagnética.....	4
1.2.2 Espectro de luz visible .....	4
1.2.3 Color .....	5
1.2.4 Poliéster .....	5
1.2.5 Colorantes y pigmentos .....	6
1.2.6 Cromóforo.....	7
1.2.7 Auxocromo.....	8
1.2.8 Colorantes dispersos .....	9
1.2.9 Colour Index.....	10
1.2.10 Teñido.....	12
1.2.11 Teoría del teñido de poliéster por agotamiento .....	13
1.2.12 Tricromía .....	18
1.2.13 Espectrofotómetros.....	19
1.2.14 Colorimetría .....	19
1.2.15 Colorímetro.....	20
1.2.16 Iluminantes .....	22
1.2.17 Metamerismo.....	24
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	25
<b>2.1 Objetivos</b> .....	26
2.1.1 Objetivo general.....	26
2.1.2 Objetivos específicos .....	26
<b>2.2 Variables</b> .....	27

2.2.1	Definición conceptual.....	27
2.2.2	Definición operacional.....	28
<b>2.3</b>	<b>Alcances y Límites .....</b>	<b>29</b>
2.3.1	Alcances .....	29
2.3.2	Límites .....	30
<b>2.4</b>	<b>Aporte.....</b>	<b>31</b>
<b>III.</b>	<b>MÉTODO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Sujetos y unidades de análisis.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Instrumentos e insumos .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimiento .....</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>Diseño y metodología estadística.....</b>	<b>45</b>
3.4.1	Diseño experimental .....	45
3.4.2	Descripción de las unidades experimentales.....	46
3.4.3	Variables respuesta .....	47
3.4.4	Metodología de análisis .....	48
<b>IV.</b>	<b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>81</b>
<b>IX.</b>	<b>GLOSARIO Y ABREVIATURAS.....</b>	<b>85</b>
<b>X.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>86</b>
10.1	<b>Costo de oportunidad al utilizar el procedimiento diseñado en el teñido de telas 100% poliéster, de punto cerrado, con un peso de 160g/m<sup>2</sup>.....</b>	<b>86</b>
10.2	<b>Tasa calentamiento experimental para cada formulación.....</b>	<b>88</b>

<b>10.3</b>	<b>Lecturas con el colorímetro para cada formulación .....</b>	<b>100</b>
<b>10.4</b>	<b>Imágenes de muestras obtenidas en la fase experimental .....</b>	<b>109</b>
<b>10.5</b>	<b>Escala de calentamiento para proceso actual y el diseñado .....</b>	<b>133</b>
<b>10.6</b>	<b>Ficha técnica del dispersante Farmasperse .....</b>	<b>134</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico No. 1 $\Delta a^*$ para color amarillo 1 .....	52
Gráfico No. 2 $\Delta b^*$ para color amarillo 1 .....	52
Gráfico No. 3 $\Delta a^*$ para color amarillo 2 .....	53
Gráfico No. 4 $\Delta b^*$ para color amarillo 2 .....	53
Gráfico No. 5 $\Delta a^*$ para color rojo 1 .....	54
Gráfico No. 6 $\Delta b^*$ para color rojo 1 .....	54
Gráfico No. 7 $\Delta a^*$ para color rojo 2 .....	55
Gráfico No. 8 $\Delta b^*$ para color rojo 2 .....	55
Gráfico No. 9 $\Delta a^*$ para color azul 1 .....	56
Gráfico No. 10 $\Delta b^*$ para color azul 1 .....	56
Gráfico No. 11 $\Delta a^*$ para color azul 2 .....	57
Gráfico No. 12 $\Delta b^*$ para color azul 2 .....	57
Gráfico No. 13 Escala de calentamiento para el proceso actual .....	133
Gráfico No. 14 Escala de calentamiento para el proceso diseñado .....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Propiedades de solidez del colorante disperso Yellow 114 en telas según el método ISO .....	11
Tabla No. 2 Propiedades de solidez del colorante disperso Red 92 en telas según el método ISO .....	11
Tabla No. 3 Propiedades de solidez del colorante disperso Blue 79:1 en telas según el método ISO .....	12
Tabla No. 4 Equipo utilizado.....	34
Tabla No. 5 Cristalería y utensilios utilizados .....	35
Tabla No. 6 Insumos utilizados en el proceso de tinción de muestras .....	36
Tabla No. 7 Cantidades de colorante y agua para soluciones a una relación 1:10, 1:100 y 1:1000.....	39
Tabla No. 8 Condiciones de trabajo a establecer en la máquina en cada corrida .....	41
Tabla No. 9 Tiempo de aumento de temperatura según corrida. ....	43
Tabla No. 10 Descripción de experimentos y variables respuesta de los mismos .....	47
Tabla No. 11 Metodología de análisis para cada uno de los experimentos en el estudio .....	50
Tabla No. 12 Tabla resumen de moda, media y desviación estándar para escalas de calentamiento experimentales .....	51
Tabla No. 13 Procedimiento diseñado para el aumento de temperatura de baño a partir de los resultados del experimento 1 .....	58
Tabla No. 14 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	58
Tabla No. 15 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	59
Tabla No. 16 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	59
Tabla No. 17 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	60
Tabla No. 18 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	60

Tabla No. 19 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	61
Tabla No. 20 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	61
Tabla No. 21 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	62
Tabla No. 22 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	62
Tabla No. 23 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	63
Tabla No. 24 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.....	63
Tabla No. 25 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala. ....	64
Tabla No. 26 Tiempo de subprocesos y proceso total de teñido de tela 100% poliéster utilizando procedimiento actual y escala. ....	86
Tabla No. 27 Lotes producidos utilizando procedimiento actual, diseñado y su diferencia .....	87
Tabla No. 28 Yards extras producidas anualmente utilizando procedimiento diseñado y el monto promedio de ventas que estas representarían.....	87
Tabla No. 29 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 1°C/min .....	88
Tabla No. 30 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 2°C/min .....	88
Tabla No. 31 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 4°C/min .....	89
Tabla No. 32 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 1°C/min .....	90
Tabla No. 33 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 2°C/min .....	90
Tabla No. 34 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 4°C/min .....	91
Tabla No. 35 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 1°C/min.....	92
Tabla No. 36 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 2°C/min.....	92
Tabla No. 37 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 4°C/min.....	93
Tabla No. 38 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 1°C/min.....	94
Tabla No. 39 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 2°C/min.....	94

Tabla No. 40 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 4°C/min.....	95
Tabla No. 41 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 1°C/min .....	96
Tabla No. 42 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 2°C/min .....	96
Tabla No. 43 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 4°C/min .....	97
Tabla No. 44 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 1°C/min .....	98
Tabla No. 45 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 2°C/min .....	98
Tabla No. 46 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 4°C/min .....	99
Tabla No. 47 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 1°C/min.....	100
Tabla No. 48 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 2°C/min.....	100
Tabla No. 49 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 4°C/min.....	101
Tabla No. 50 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 1°C/min.....	101
Tabla No. 51 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 2°C/min.....	102
Tabla No. 52 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 4°C/min.....	102
Tabla No. 53 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 1°C/min .....	103
Tabla No. 54 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 2°C/min .....	103
Tabla No. 55 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 4°C/min .....	104
Tabla No. 56 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 1°C/min .....	104
Tabla No. 57 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 2°C/min .....	105
Tabla No. 58 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 4°C/min .....	105
Tabla No. 59 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 1°C/min.....	106
Tabla No. 60 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 2°C/min.....	106
Tabla No. 61 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 4°C/min.....	107
Tabla No. 62 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 1°C/min.....	107
Tabla No. 63 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 2°C/min.....	108
Tabla No. 64 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 4°C/min.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Longitudes de onda de radiación electromagnética y las distintas regiones del espectro.....	4
Figura No. 2 Estructura molecular del monómero de tereftalato de polietileno (PET) ....	6
Figura No. 3 Estructura molecular del colorante disperso Yellow 114.....	10
Figura No. 4 Estructura molecular del colorante disperso Red 92.....	11
Figura No. 5 Estructura molecular del colorante disperso Blue 79:1 .....	12
Figura No. 6 Etapas en el proceso de tinción del poliéster.....	13
Figura No. 7: Solución de los colorantes dispersos y comportamiento de la solución en función de diferentes factores.....	14
Figura No. 8 Reacción de reducción de la antraquinona por medio del ditionito de sodio en medio básico .....	18
Figura No. 9 Reacción de reducción del enlace azo a aminas por medio del ditionito de sodio en medio básico.....	18
Figura No. 10 Circulo cromático de los colores primarios .....	19
Figura No. 11 Coordenadas del sistema $L^* c^* H^*$ .....	22
Figura No. 12 Especificaciones de radiación para el iluminante D65 en cada longitud de onda visible.....	23
Figura No. 13 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura para $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde $30^{\circ}\text{C}$ hasta $130^{\circ}\text{C}$ y una última muestra manteniendo la temperatura de $130^{\circ}\text{C}$ por 45 minutos para el color amarillo 1.....	109
Figura No. 14 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde $30^{\circ}\text{C}$ hasta $130^{\circ}\text{C}$ y una última muestra manteniendo la temperatura de $130^{\circ}\text{C}$ por 45 minutos para el color amarillo 1 .....	110
Figura No. 15 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde $30^{\circ}\text{C}$ hasta $130^{\circ}\text{C}$ y una última muestra manteniendo la temperatura de $130^{\circ}\text{C}$ por 45 minutos para el color amarillo 1 .....	111
Figura No. 16 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ desde $30^{\circ}\text{C}$ hasta $130^{\circ}\text{C}$ y una última muestra manteniendo la temperatura de $130^{\circ}\text{C}$ por 45 minutos para el color amarillo 2.....	112

Figura No. 17 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 2..... 113

Figura No. 18 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 2..... 114

Figura No. 19 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1 ..... 115

Figura No. 20 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1 ..... 116

Figura No. 21 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1 ..... 117

Figura No. 22 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2 ..... 118

Figura No. 23 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2 ..... 119

Figura No. 24 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2 ..... 120

Figura No. 25 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1..... 121

Figura No. 26 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1..... 122

Figura No. 27 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1.....	123
Figura No. 28 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2.....	124
Figura No. 29 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2.....	125
Figura No. 30 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2.....	126
Figura No. 31 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color amarillo 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	127
Figura No. 32 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color amarillo 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	127
Figura No. 33 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color rojo 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	128
Figura No. 34 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color rojo 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	128
Figura No. 35 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color azul 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	129
Figura No. 36 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color azul 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha) .....	129

## I. INTRODUCCIÓN

Las fibras textiles han sido bienes de comercio desde la antigüedad. Estas se pueden encontrar en diferentes tipos de fibras, hilados y una gran variedad de colores. Después de la primera guerra mundial aparecieron las fibras hidrófugas entre las cuales se encuentra el poliéster. A través de los años esta fibra ha ganado mucha popularidad debido a sus propiedades diversas y la diferente tecnología desarrollada. Guatemala, como país de gran importancia en el comercio de textiles, no es la excepción en el uso de esta fibra en la confección.

Entre los métodos de teñido de poliéster se encuentra el teñido por agotamiento en el cual se utilizan colorantes dispersos. A pesar de ser un método bastante utilizado, la información sobre este proceso y el comportamiento de los colorantes es limitada. En la presente investigación se realizó un estudio del comportamiento de los colorantes dispersos al cambiar distintas propiedades como la temperatura, el tiempo de residencia de la tela en el baño y la concentración de los colorantes en tricromías dentro del baño. En la investigación se estudiaron seis diferentes formulaciones donde se combinan colorantes dispersos de alta energía de colores primarios a diferentes concentraciones. A cada formulación se le modificaron factores de tiempo y temperatura a través del proceso, con lo cual se determinó su comportamiento. Mediante el estudio realizado se diseñó un proceso alternativo que permite llevar a cabo el proceso de teñido en menos tiempo que el usado actualmente por la empresa de estudio sin afectar los resultados finales en la tela, mejorando el tiempo de producción por cada lote de teñido.

## **1.1 Lo escrito sobre el tema**

Arriaga (2005). En este trabajo de graduación se tuvo como objetivo la determinación de tricromías de color para teñir telas 100% poliéster basándose en las curvas de agotamiento de colorantes dispersos. En esta investigación se utilizó el método por agotamiento para teñir telas 100% poliéster, realizando de esta forma curvas de agotamiento para diferentes colorantes y clasificándolos entre colorantes de alta, media y baja energía. Mediante las curvas realizadas se logró definir tricromías que presentaban una menor diferencia total de energía con respecto al estándar, demostrando una mejor igualación del color. A partir de los resultados obtenidos se recomendó analizar las diferencias que pueden presentar las curvas de agotamiento utilizando diferentes tipos y concentraciones de colorantes dispersos.

Velarde (2013). El estudio buscó implementar mejoras en el proceso de teñido con colorantes dispersos para reducir el tiempo de teñido del hilo de poliéster y aumentar la eficiencia de las máquinas. Las mejoras presentadas fueron el control en la recepción de la materia prima, la carga correcta del material en la maquinaria de teñido, mantenimiento de la maquinaria, preparación del personal y mejoramiento del proceso de teñido al disminuir el tiempo de proceso. Para minimizar el tiempo de teñido se estudió el tiempo mínimo de contacto del hilo con el baño para lograr un color uniforme y buena repetividad. En el estudio se utilizaron tricromías y se evaluó la variación del color respecto al procedimiento ya establecido y el propuesto. Al realizar los cambios propuestos se concluyó que era posible mejorar el proceso de teñido de hilo mediante diferentes controles del proceso y la disminución en el tiempo de teñido en base a la formulación de tricromías propuestas. Entre las recomendaciones propuestas se encuentran el control adecuando del pH, la temperatura de teñido y la selección de colorantes con el mismo poder de subida.

Haffar (2009). En este artículo el autor expone diferentes características del poliéster tanto en forma de hilo como tejido, también se describen tratamientos especiales o fallas que se pueden dar en las telas de poliéster que puedan ocasionar algún fallo en el proceso de teñido. Se presentan además diferentes características de los colorantes dispersos y describe las diferentes fases que toman lugar en el proceso de teñido. En este artículo el autor también se remarca que existe una gran variedad de métodos para realizar la tintura en las fibras de poliéster en general, y sugiere un proceso, para llevar a cabo el teñido de poliéster utilizando colorantes dispersos de aplicación normal.

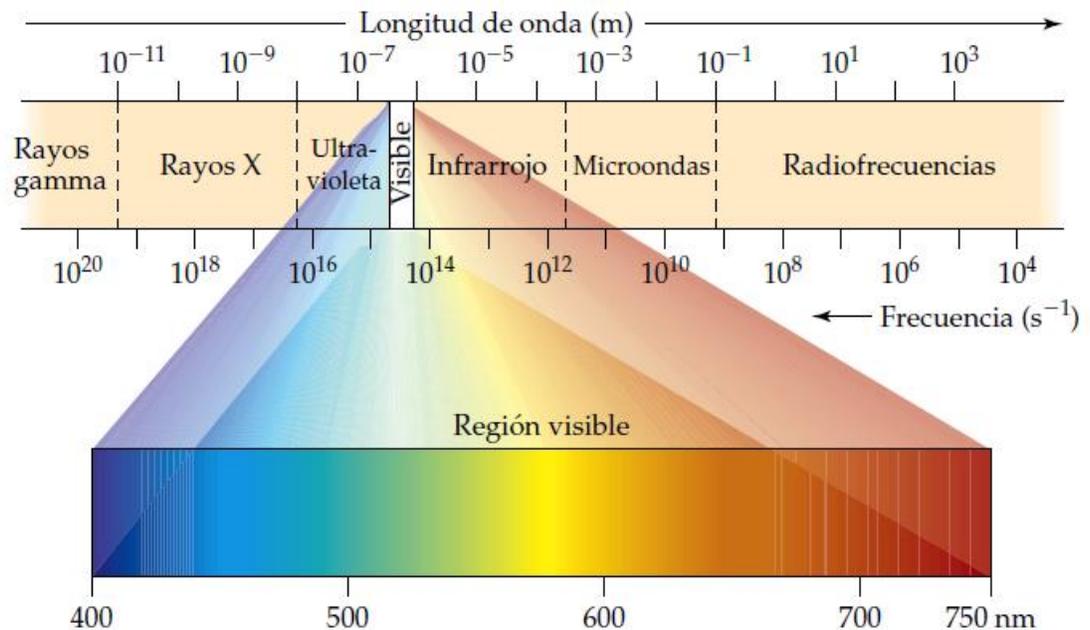
Carrión (2015). En este artículo el autor estudia el proceso de tintura del poliéster a bajas temperaturas y la cinética de tintura con colorantes dispersos de peso molecular medio y bajo. Según el estudio realizado, se obtuvo porcentajes de agotamiento aceptables, siendo estos mayores de 90%, a una temperatura de 40°C con colorantes de bajo peso molecular. Además, se añadió pequeñas cantidades de cloruro de metilo dispersado en agua con ultrasonido y lecitina. Para lograr los altos porcentajes de agotamiento fue necesario exponer la fibra al colorante en el baño por 180 minutos.

## 1.2 Resumen crítico del marco teórico

### 1.2.1 Radiación electromagnética

La radiación electromagnética se define como una forma de transmisión de energía en la que los campos eléctricos y magnéticos se propagan por ondas a través del espacio vacío o a través de un medio (Petrucci, Herring, Madura, Bissonette, 2013). Cuando esta transmisión sufre alguna perturbación se crean ondas a lo largo de la transmisión dando como resultado una longitud de onda y una frecuencia específica para cada tipo de transmisión. La radiación se divide, según sus propiedades de longitud de onda y frecuencia, en siete espectros diferentes los cuales son los rayos gamma, rayos x, ultravioleta, visible, infra rojo, las microondas, y las radiales.

Figura No. 1 Longitudes de onda de radiación electromagnética y las distintas regiones del espectro.



Fuente: Brown (2004)

### 1.2.2 Espectro de luz visible

Se le llama así a la pequeña región de longitud de onda, en el espectro electromagnético, que puede ser percibida por el ojo humano, esta luz

se puede observar debido a las reacciones químicas que está causa en los ojos. Esta región se extiende en la longitud de onda de 400nm a 750 nm, donde el violeta es la longitud de onda más corta y el rojo la longitud de onda más larga.

### 1.2.3 Color

Los objetos irradiados por la luz son capaces de absorber esa energía en cierta longitud de onda y reflejar otra parte de la luz en una diferente longitud de onda. El resultado de esta acción resulta en la percepción del color. Cuando la luz blanca atraviesa un objeto y este absorbe la radiación, la luz se descompone en sus diferentes colores, dando como resultado visible el color de la longitud de onda no absorbido. Por esta razón el color obtenido puede variar en relación a la naturaleza de la luz con que el objeto es iluminado.

#### » Colorantes

Se les llama así a las sustancias capaces de otorgar un color determinado a diferentes objetos mediante la capacidad de retención de esta sustancia en su estructura.

### 1.2.4 Poliéster

Se le llama así a la familia de polímeros caracterizados por sus enlaces éster. Estos pueden ser termoplásticos, cuando están formados de cadenas cortas o monómeros, los cuales se comportan de una manera plástica y dúctil; o pueden ser termofijos, compuestos de cadenas largas con enlaces cruzados entre las cadenas para formar estructuras tridimensionales que son más resistentes.

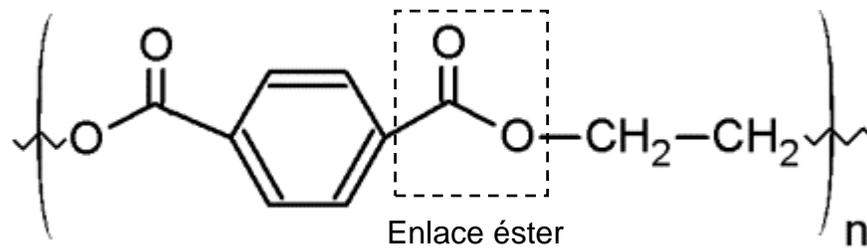
#### » Poliéster textil

Estos están ubicados en la categoría de termoplásticos, al ser calentados a altas temperaturas estos se ablandan y moldean

fácilmente como flujo viscoso. El polímero utilizado mayormente para la fabricación de esta fibra es el tereftalato de polietileno mejor conocido por sus siglas en inglés "PET". El poliéster posee diferentes cualidades que le otorgan su popularidad en la industria textil. Las principales propiedades son la baja absorción de agua, buena resistencia y estabilidad dimensional, resistencia a la abrasión, la habilidad de mezclarse bien con el algodón y relativa resistencia a la flama.

La estructura de los grupos de cadenas en el poliéster puede crear materiales con una estructura amorfa o semicristalina. La relación entre las propiedades mecánicas y la estructura polimérica de las fibras depende de las condiciones aplicadas en el proceso.

Figura No. 2 Estructura molecular del monómero de tereftalato de polietileno (PET)



Quiminet (2005)

#### 1.2.5 Colorantes y pigmentos

Los colorantes se diferencian de los pigmentos principalmente por su solubilidad en el medio en el que se aplican, estos son utilizados para dar color a un sustrato de forma permanente. Los colorantes deben poseer cierta afinidad hacia el sustrato utilizado para lograr la absorción de este. Un colorante debe cumplir con la capacidad de adherencia al sustrato, resistencia a la luz, uniformidad del color, facilidad de aplicación, compatibilidad con otros colorantes y no dañar la fibra.

Por el contrario, los pigmentos son sustancias en su mayoría sólidas e insolubles. Estos se encuentran comúnmente como polvos y son aplicados a través de un medio líquido.

Tanto los colorantes como los pigmentos otorgan color al absorber luz en la región visible del espectro. El color observado es el reflejo de la luz que no son capaces de absorber obteniéndose así un color complementario. Las sustancias que no son capaces de absorber luz se perciben de color blanco y las que absorben toda la luz se perciben de color negro. La presencia del color en estas sustancias, al ser orgánicas, están asociadas a la presencia de cierto grupo funcional en la molécula llamado cromóforo.

#### 1.2.6 Cromóforo

Se le llama así a la agrupación atómica en una molécula orgánica, la cual otorga un determinado color dependiendo de la longitud de onda que este absorbe en el espectro de luz visible. Estos se caracterizan por tener los grupos funcionales de doble enlace carbono-carbono, un grupo azo ( $-N=N$ ) o anillos aromáticos. Los compuestos con un grupo cromóforo pueden actuar como un colorante, entre los grupos cromóforos más importantes se encuentra:

- » Cromóforos etilénicos
- » Cromóforos azoicos
- » Cromóforos aromáticos
  - Derivados del trifenilmetano
  - Derivados de la antraquinona
  - Ftalocianinas
  - Derivados heteroaromáticos

### 1.2.7 Auxocromo

Son llamados así a grupos con pares de electrones no compartidos que por sí mismos no confieren color, pero la presencia en la molécula, modifica el color y la intensidad de la absorción característica de un grupo cromóforo. Algunos grupos de auxocromos pueden ser:

- »  $\text{-NH}_2$  – grupo amino
- »  $\text{-OH}$  – grupo hidroxilo
- »  $\text{-NO}_2$  – grupo nitro
- »  $\text{-COOR}$  – grupo alcoxycarbonilo

Cuando el grupo auxocromico es un donador de electrones, este intensifica la absorción de luz y desplaza el espectro a mayores longitudes de onda dando como resultado tonos azulados y verdes. A estos grupos se les llama batocrómicos y pueden ser:

- »  $\text{-OH}$  – grupo hidroxilo
- »  $\text{-OMe}$  – métoxido
- »  $\text{-NH}_2$  – grupo amino
- »  $\text{NHR}$  – amina secundaria
- »  $\text{NR}_2$  – amina terciaria

De forma contraria, los grupos que atraen electrones desplazan la absorción de luz hacia longitudes de onda más cortas resultando en colores de tonos amarillos y anaranjados. A estos grupos se les llama hipsocrómicos y pueden ser:

- »  $\text{-NO}_2$  – grupo nitro
- »  $\text{-COOR}$  - grupo alcoxycarbonilo

El color obtenido en las sustancias es consecuencia de la acción conjunta tanto del cromóforo como del auxocromo, siendo el cromóforo la principal agrupación responsable de la coloración.

### 1.2.8 Colorantes dispersos

Los colorantes dispersos son tintes prácticamente insolubles que forman una dispersión muy fina en un medio líquido, agua en la mayoría de los casos. La solubilidad del colorante y la dispersión que forma en el medio, está relacionada con distintas condiciones de este entre las cuales se destaca el pH del medio, la relación del baño, la utilización de diferentes sustancias químicas como dispersantes, carriers, etc., y además de la temperatura alta del baño, hasta 130°C para colorantes dispersos de alta energía. En el baño se produce un equilibrio entre las moléculas disueltas y las dispersadas, las moléculas dispersadas tienen recubrimiento con moléculas de agentes disolutores que forman la dispersión. Las moléculas de colorantes dispersos grandes tienen una menor solubilidad. Al encontrarse dentro de la molécula grupos hidrofílicos se mejora la solubilidad y la capacidad de dispersión.

Este tipo de colorantes es utilizado en la tinción de fibras sintéticas, ya que estas poseen poca polaridad, son hidrofóbicas, plásticas y no contienen grupos reactivos. El tamaño de partícula de un colorante disperso acabado de forma adecuada se encuentra en un rango de 0.1 a 1 milimicrón.

La teoría del mecanismo por el cual se realiza la tintura está basada básicamente en el principio de que el colorante penetra dentro de la fibra de poliéster cuando este se encuentra en su forma mono-molecular dispersa. El colorante debe ser disuelto primero en un baño para ser adsorbido en la superficie de la fibra y luego poder ser difundido dentro de la fibra.

#### » División de los colorantes dispersos

Los colorantes dispersos se dividen según la energía necesaria para la difusión dentro de la fibra, estos se pueden clasificar como colorantes dispersos de baja energía, media energía y alta energía. En general los colorantes de baja y media energía tienen mejores

niveles de igualación, pero los de alta energía tienen mayor solidez hacia diferentes procesos en la tela, como luz, lavado, calor, etc.

### 1.2.9 Colour Index

Organización que utiliza dos sistemas de clasificación donde identifica todos los tipos de colorantes existentes en la actualidad. Este sistema le otorga a cada colorante un nombre genérico el cual está compuesto por la clase de su uso final, el matiz del color y un número, la segunda forma de identificación posible es mediante un número de seis cifras. Estos nombres permiten clasificar a cualquier cantidad de productos comerciales que posean la misma constitución química. Cuando existen moléculas muy parecidas en las que únicamente se modifica un grupo funcional de la molécula se usan dos puntos “:” seguido por el número de orden de registro para nombrarlo.

#### » Disperse Yellow 114

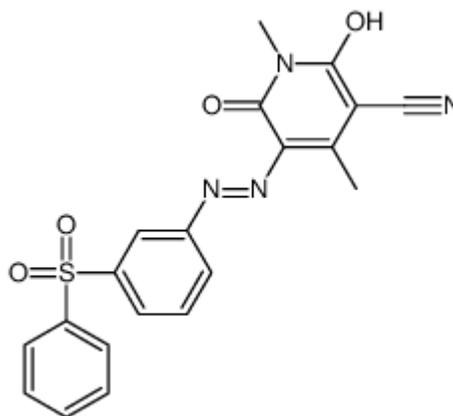
Colorante disperso color amarillo de alta energía utilizado en la tinción de telas como poliéster.

Formula molecular:  $C_{20}H_{16}N_4O_4S$

Peso molecular: 408.43 g/mol

Estructura molecular: Azo

Figura No. 3 Estructura molecular del colorante disperso Yellow 114



Fuente: BOC Sciences (2017)

Tabla No. 1 Propiedades de solidez del colorante disperso Yellow 114 en telas según el método ISO

Estándar	Solidez al planchado		Solidez a la luz	Solidez a la transpiración		Solidez al lavado	
	Fading	Stain		Fading	Stain	Fading	Stain
ISO	5	4 – 5	7	4 – 5	–	4 – 5	4 – 5

Fuente: world dye variety (2017)

» Disperse Red 92

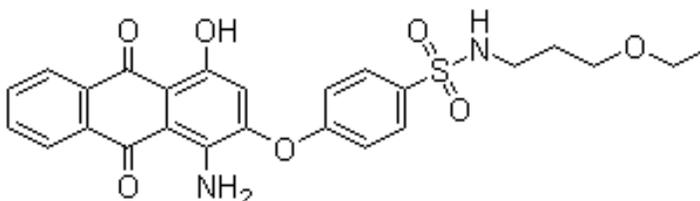
Colorante disperso color rojo de alta energía utilizado en la tinción de telas de poliéster.

Formula molecular:  $C_{24}H_{24}N_2O_7S$

Peso molecular: 496. 53 g/mol

Estructura molecular: antraquinonas

Figura No. 4 Estructura molecular del colorante disperso Red 92



Fuente: (chem blink, 2017)

Tabla No. 2 Propiedades de solidez del colorante disperso Red 92 en telas según el método ISO

Estándar	Solidez al planchado		Solidez a la luz	Solidez a la transpiración		Solidez al lavado	
	Fading	Stain		Fading	Stain	Fading	Stain
ISO	4 – 5	4 – 5	6 – 7	5	4 – 5	4 – 5	4 – 5

Fuente: world dye variety (2017)

» Disperse blue 79:1

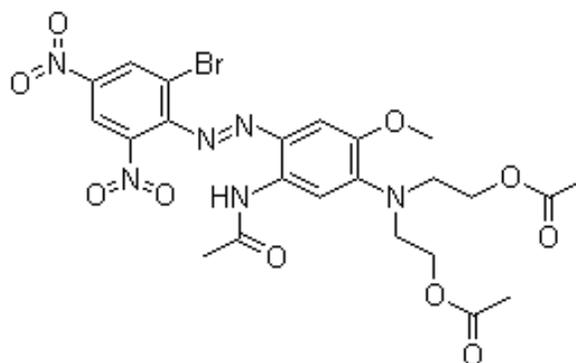
Colorante disperso color azul de alta energía. Difiere del Disperse blue 79 en que tiene un metil menos en la cadena de la cetona.

Formula molecular:  $C_{23}H_{25}BrN_6O_{10}$

Peso molecular: 625.38 g/mol

Estructura molecular: Azo

Figura No. 5 Estructura molecular del colorante disperso Blue 79:1



Fuente: Chem Blink (2017)

Tabla No. 3 Propiedades de solidez del colorante disperso Blue 79:1 en telas según el método ISO

Estándar	Solidez al planchado		Solidez a la luz	Solidez a la transpiración		Solidez al lavado	
	Fading	Stain		Fading	Stain	Fading	Stain
ISO	5	4	6 – 7	5	4 – 5	5	4 – 5

Fuente: World dye variety (2017)

### 1.2.10 Teñido

El teñido de las telas se puede lograr mediante dos procesos, uno mediante el proceso por impregnación y el otro por afinidad entre el colorante y la fibra, llamado también por agotamiento.

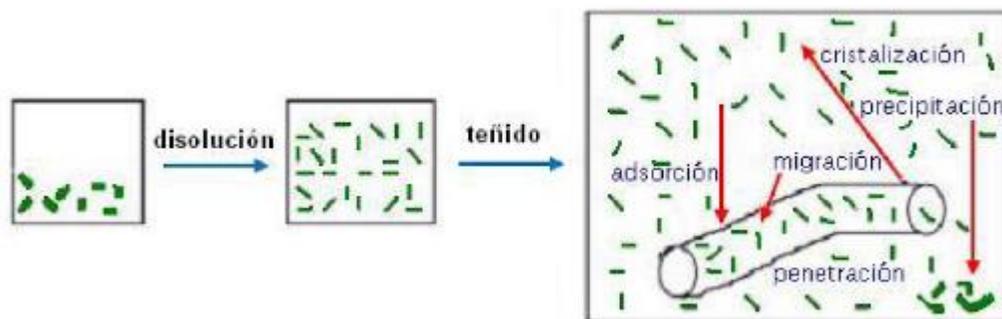
*Teñido por impregnación:* se divide en dos etapas, en la primera etapa se impregna el colorante sobre la fibra y en la segunda etapa se da el proceso de fijación. El proceso de teñido por impregnación para el poliéster o mezclas de poliéster con algodón es llamado termosol y se realiza de forma continua.

*Teñido por agotamiento:* en este proceso el colorante es dispersado sobre un baño, el material textil se sumerge dentro del baño donde el colorante pasa del baño a la fibra hasta saturarla y quedar fijada sobre ella.

### 1.2.11 Teoría del teñido de poliéster por agotamiento

Para poder comprender la teoría del proceso de teñido es necesario dividirlo en etapas, aunque estas ocurran simultáneamente en algunos procesos. El proceso de teñido se puede dividir en cuatro etapas las cuales son dispersión, adsorción, difusión y migración.

Figura No. 6 Etapas en el proceso de tinción del poliéster



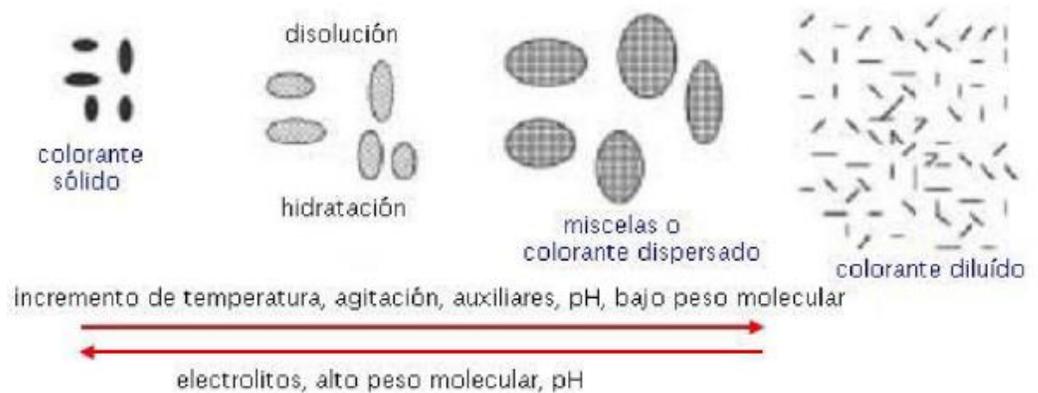
Fuente: Lockuán (2012)

#### » Dispersión

Esta etapa inicial es de gran importancia para el resto del proceso y es donde se realiza la dispersión del colorante sólido en el baño, dependiendo del colorante, este puede estar disperso en forma molecular o en forma micelar. La calidad de la dispersión influye directamente sobre la calidad del teñido ya que una dispersión

irregular del colorante provoca un teñido también irregular en el tejido. Por esta razón, en el baño se añaden agentes de disolución que son coloide-protectores los cuales son más estables en un pH ácido de 4 a 5. Otros factores que afectan la dispersión de los colorantes, resultando en la aglomeración de las partículas, las cuales pueden sedimentar sobre la tela o el baño son, la agitación excesiva del baño que provoque la separación mecánica del recubrimiento del agente dispersante, tiempo prolongado en el baño a altas temperaturas, presencia de electrolitos y variaciones en la temperatura.

Figura No. 7: Solución de los colorantes dispersos y comportamiento de la solución en función de diferentes factores.



Fuente: (Lockuán, 2012)

» Adsorción

En esta etapa se da la adsorción del colorante en la superficie de la fibra, esto sucede mediante puentes de hidrogeno y las fuerzas de Van der Waals y depende de la afinidad del colorante con la fibra. La afinidad de un colorante es la capacidad que este tiene de formar un enlace permanente con la fibra. No todos los colorantes tienen el mismo grado de agotamiento en los baños de tintura, el cual está influido por la temperatura, la afinidad y en algunos casos por el pH

y los auxiliares. Estos mismos factores afectan también en la velocidad de subida del colorante.

Los colorantes dispersos de moléculas grandes usualmente tienen una mejor afinidad hacia las fibras ya que, al ser una molécula más grande, logra formar mayor cantidad de enlaces con la fibra, dando como resultados colorantes de alta solidez. De tal forma, la afinidad del colorante es directamente proporcional al tamaño de molécula.

» Difusión

Esta es la etapa más lenta y más importante del proceso. En esta tercera etapa el colorante que fue adsorbido en la superficie de la fibra mediante enlaces químicos formados con la fibra tienden a penetrar sobre esta a través de sus zonas amorfas para distribuirse homogéneamente y fijarse. De la misma forma, esta etapa es la más importante ya que es necesaria para obtener una óptima solidez y por lo tanto una buena calidad de tinción.

Existen diferentes factores fundamentales que afectan este proceso los cuales son:

- Cristalinidad de la fibra: al aumentar la cristalinidad de una fibra aumentan las secciones de moléculas ordenadas dentro de esta. Debido a que el colorante se difunde a través de las áreas amorfas, el aumento en la cristalinidad resulta en una disminución de la velocidad de difusión.
- Tamaño de molécula: la velocidad de difusión es inversamente proporcional al tamaño de molécula del colorante, ya que entre mayor sea esta es más difícil su movilidad en las áreas amorfas.
- Afinidad con la fibra: la difusión del colorante disminuye con la afinidad de la fibra ya que los enlaces formados en la superficie impiden la fácil movilidad de las moléculas.

- Temperatura de teñido: el aumento de la temperatura de teñido tiene efectos tanto en la estructura de la fibra como en los enlaces formados por afinidad. Las altas temperaturas liberan los enlaces intermoleculares provocando un hinchamiento en la fibra facilitando la difusión dentro de esta y además facilita el rompimiento de los enlaces por afinidad fibra-colorante. La temperatura de baño por el contrario reduce la afinidad del colorante con la fibra causando una disminución en el grado de agotamiento del colorante.
- Concentración del colorante: la velocidad de difusión máxima se obtiene cuando la superficie de la fibra se encuentra saturada de colorante, para que esto sea posible el colorante debe encontrarse a una concentración adecuada dentro del baño.

Existen otros factores que pueden ayudar a aumentar la difusión del colorante dentro de la fibra, estos son sustancias auxiliares que facilitan el hinchamiento de la fibra o el aumento de la concentración de colorante cerca de ella favoreciendo la difusión.

#### » Migración

En esta etapa el colorante migra hacia zonas donde existe menor concentración para mejorar la igualación del color. En esta el colorante se difunde hacia las capas externas de la fibra y luego regresa. Esta fase se ve favorecida por las moléculas de colorante pequeñas, la baja afinidad y baja cristalinidad de la fibra, pero de forma contraria estos afectan la solidez del teñido.

Esta fase es necesaria cuando se tienen variaciones térmicas considerables y la falta de agentes de disolución coloide protectoras, ya que favorecen el crecimiento de los cristales de colorante en el material o precipitado, dando como resultado

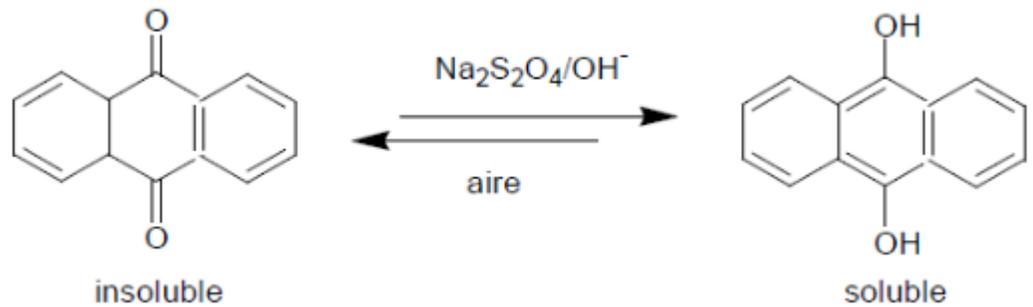
defectos en el teñido. Además, la estabilidad de las soluciones también puede ser afectada por una agitación excesiva en el baño y un pH inadecuado. Si la etapa de adsorción y dispersión se llevan a cabo de forma adecuada y uniforme la etapa de migración se hace innecesaria en el proceso.

» Lavado reductivo

Al terminar el proceso de teñido de las telas de poliéster se lleva a cabo un lavado reductivo. La función de este lavado es remover el colorante disperso que se encuentra depositado o enlazado en la superficie de la fibra. Este lavado es llamado así ya que se reducen los enlaces azo, destruyendo los azo colorantes presentes en el baño.

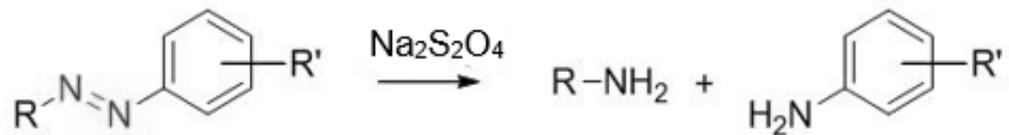
El lavado reductivo se realiza en un baño de agua con hidrosulfito de sodio, también conocido como ditionito de sodio con hidróxido de sodio a una temperatura de 80°C por 20 minutos. Cuando el colorante disperso utilizado es un derivado de la antraquinona, el colorante no es destruido totalmente por el tratamiento con ditionito de sodio. Para disminuir la necesidad del lavado reductivo al usar antraquinonas es necesario aumentar el control de diferentes propiedades del colorante como: el grado de agotamiento, el cual debe ser del 100% o cercano; la estabilidad de la dispersión de los colorantes en el baño, lo cual disminuye las aglomeraciones de colorante en la tela durante el proceso de teñido; la clase química de los colorantes, ya que algunos pueden ser destruidos por un agente alcalino sin necesidad de agente reductor, entre otras.

Figura No. 8 Reacción de reducción de la antraquinona por medio del ditionito de sodio en medio básico



Fuente: Química orgánica Industrial (2017)

Figura No. 9 Reacción de reducción del enlace azo a aminas por medio del ditionito de sodio en medio básico.



Fuente: Government of Canada (2012)

### 1.2.12 Tricromía

Ley experimental que demuestra que tres haces luminosos coloreados, adecuadamente elegidos, bastan para obtener, por suposición, el equivalente visual de un haz luminoso cualquiera (Lévy, 2008). Esto es uno de los aspectos en la primera ley de Grassmann llamada Ley de la Trivarianza Visual. En esta ley se demuestra que cualquier color de prueba "C" se puede obtener por la mezcla aditiva de los tres colores si se hace en las proporciones adecuadas. Los colores base utilizados en estas

combinaciones son los colores primarios los cuales son el rojo, amarillo y azul. A partir de estos es posible la creación de los colores secundarios y terciarios según el orden de combinación.

Figura No. 10 Circulo cromático de los colores primarios



Fuente: Almaraz (2017)

#### 1.2.13 Espectrofotómetros

Estos son dispositivos espectroscópicos que utilizan un monocromador o policromador en conjunto con un transductor para convertir las intensidades radiantes en señales eléctricas las cuales permiten la medición de la relación entre la energía radiante de dos rayos. Los espectrofotómetros pueden variar continuamente la longitud de onda utilizada haciendo posible el registro de espectros de absorción. Este tipo de dispositivos son capaces de medir la región ultra violeta y la visible.

#### 1.2.14 Colorimetría

Se le llama colorimetría a la ciencia que estudia el color, esta ciencia es la encargada de medir los colores cuantitativamente para así poder lograr una estandarización del color. La medición del color se logra mediante la suma de respuestas a estímulos de colores, estos estímulos se cuantifican

al comparar las respuestas con una curva llamada curva espectral codificada de la Comisión Internacional de Iluminación o CIE, donde la curva asigna un valor numérico a cada respuesta a los estímulos. Esta curva es una normalización de la respuesta del fotorreceptor sensible al color. La medición del color se realiza con la ayuda de un colorímetro.

#### 1.2.15 Colorímetro

Los colorímetros son equipos utilizados para medir el color cuantitativamente, estos se basan en la medición de la reflectancia espectral de la muestra. Los colorímetros realizan las medidas a partir del concepto de los valores triestímulo, este concepto se basa en que el ojo del ser humano posee tres receptores uno de color rojo, uno azul y uno verde y que todos los demás colores son mezclas de estos. Existen diferentes sistemas que se han desarrollado para la medición del color, el primer sistema fue el XYZ que fue creado en 1931, seguido de este se creó el sistema LAB el cual describe el color en el espacio mediante las coordenadas  $L^*$   $a^*$   $b^*$ . El tercer sistema es el  $L^*$   $c^*$   $h^*$  el cual es muy parecido al LAB.

- » XYZ: este sistema fue el primero en utilizarse y utiliza las coordenadas XYZ para luego determinar las coordenadas de cromaticidad para definir el color. Para determinar cada una de las coordenadas XYZ es necesario determinar la energía espectral relativa del iluminante, el factor de reflectancia del objeto y la luminancia relativa de la muestra.
- » LAB: en este tipo de sistemas se describe el color mediante la luminosidad representada por "L" y las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ . La coordenada  $a^*$  describe según el signo la tendencia del color, un signo positivo indica la tendencia al color rojo y signo negativo al color verde. La coordenada  $b^*$  al igual que la  $a^*$  indica la tendencia

al color, con un signo positivo indica la tendencia al color amarillo y con signo negativo al color azul.

- »  $L^* c^* H^*$ : este tipo de sistema es muy parecido al sistema LAB con la diferencia de que las coordenadas para este sistema son polares y no rectangulares como en el otro. La  $L^*$  indica la luminosidad y está representada por una gráfica vertical de 0 a 100, donde 0 es ausencia total de luz,  $c^*$  representa croma o saturación y  $H^*$  es el matiz. Además de estas coordenadas también se cuenta con las descritas anteriormente  $a^*$  y  $b^*$ . El croma es medido en secciones lineales donde el 0 se encuentra a lo largo del círculo y el 100 en la orilla del círculo. El matiz se describe a lo largo de todo el círculo mediante grados, donde  $0^\circ$  es rojo,  $90^\circ$  amarillo,  $180^\circ$  verde y  $270^\circ$  azul hasta llegar a 0 otra vez.

Los datos con el colorímetro se miden en función de cambios respecto a una muestra referencia.

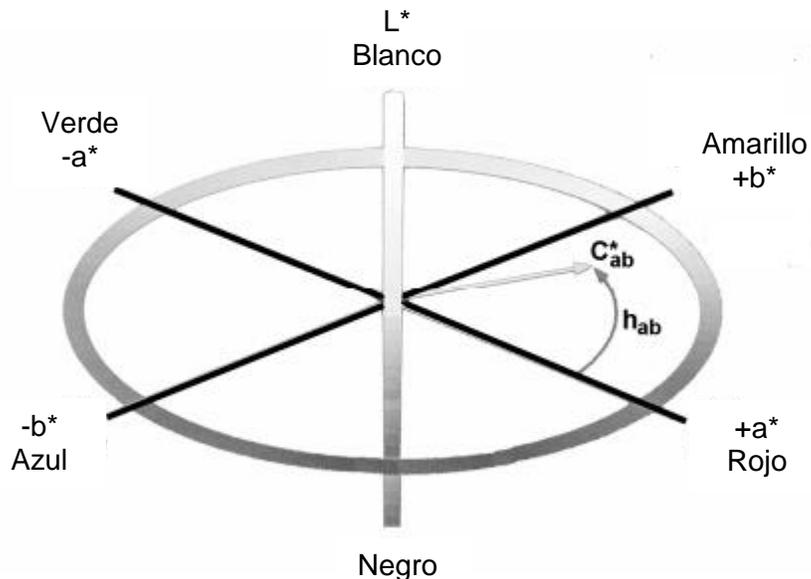
Al obtener los datos de un determinado color con el colorímetro, es común la necesidad de compararlo con otro color para poder evaluar las diferencias. A esa medida que relaciona los dos colores se le llama diferencia total del color y se denota con un  $\Delta E$ , donde delta ( $\Delta$ ) es una letra griega que denomina cambio y E proviene de la palabra "Empfindung" que significa sensación en alemán. Diferentes estudios han propuesto diferentes valores aceptables de  $\Delta E$  que tienen un JND, siglas en inglés para Just Noticeable difference que significan diferencia apenas notoria, estos valores van desde 1 hasta 2.3. Inicialmente  $\Delta E$  era determinado mediante la diferencia de las coordenadas L,  $a^*$  y  $b^*$  mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Ecuación No. 1 primera aproximación para el cálculo de  $\Delta E$  en colorímetros

Debido a que existían no uniformidades en las mediciones y la aparición de las coordenadas  $c^*$  y  $H^*$  fue necesario el desarrollo de ecuaciones diferentes que tomaran en cuenta todos los factores para la descripción del color y sus diferencias respecto a otro. Además de esto se agregaron diferentes constantes que agregaban peso a ciertos factores con el fin de tener una medida más precisa y sensible en las diferencias de color.

Figura No. 11 Coordenadas del sistema  $L^* c^* H^*$



#### 1.2.16 Iluminantes

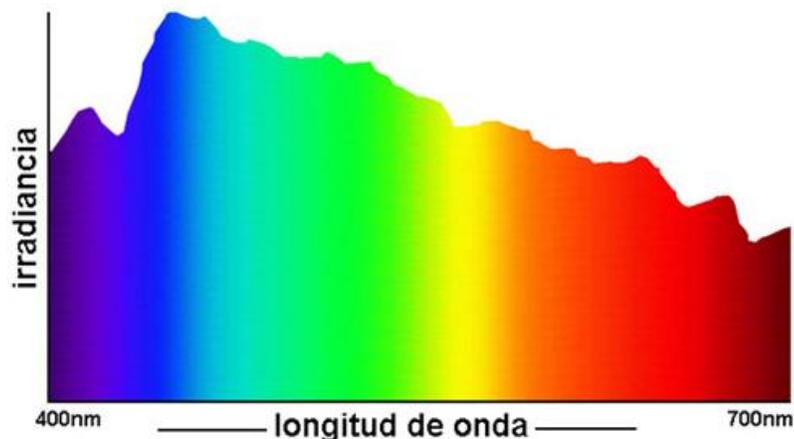
Los iluminantes son luces teóricas ideales que representan fuentes de luz reales, se especifican mediante tablas de valores y tienen la propiedad de ser constantes. En 1931 la CIE recomendó tres iluminantes o fuentes de luz para usar como patrón en las mediciones de color. Estos iluminantes estaban basados en el uso de una lámpara de tungsteno y filtros líquidos que reproducían otras dos luces con un color similar al de la luz solar directa y la luz solar en un día nublado. Los iluminantes fueron nombrados como A con una temperatura de 2857K, B con una temperatura de 4870 K

y C con una temperatura de 6770K. Estas lámparas eran fabricadas con bulbos de vidrio los cuales proveían poca o ninguna radiación ultravioleta. Luego de la aparición de los blanqueadores ópticos o agentes fluorescentes, fue necesaria la especificación de fuentes de luz patrón con espectros de luz ultravioleta similar al de la luz natural. Es así como en 1967 se recomiendan los iluminantes patrón D. En la actualidad los patrones A y B ya no son utilizados.

» Luz D65

Esta luz representa el promedio de luz diurna en el hemisferio norte y está definida por una serie de parámetros que corresponden a la intensidad relativa de su radiación para cada longitud de onda visible. Esta es normalmente la luz primaria utilizada para cualquier ensayo de color. Este tipo de luz no es dependiente de la hora, día, estación del año, altitud, latitud, etc. El 65 hace referencia a su temperatura de color correlacionada la cual es 6500 K, este iluminante es muy parecido al C 6770K con la diferencia del espectro ultravioleta de la luz D.

Figura No. 12 Especificaciones de radiación para el iluminante D65 en cada longitud de onda visible



Valero (2013)

### 1.2.17 Metamerismo

Se le conoce como metamerismo a un fenómeno psicofísico que sucede cuando dos muestras de color coinciden bajo ciertas condiciones, mientras que difieren en otras. La descripción de este fenómeno se basa en que es posible que dos colores coincidan a pesar de que el espectro de luz reflejado no sea el mismo para las dos muestras. Es por esto que es posible que ciertas coincidencias en el color sean consideradas condicionales. Existen diferentes tipos de metamerismo, estos pueden ser de iluminancia, observador, geometría o campo.

- » Iluminancia: se le llama así al metamerismo en el que dos muestras de color coinciden respecto a un tipo de luz, pero difieren respecto a otro. Este es el tipo de metamerismo más común.
- » Geométrico: este tipo se da cuando dos muestras de color coinciden vistas desde cierto ángulo, pero difieren al ser observadas desde un ángulo diferente. Esto sucede cuando el espectro de reflectancia es dependiente del ángulo de visión.
- » Observador: este se da debido a las diferencias de visión de color de los espectadores. Esta diferencia tiene origen biológico en la mayoría de los casos y se deriva de las diferencias en la cantidad de conos sensibles en el observador ya sea a la radiación de longitud de onda larga u onda corta.
- » Campo: este tipo de metamerismo se da cuando dos muestras de color coinciden a una distancia y difieran a otra diferente. Esto se da debido a la forma de iluminación que tiene el objeto sobre la retina, afectando la cantidad de conos sensibles a las distintas longitudes de onda.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mercado de exportación textil en Guatemala ocupa el primer puesto según las estadísticas otorgadas por Agexport, para noviembre del 2016 el sector textil ocupaba el 12.3% del total de exportaciones. Entre las fibras más utilizadas en Guatemala se encuentra el poliéster debido a sus diferentes propiedades. La tela de poliéster es liviana, duradera, de fácil lavado, y tiene la facilidad de hilarse con otras fibras como el algodón, spandex y viscosa.

El proceso de teñido del poliéster se realiza mediante colorantes dispersos. Este proceso es afectado considerablemente por la concentración del colorante, tiempo y temperatura de tinción. Por esta razón, un mal manejo de estas variables puede tener diferentes efectos no deseados sobre la tela como manchas, tonos disparejos en la tela y poca repetitividad del tono deseado.

La metodología establecida para el proceso de tinción que existe actualmente es muy general y solo involucra las variables de temperatura y tiempo, sin tomar en cuenta la concentración. Por esta razón el proceso en la empresa de estudio se da de forma empírica, dando lugar a variaciones y desperdicio de material al no obtenerse los resultados deseados. Estos inconvenientes provocan pérdidas en material y tiempo, que se reflejan en pérdidas económicas. De esta forma se desea obtener más información sobre el comportamiento de los colorantes tomando en cuenta las variables de concentración, temperatura y tiempo, utilizando tricromías; y de esta forma diseñar un proceso que disminuya el tiempo de tinción y permita la repetitividad y uniformidad de los tonos.

¿Es posible diseñar un proceso alternativo que mejore el método de tinción en telas 100% poliéster en la empresa de estudio y permita la repetitividad y uniformidad de los tonos?

## 2.1 Objetivos

### 2.1.1 Objetivo general

Relacionar la influencia de la temperatura, tiempo y concentración de colorantes dispersos de alta energía, en tricromías, en el proceso de tinción de telas 100% poliéster para diseñar un método alternativo que mejore dicho proceso.

### 2.1.2 Objetivos específicos

- a. Determinar si existe algún grado de tinción, sobre la tela 100% poliéster, en el proceso de aumento de temperatura del baño con colorantes dispersos, antes de llegar a 130°C.
- b. Determinar el tiempo mínimo en el que se puede llevar a cabo el aumento de temperatura del baño con colorantes dispersos, sin afectar el resultado final del teñido sobre la tela.
- c. Determinar el tiempo mínimo necesario de permanencia en el baño, a 130°C, para lograr la igualación del tono en la tela 100% poliéster respecto a la tela patrón.
- d. Determinar el efecto del tiempo de permanencia en el baño en la igualación del color a lo largo de la tela 100% poliéster, utilizando colorantes dispersos de alta energía en tricromías.
- e. Determinar el comportamiento de la concentración de los colores primarios en tricromías de colorantes dispersos, de alta energía, a lo largo del proceso de tinción.

## 2.2 Variables

### Variables independientes

- » Temperatura
- » Tiempo
- » Concentración de los colorantes dispersos en la tricromía.

### Variables Dependientes

- » Tiempo
- » Igualación del color a lo largo de la tela
- » Igualación del tono respecto a la muestra de referencia

#### 2.2.1 Definición conceptual

- » Temperatura

Magnitud física que expresa la energía relativa que tienen los cuerpos o ambiente y cuya medida en el sistema internacional es el kelvin. (Real Academia Española, 2017)

- » Tiempo

Magnitud física la cual representa una sucesión de estados por los que pasa la materia. Esta también permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. (RAE, 2017)

- » Concentración de los colorantes dispersos en la tricromía

Magnitud que expresa la relación que existe entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente presente. Su unidad en el sistema internacional es el mol por metro cubico. (RAE, 2017)

- » Igualación del color a lo largo de la tela  
Acción y efecto de igualar. De acuerdo a la RAE (2017) igualar algo es cuando algo es muy parecido o semejante. Efecto de obtener un mismo color a lo largo de toda la tela de muestra.
  
- » Igualación del tono respecto a la muestra referencia  
Acción y efecto de igualar. De acuerdo a la RAE (2017) igualar algo es cuando algo es muy parecido o semejante. Acción de obtener una tinción del mismo tono que la muestra referencia.

### 2.2.2 Definición operacional

#### Variables independientes

- » Temperatura  
Variable que modifica la estructura interna del poliéster permitiendo la adsorción del colorante en la fibra. Esta influye en la cantidad de colorante que puede llegar a retener la tela y tiene su máximo establecido a 130°C. Una temperatura de tinción más alta ya no representa ninguna variación en el color obtenido, pero sí puede llegar a dañar los cristales de las fibras en la tela de poliéster. Esta variable es medida en °C.
  
- » Tiempo  
Variable independiente en la etapa de fijación del colorante en el proceso, en esta se tiene una temperatura constante. Variable que permite una adecuada igualación del tono en la tela, esta está íntimamente relacionada con la temperatura del baño la cual debe ser de 130°C. En la experimentación esta variable se mide en minutos.
  
- » Concentración de los colorantes dispersos en la tricromía.  
Esta variable ayuda a estudiar el agotamiento de los colorantes constituyentes de la tricromía, tomando en cuenta las concentraciones

presentes en el baño. Esta es medida en porcentaje en peso, de cada uno de los colorantes en la tricromía, en relación al peso de la tela en el teñido.

### Variables dependientes

- » Tiempo  
Variable dependiente de la temperatura en el calentamiento del baño de tinción. Esta se relaciona de forma inversamente proporcional a los grados de calentamiento que se utilicen para aumentar la temperatura del baño desde la temperatura ambiente hasta 130°C. Variable medida en minutos.
  
- » Igualación del color a lo largo de la tela  
Esta variable es dependiente de la temperatura y el tiempo, al cual, la tela permanezca en contacto con el baño. Tanto la temperatura como el tiempo deben ser suficientes para lograr que el color sea adsorbido y difundido en todas las partes de la tela.
  
- » Igualación del tono respecto a la muestra de referencia  
Variable que representa el momento en el cual se obtiene un equilibrio entre el baño de color y la tela, donde no se puede adsorber más colorante y se da el agotamiento del colorante en el baño. Esta se mide con la ayuda de un colorímetro, en el punto que  $\Delta E$  es menor o igual a 1.5, respecto a una muestra de referencia.

## **2.3 Alcances y Límites**

### 2.3.1 Alcances

Se llevó a cabo el estudio del comportamiento de colorantes dispersos de alta energía, modificando las variables de temperatura, tiempo y concentración, como porcentaje en peso, en el proceso de tinción de tela 100% poliéster. Para la tinción se utilizó tricromías de colores primarios, siendo estas seis combinaciones distintas del color amarillo, rojo y azul.

Las tres concentraciones del colorante en la tricromía fueron seleccionadas en base a parámetros utilizados actualmente en la operación de la empresa de estudio para el teñido. Además, los tonos de los colorantes dispersos de alta energía fueron seleccionados en base al uso que estos tienen dentro de la empresa. Se trabajó con tricromías ya que en la operación es común combinar dos o tres colores primarios para obtener el tono deseado.

En la empresa de estudio se trabajan con diferentes tipos de tela 100% poliéster, entre la gama se encuentran telas de punto abierto, tipo mesh, y de punto cerrado. Para trabajar se seleccionó la tela dazzle, una tela de punto cerrado, con un peso de  $160 \text{ g/m}^2$ , producida con hilo brillante. Este tipo de tela fue seleccionado en base a que la igualación del color a lo largo de la muestra se aprecia de mejor forma, además, es posible la medición con el colorímetro al no existir espacios en la muestra que afecten las medidas. El estudio se realizó en escala laboratorio, pero los parámetros utilizados en la experimentación fueron acordes, en medida de lo posible, a los que se utilizan en planta para el proceso de teñido.

### 2.3.2 Límites

En el desarrollo del proceso experimental se realizaron diferentes pruebas para determinar el efecto en la modificación de distintos parámetros del proceso de teñido de telas. Cada una de estas pruebas fue realizada a nivel laboratorio y no en planta. La experimentación se realizó de esta manera debido al alto costo que conlleva realizar la gran cantidad de pruebas en planta, considerando que, si los ensayos no cumplían con los estándares necesarios, estos representarían pérdidas para la empresa.

El proceso de teñido puede ser estudiado desde diferentes puntos de vista los cuales pueden ser cinético, termodinámico en donde se estudia el equilibrio de la reacción, y químico, el cual estudia las reacciones entre el colorante y el polímero de poliéster. El estudio realizado abarca únicamente el punto de vista termodinámico, donde se estudia el equilibrio

de reacción que es conocido como el punto de agotamiento del colorante. El proceso no es estudiado desde el punto cinético y químico debido a la complejidad de realizar las mediciones y la falta de recursos y equipos.

Otro límite importante es la vasta gama de colorantes que existe en la industria, aunque diferentes empresas proporcionen las mismas tonalidades, estas siempre buscan la creación de nuevos y diferentes tonos. Las nuevas tecnologías pueden dar como resultado colorantes dispersos que se comporten de una manera inusual y por lo tanto necesiten un método diferente de teñido. Además del colorante, existe el limitante de la tela, los resultados son aplicables únicamente para telas de punto cerrado con un peso alrededor de  $160 \text{ g/m}^2$ .

En los equipos utilizados para la experimentación se tuvo como limitante el colorímetro utilizado. El colorímetro era capaz de realizar medidas únicamente con la luz D65 limitando la comparación de los resultados con otro tipo de luces.

El estudio realizado del proceso de teñido tiene un impacto económico en la empresa en cuestión. Este impacto se evaluó únicamente en función del costo de oportunidad y como respaldo a los hallazgos, ya que la empresa de estudio mantiene sus datos económicos, entre otros, confidenciales.

## **2.4 Aporte**

El proceso de teñido de telas 100% poliéster se ha realizado ya desde hace muchos años, a pesar de esto no se encuentra mucha información en la literatura sobre el comportamiento de los colorantes dispersos a largo del proceso.

En la información que se puede encontrar comúnmente para el proceso de teñido se expone únicamente un proceso general el cual tiene una duración de 160 minutos. Este proceso general define un mismo comportamiento para los colorantes sin importar si son de alta, media o baja energía, si estos se

encuentran solos o interactuando con otros colorantes en el baño. La presente investigación pretende profundizar en el efecto de la modificación de las propiedades de temperatura, concentración y tiempo en el proceso de tinción de telas 100% poliéster para un mejor entendimiento del comportamiento de los colorantes de alta energía. Además, se plantea el diseño de un procedimiento alternativo que disminuye el tiempo total del proceso de teñido de telas con resultados satisfactorios en cuarenta y cinco minutos menos para cada lote. A partir del nuevo método es posible aumentar la capacidad de producción para la empresa de estudio lo cual se podría traducir en beneficios económicos.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Sujetos y unidades de análisis

##### Sujetos

- Ingeniero Juan Carlos García Cerón, graduado de Ingeniero Químico en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Tiene una experiencia de 25 años en la industria textil, especialmente como técnico en tintorería.
- Adolfo Romeo García Monzón, técnico de laboratorio de teñido de telas. Trabajó como técnico de teñido en la empresa Rosazu durante tres años realizando pruebas de teñido para algodón y actualmente posee siete años de experiencia en la tinción de telas 100% poliéster o mezclas de algodón – poliéster.

##### Unidades de análisis

- » Formulación 1: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse Yellow 114, 0.1% Disperse Red 92 y 0.01% Disperse blue 79:1. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.
- » Formulación 2: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse Yellow 114, 0.1% Disperse blue 79:1 y 0.01% Disperse Red

92. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.

- » Formulación 3: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse Red 92, 0.1% Disperse Yellow 114 y 0.01% Disperse blue 79:1. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.
- » Formulación 4: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse Red 92, 0.1% Disperse blue 79:1 y 0.01% Disperse Yellow 114. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.
- » Formulación 5: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse blue 79:1, 0.1% Disperse Yellow 114 y 0.01% Disperse Red 92. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.
- » Formulación 6: Tricromía de colores primarios. Concentración en baño: 2% Disperse blue 79:1, 0.1% Disperse Red 92 y 0.01% Disperse Yellow 114. Concentraciones como porcentaje en peso de colorante en función al peso de la muestra de tela.

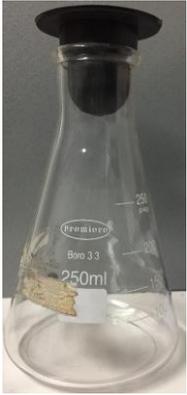
### 3.2 Instrumentos e insumos

Tabla No. 4 Equipo utilizado

Nombre del equipo	Balanza electrónica	Colorímetro	Equipo de teñido	Agitador
<b>Descripción</b>	Peso máximo: 500 g Mínimo: 0.01 g Error: $\pm 0.005$ g	3nh modelo: NR20XE Número de serie: 16130845	AHIBA Nuance ECO Capacidad: 15 beakers Temperatura 20 – 140 °C Exactitud: $\pm 0.8$ °C. RPM: 5 – 50 Diferencia de temperatura en beakers: 0.5 °C	VWR Scientific Products Modelo: Dylastir Serie 2919 10 niveles
<b>Uso</b>	Utilizada para pesar la tela, los colorantes y químicos utilizados en el proceso.	Utilizado para medir el matiz, croma y luminosidad de las muestras respecto a una muestra patrón.	Utilizado en el proceso de teñido de tela y en lavado reductivo.	Utilizado para agitar las soluciones de colorantes dispersos con agua.
<b>Imagen</b>				

Fuente: elaboración propia

Tabla No. 5 Cristalería y utensilios utilizados

Nombre del equipo	Erlenmeyer	Tapón de erlenmeyer	Pipeta volumétrica de 10 ml	Pipeta volumétrica de 1 ml	Beaker con tapadera a presión	Probeta volumétrica	Llave hexagonal
Descripción	Premiere 250 ml Boro 3.3	Tapón de plástico duro sin rosca	MC Error: 0.1 a 20°C	Error: ± 0.04 ml a 20°C	Material: acero inoxidable Capacidad: 300 ml	Value Ware Kimax 100 ml	Allen
Uso	Utilizado para realizar soluciones de los colorantes dispersos.	Utilizado para proteger las soluciones de colorantes de contaminación externa	Utilizada para medir volumen de los reactivos o solución de colorantes	Utilizada para medir volumen de los reactivos o solución de colorantes	Teñido de muestras en máquina de teñido	Utilizada para medir el agua necesaria del baño	Utilizada para ajustar la tapadera del beaker a presión.
Imagen							

Fuente: elaboración propia

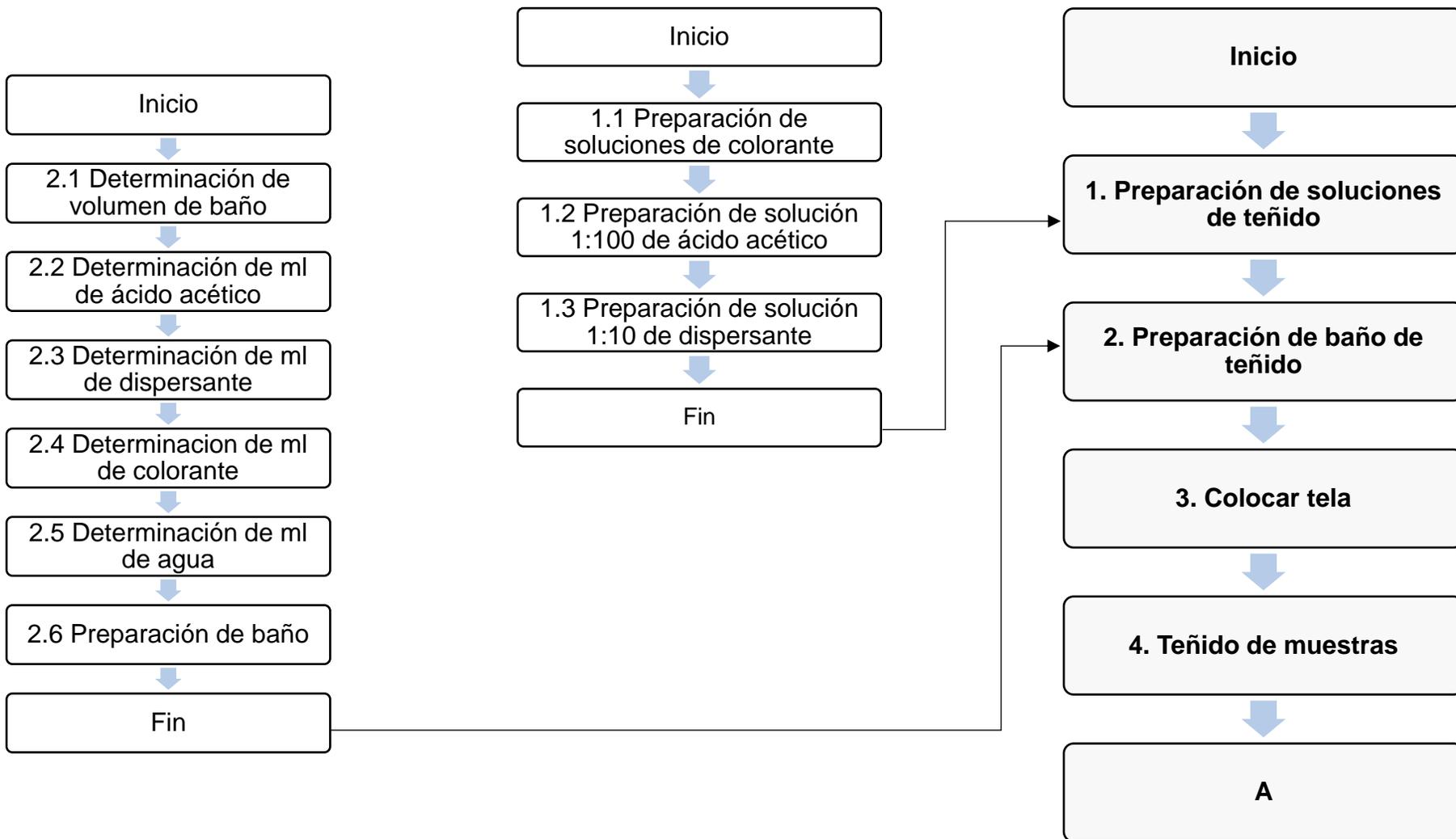
Tabla No. 6 Insumos utilizados en el proceso de tinción de muestras

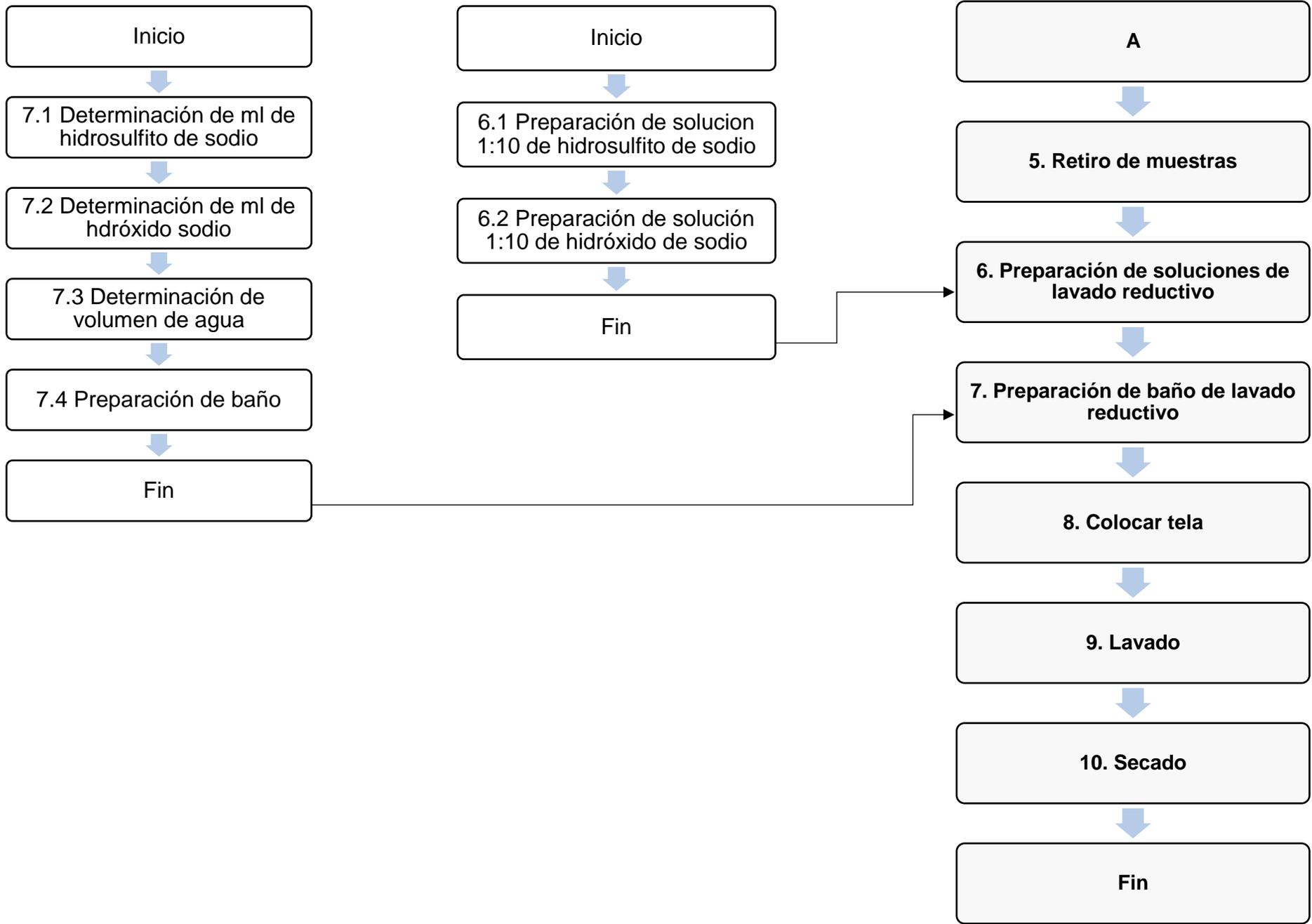
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Uso</b>
Ácido acético glacial CH <sub>3</sub> COOH	Líquido incoloro Concentrado Ácido débil	Regulador del pH en baño de color
Dispersante	Farmasperse Líquido color café translúcido.	Ayuda a la dispersión del colorante dentro del baño de color.
Hidrosulfito de sodio Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Sólido en polvo color blanco	Agente reductor adicionado al baño para el lavado de muestras.
Hidróxido de sodio NaOH	Sólido en escamas color blanco translúcido Base fuerte	Adicionadas para crear un medio básico en el baño de lavado de muestras

Fuente: elaboración propia

### 3.3 Procedimiento

Diagramadora: Amanda Ríos





## Descripción del proceso

1. Preparación de soluciones de teñido: antes de realizar el teñido se prepararon tres soluciones, las cuales son la solución del colorante, solución de ácido acético y solución de dispersante.

### 1.1. Preparación de solución del colorante

Para cada formulación se preparó en un erlenmeyer una solución 1:10 para colorante al 2%, 1:100 para colorante al 0.1% y 1:1000 para colorante a 0.01%. Adicionando primero el agua y el colorante según la tabla.

Tabla No. 7 Cantidades de colorante y agua para soluciones a una relación 1:10, 1:100 y 1:1000

<b>Relación</b>	<b>Colorante</b>	<b>Volumen agua (ml)</b>
1:10	1 g	10
1:100	1 g	100
1:1000	1 ml de solución 1:10	100

Fuente: elaboración propia

Se agitó con la ayuda de un agitador magnético durante dos minutos o hasta obtener una solución homogénea.

### 1.2. Preparación de solución 1:100 de ácido acético

Se midió 100 ml de agua y se adicionó 1 ml de ácido acético concentrado. Agitar.

### 1.3. Preparación de solución 1:10 de dispersante

Se midió 10 ml de agua y adicionó 1 ml de dispersante Farmasperse. Agitar.

## 2. Preparación de baño de teñido

2.1. Se determinó el volumen de baño para una relación 1:10 (relación tela – líquido del baño). Para 5g de tela se necesitan 50 ml de baño.

2.2. Se determinó los ml de solución 1:100 de ácido acético a adicionar en el baño para obtener una concentración de 0.8 g/L mediante la siguiente operación:

$$0.8 \frac{g}{L} * 50 \text{ ml (volumen de baño)} * \frac{1L}{1000 \text{ ml}} * \frac{100 \text{ ml}}{1 \text{ g}}$$

2.3. Se determinó los ml de solución 1:10 de dispersante a adicionar en el baño para una obtener una concentración de 1g/L mediante la siguiente operación:

$$1 \frac{g}{L} * 50 \text{ ml (volumen del baño)} * \frac{1L}{1000 \text{ ml}} * \frac{10 \text{ ml}}{1 \text{ g}}$$

2.4. Se determinó los ml de colorante a adicionar en el baño para cada formulación mediante las siguientes operaciones:

- 2%

$$5g * 0.02 * \frac{10 \text{ ml}}{1 \text{ g}} = 1ml$$

- 0.1%

$$5g * 0.001 * \frac{100 \text{ ml}}{1 \text{ g}} = 0.5ml$$

- 0.01%

$$5g * 0.0001 * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ g}} = 0.5ml$$

2.5. Se determinó el volumen de agua a adicionar en baño por diferencia del volumen del baño y volúmenes de reactivos y colorantes.

- 2.6. Se preparó el baño adicionando agua, ml de solución de ácido acético, ml de solución de dispersante y ml de solución de colorantes desde menor concentración a mayor en el orden mencionado. Se preparó el baño para 12 beakers por tasa de calentamiento por formulación de color para experimentación 1 y para 5 beakers por metodología de calentamiento por formulación de color para experimentación 2.
3. Colocar tela: se colocaron 5 g de tela a cada uno de los beakers con el baño preparado.
4. Teñido de muestras:

#### **Experimento 1**

Se inició el procedimiento de teñido a 30°C, si era necesario se calentó en máquina. Se ingresaron las condiciones en el programa manual de la máquina de teñido AHIBA a las cuales trabajó el equipo. Por cada una de las formulaciones de color se trabajaron tres corridas con diferente tasa de calentamiento.

Tabla No. 8 Condiciones de trabajo a establecer en la máquina en cada corrida

<b>Corrida</b>	<b>Condiciones</b>	
1	Temperatura final	130°C
	Revoluciones	9 rev/min
	Tasa de calentamiento	1°C/min
2	Temperatura final	130°C
	Revoluciones	9 rev/min
	Tasa de calentamiento	2°C/min
3	Temperatura final	130°C
	Revoluciones	9 rev/min
	Tasa de calentamiento	4°C/min

Fuente: elaboración propia

## Experimento 2

### *Proceso actual*

Se inició el procedimiento de teñido a 30°C, si es necesario se calentó en máquina. Se ingresaron las condiciones en el programa manual de la máquina de teñido AHIBA a las cuales trabajó el equipo. Se realizó el mismo procedimiento para las seis formulaciones.

Condiciones	
Temperatura final	130°C
Revoluciones	9 rev/min
Tasa de calentamiento	1°C/min

Fuente: elaboración propia

### *Proceso diseñado*

Se ingresó en el programa manual las condiciones de teñido establecidas con los resultados obtenidos al terminar el proceso para el experimento 1. Se realizó el mismo procedimiento para las seis formulaciones.

Condiciones	
Rango de Temperatura (°C)	Tasa de calentamiento (°C/min)
30 - 70	4
70 - 100	2
100 - 130	1
130	-

Fuente: elaboración propia

## 5. Retiro de muestras:

### **Experimento 1**

Se midió el tiempo indicado en la siguiente tabla con un cronometro para cada corrida desde 30°C. Al finalizar el tiempo se retiró uno de los 12 beakers y se continuó el calentamiento de la misma forma hasta llegar a 130°. Se anotó la temperatura al finalizar el tiempo para cada beaker.

Tabla No. 9 Tiempo de aumento de temperatura según corrida.

<b>Corrida</b>	<b>Tasa de calentamiento</b>	<b>Tiempo</b>
1	1°C/min	10 min
2	2°C/min	5 min
3	4°C/min	2.5 min

Fuente: elaboración propia

Al llegar a 130°C se permitió un tiempo de permanencia de 45 minutos para el beaker número 12.

## **Experimento 2**

### *Proceso actual*

Se permitió el calentamiento de los cinco beakers hasta 130°C y se retiró uno por uno cada 15 minutos desde tiempo 0 hasta 60 minutos.

### *Proceso diseñado*

Se permitió el calentamiento de los cinco beakers hasta 130°C y se retiró uno por uno cada 15 minutos desde tiempo 0 hasta 60 minutos.

## 6. Preparación de soluciones de lavado reductivo

### 6.1. Preparación de solución 1:10 de hidrosulfito de sodio

Se pesó 1g de hidrosulfito de sodio y se disolvió en 10 ml de agua.

### 6.2. Preparación de solución 1:10 de hidróxido de sodio

Se pesó 1g de hidróxido de sodio y se disolvió en 10ml de agua.

## 7. Preparación de baño de lavado reductivo

Se utilizó el mismo volumen de baño que en el proceso de teñido.

7.1. Se determinó los ml de solución 1:10 de hidrosulfito de sodio a adicionar en el baño para una concentración de 2g/L mediante la siguiente operación:

$$2 \frac{g}{L} * 50 \text{ ml (agua en el baño)} * \frac{1L}{1000 \text{ ml}} * \frac{10 \text{ ml}}{1 \text{ g}}$$

7.2. Se determinó los ml de solución 1:10 de hidróxido de sodio a adicionar en el baño para una concentración de 1g/L mediante la siguiente operación:

$$1 \frac{g}{L} * 50 \text{ ml (agua en el baño)} * \frac{1L}{1000 \text{ ml}} * \frac{10 \text{ ml}}{1 \text{ g}}$$

7.3. Se determinó el volumen de agua a adicionar en baño por diferencia de volumen del baño y volúmenes de reactivos.

7.4. Se preparó el baño adicionando agua, ml de solución 1:10 de hidrosulfito de sodio y ml de solución 1:10 de hidróxido de sodio. Preparar el baño para 12 beakers por tasa de calentamiento por formulación de color para experimentación 1 y para 5 beakers por metodología de calentamiento por formulación de color para experimentación 2.

8. Colocar tela: se colocó la mitad de la muestra de tela teñida para cada uno de los experimentos en los pasos anteriores.

9. Lavado: se calentaron los beakers con baño de lavado en máquina de teñido AHIBA hasta 80°C y mantener temperatura por 20 minutos. Se enfrió y se retiraron muestras. Se lavó con abundante agua.

10. Secado: se identificó cada muestra y se dejó secar antes de analizar con el colorímetro.

### 3.4 Diseño y metodología estadística

#### 3.4.1 Diseño experimental

##### » Experimentos

##### **Experimento 1:** aumento de temperatura en el baño

En este experimento se buscó determinar la influencia de la tasa de cambio de la temperatura en el tiempo para elevar la temperatura del baño de tinción desde la temperatura ambiente hasta 130°C. El fin de este experimento es el análisis de la tinción del poliéster con respecto a la temperatura y tasa de calentamiento del baño, con lo cual se pretende diseñar un proceso de calentamiento alternativo al empleado actualmente que disminuya el tiempo de calentamiento sin afectar los resultados finales.

##### **Experimento 2:** tiempo de permanencia en baño

Experimento para determinar el tiempo mínimo de permanencia de la tela en el baño de tinción, donde se logre el agotamiento de los colorantes en la tricromía. El fin de este experimento es optimizar el tiempo de teñido a 130°C para no incurrir en costos innecesarios al alargar el tiempo de permanencia en baño.

##### » Tratamientos y repeticiones en los experimentos

##### Tratamientos

- Experimento 1: para este experimento se modificó la tasa de calentamiento por minuto a la cual se calienta el baño. Se utilizó una tasa de 1°C/min, 2°C/min y 4°C/min para cada una de las seis formulaciones de colores en tricromías.
- Experimento 2: en este experimento se elevó la temperatura hasta 130°C mediante el proceso actual utilizado por la empresa y el diseñado en el experimento 1 para cada una de las seis formulaciones. Las muestras se sacaron a los 15

minutos, 30 minutos, 45 minutos y 60 minutos. Cada una de las muestras se comparó con una muestra patrón para determinar en qué punto se dio el agotamiento de la tricromía.

#### Repeticiones en los experimentos

- Experimento 1: en el experimento se utilizaron 12 beakers por cada una de las tres corridas para cada una de las seis formulaciones. Cada uno de los 12 beakers se retiró del calentamiento cada 10°C aproximadamente. Esta metodología solo se realizó una vez por formulación.
- Experimento 2: en este experimento se utilizaron 5 beakers por cada una de las tres corridas por formulación por cada metodología, donde todos fueron calentados mediante el procedimiento respectivo simultáneamente. Estos se retiraron cada 15 minutos desde 0 hasta llegar a 60 minutos. Este procedimiento fue realizado una vez por formulación.

#### 3.4.2 Descripción de las unidades experimentales

**Formulación 1:** tricromía de colores primarios donde el amarillo se encuentra en mayor porcentaje y el azul en menor porcentaje. Se nombra como amarillo 1.

**Formulación 2:** tricromía de colores primarios donde el amarillo se encuentra en mayor porcentaje y el rojo en menor porcentaje. Se nombra como amarillo 2.

**Formulación 3:** tricromía de colores primarios donde el rojo se encuentra en mayor porcentaje y el azul en menor porcentaje. Se nombra como rojo 1.

**Formulación 4:** tricromía de colores primarios donde el rojo se encuentra en mayor porcentaje y el amarillo en menor porcentaje. Se nombra como rojo 2.

**Formulación 5:** tricromía de colores primarios donde el azul se encuentra en mayor porcentaje y el rojo en menor porcentaje. Se nombra como azul 1.

**Formulación 6:** tricromía de colores primarios donde el azul se encuentra en mayor porcentaje y el amarillo en menor porcentaje. Se nombra como azul 2.

### 3.4.3 Variables respuesta

Tabla No. 10 Descripción de experimentos y variables respuesta de los mismos

Número de experimento	Descripción	Variable respuesta
1	Determinación del efecto de la modificación de la tasa de calentamiento del baño, desde temperatura ambiente hasta 130°C, en el teñido de tela 100% poliéster.	Diferencia de color, $\Delta a$ y $\Delta b$ , de la muestra respecto al blanco a diferentes temperaturas.
2	Determinación del tiempo mínimo para lograr el agotamiento del colorante, en el baño, en la tinción de telas 100% poliéster basándose en los resultados del experimento 1.	Diferencia, $\Delta E$ , de la muestra a diferentes tiempos respecto a la muestra patrón.

Fuente: elaboración propia

### 3.4.4 Metodología de análisis

#### » Medidas de tendencia central

La finalidad del análisis estadístico de datos es obtener información sobre las variables que se consideren y los datos existentes. Las medidas de tendencia central o centralización tratan de estudiar los valores en torno a los cuales se distribuye los datos. Las medidas más importantes de tendencia central son la media, la moda y la mediana.

#### *Media*

Esta se define como el cociente entre la suma de los datos y la cantidad de datos presentes. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Ecuación No. 2 Media aritmética

Dónde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$N$  = el número de datos presentes

$x_i$  = dato de la serie

#### *Mediana*

Se define esta como el valor de la variable la cual divide la distribución en dos partes iguales, una vez esta se encuentre ordenada.

#### *Moda*

Es el valor de la variable que se repite mayor número de veces a lo largo de la distribución.

» Desviación estándar

Se encuentra entre una de las medidas de dispersión y se describe matemáticamente como la raíz cuadrada de la varianza. La desviación estándar es el promedio de desviación de las puntuaciones con respecto a la media. Esta medida se expresa en las unidades originales de medición de la distribución. Se interpreta con relación a la media, cuanto mayor sea la dispersión de los datos alrededor de la media mayor será la desviación estándar.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N}$$

Ecuación No. 3 Desviación estándar

Dónde:

$\sigma$  = desviación estándar

$\bar{x}$  = media aritmética de los datos

$N$  = el número de datos presentes

$x_i$  = dato de la serie

Tabla No. 11 Metodología de análisis para cada uno de los experimentos en el estudio

<b>Experimento</b>	<b>Factor analizado</b>	<b>Metodología de análisis</b>	<b>Descripción</b>
1	Tasa de calentamiento experimental de cada corrida en las seis formulaciones de color	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Media</li> <li>- Moda</li> <li>- Desviación estándar</li> </ul>	Determinación de la desviación de las corridas respecto al dato teórico deseado.
1	Absorción del color en las fibras de la tela	- Gráfica de $\Delta a^*$ y $\Delta b^*$ utilizando como referencia una tela blanca sin teñir.	Determinación del comportamiento de los colorantes en función de la tasa de calentamiento en cada formulación
2	Agotamiento del colorante en la tela utilizando la metodología diseñada y la actual	- Diferencia total del color ( $\Delta E$ ) a diferentes tiempos con un valor menor o igual a 1.5 para aceptar la muestra.	Determinación del tiempo mínimo de permanencia en baño a 130°C utilizando la metodología diseñada y la actual para lograr el agotamiento del color.

Fuente: elaboración propia

#### IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### EXPERIMENTO 1

Tabla No. 12 Tabla resumen de moda, media y desviación estándar para escalas de calentamiento experimentales

Color	Escala de calentamiento	Moda	Media	Desviación estándar
Amarillo 1	1°C/min	0.99, 1.01	0.99	0.06
	2°C/min	2.00	1.98	0.15
	4°C/min	3.76	3.93	0.22
Amarillo 2	1°C/min	1.02	1.00	0.06
	2°C/min	2.02, 1.80	1.99	0.14
	4°C/min	4.12	3.93	0.40
Rojo 1	1°C/min	0.99, 1.02	1.00	0.05
	2°C/min	1.96	1.99	0.12
	4°C/min	3.84, 4.00, 4.04	3.96	0.22
Rojo 2	1°C/min	0.98	1.00	0.04
	2°C/min	2.02	1.99	0.15
	4°C/min	4.08	3.98	0.22
Azul 1	1°C/min	0.98, 1.01, 1.02	1.00	0.03
	2°C/min	1.98, 2.06	2.00	0.06
	4°C/min	4.00	4.00	0.32
Azul 2	1°C/min	1.01	1.00	0.03
	2°C/min	1.98	2.00	0.05
	4°C/min	3.96	4.00	0.06

Fuente: elaboración propia

Gráficos de  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  para cada uno de las seis formulaciones, medido en muestras cada 10°C hasta 130°C, a una tasa de calentamiento de 1°C/min, 2°C/min y 4°C/min y una muestra final a 130°C después de 45 minutos de permanencia en baño.

## Amarillo 1

Gráfico No. 1  $\Delta a^*$  para color amarillo 1

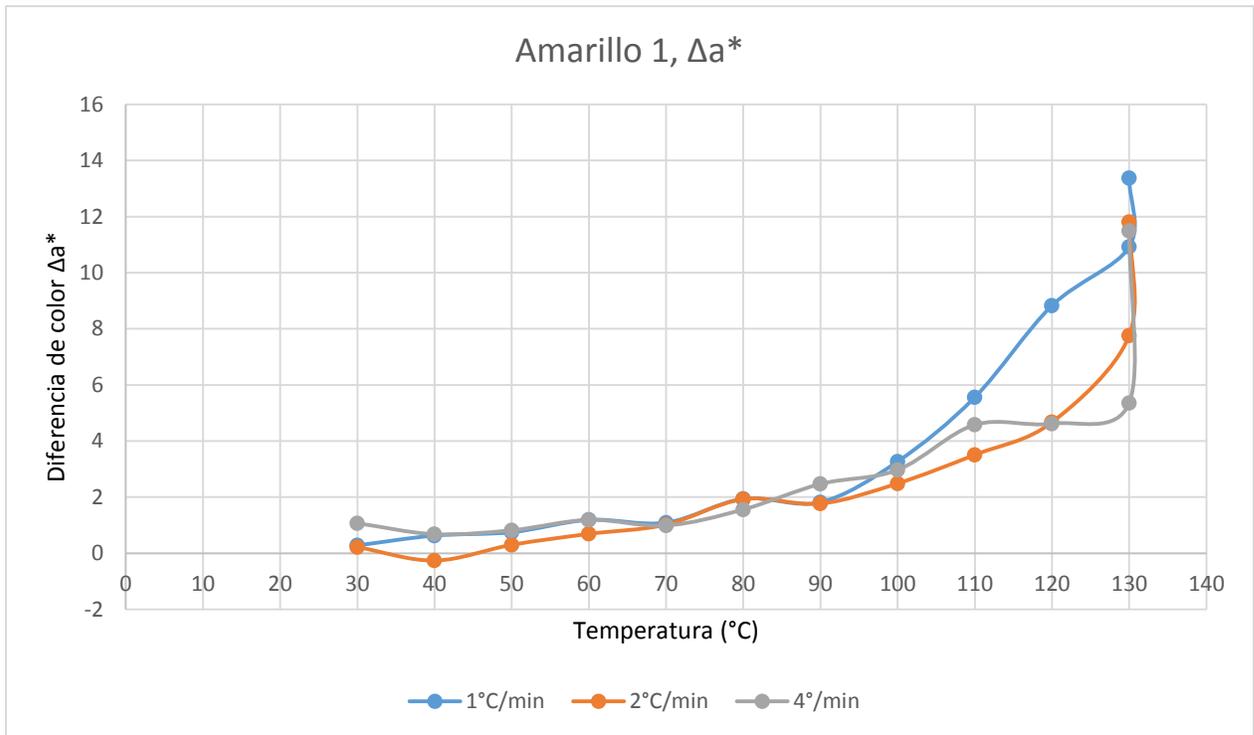
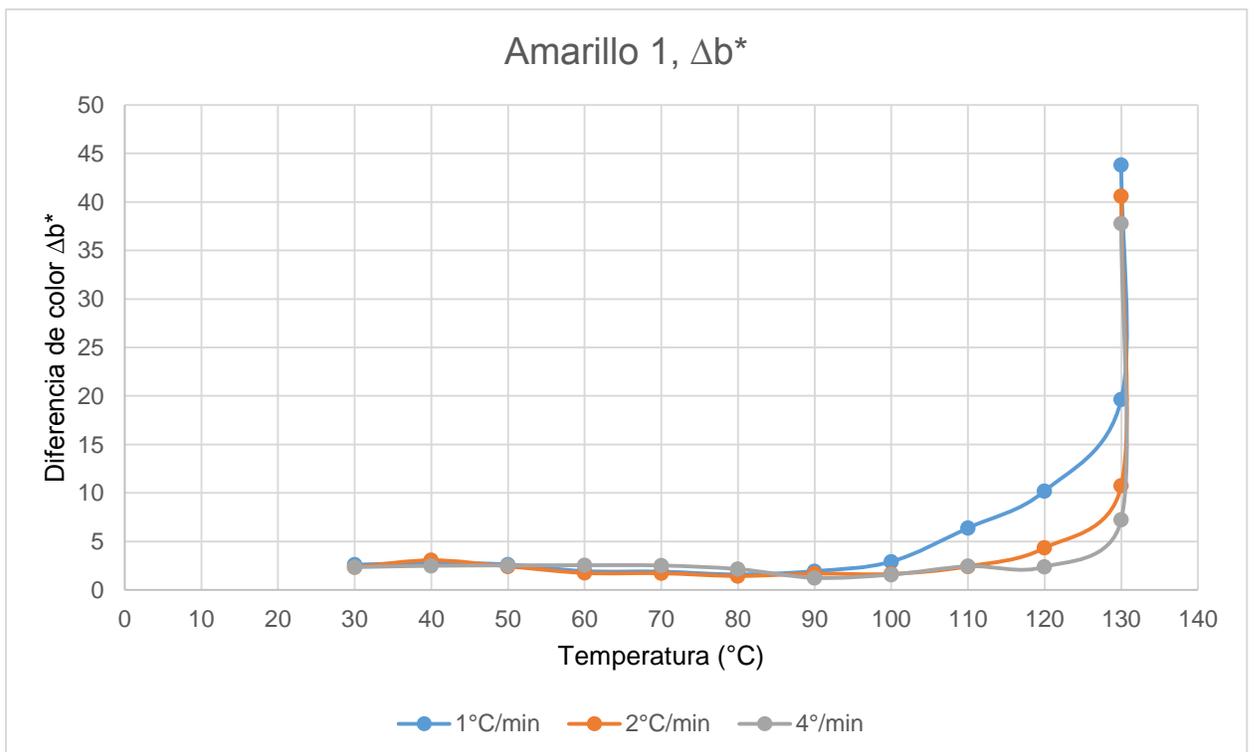


Gráfico No. 2  $\Delta b^*$  para color amarillo 1



## Amarillo 2

Gráfico No. 3  $\Delta a^*$  para color amarillo 2

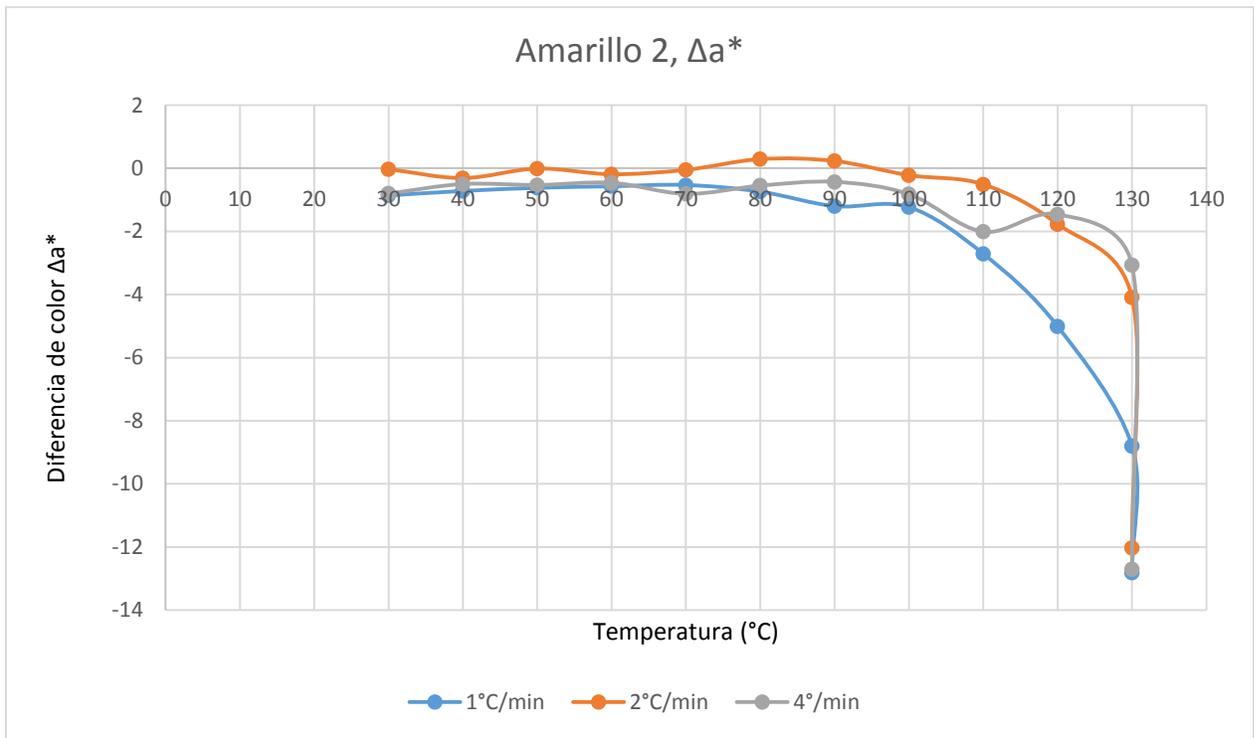
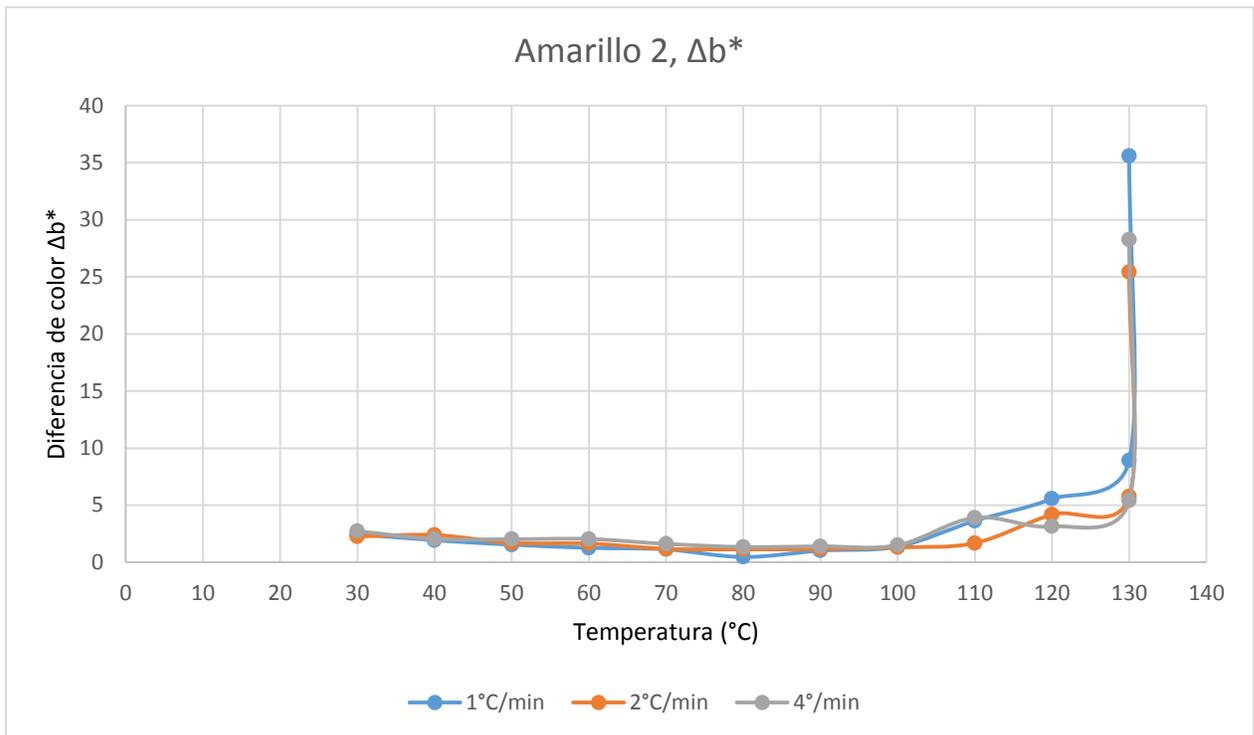


Gráfico No. 4  $\Delta b^*$  para color amarillo 2



## Rojo 1

Gráfico No. 5  $\Delta a^*$  para color rojo 1

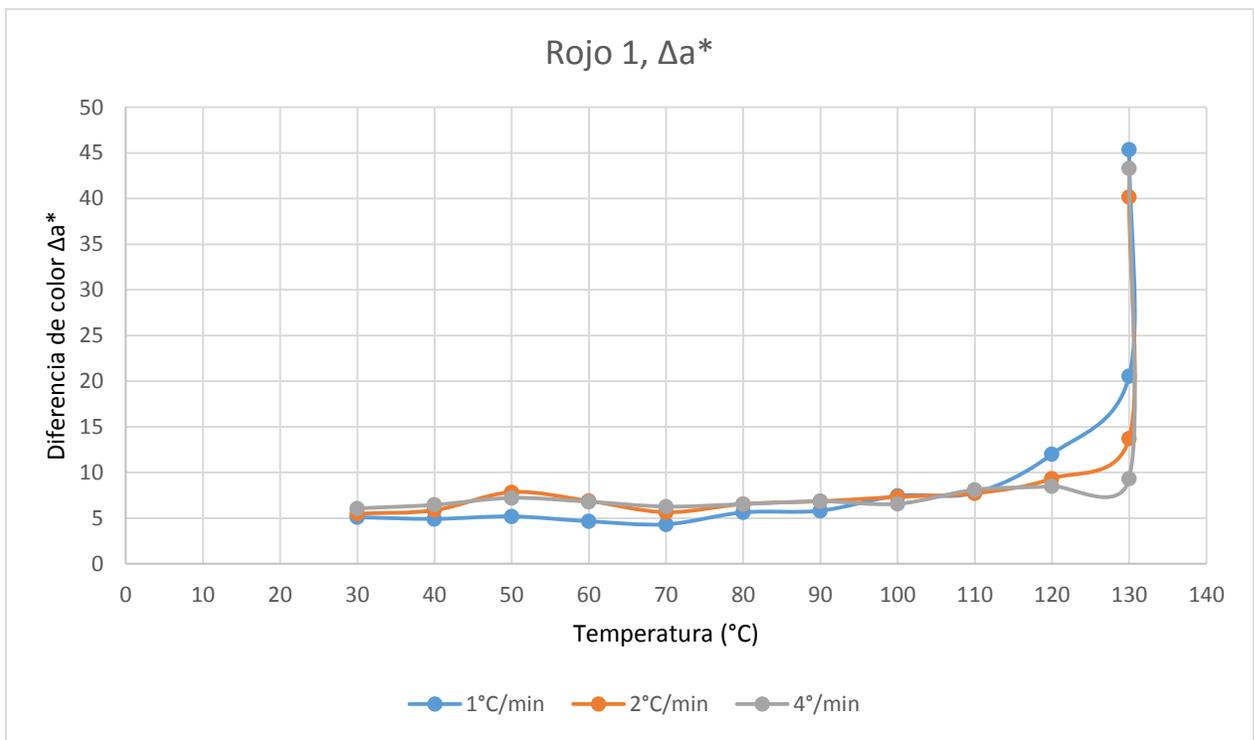
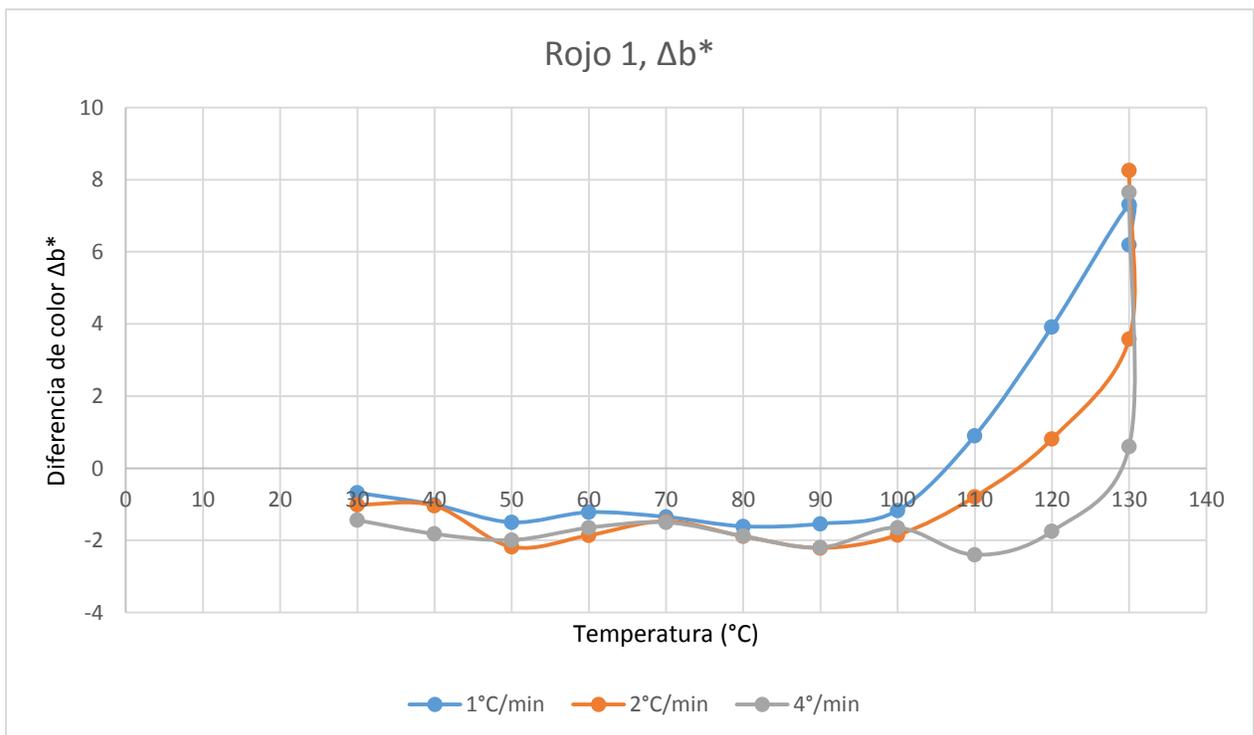


Gráfico No. 6  $\Delta b^*$  para color rojo 1



## Rojo 2

Gráfico No. 7  $\Delta a^*$  para color rojo 2

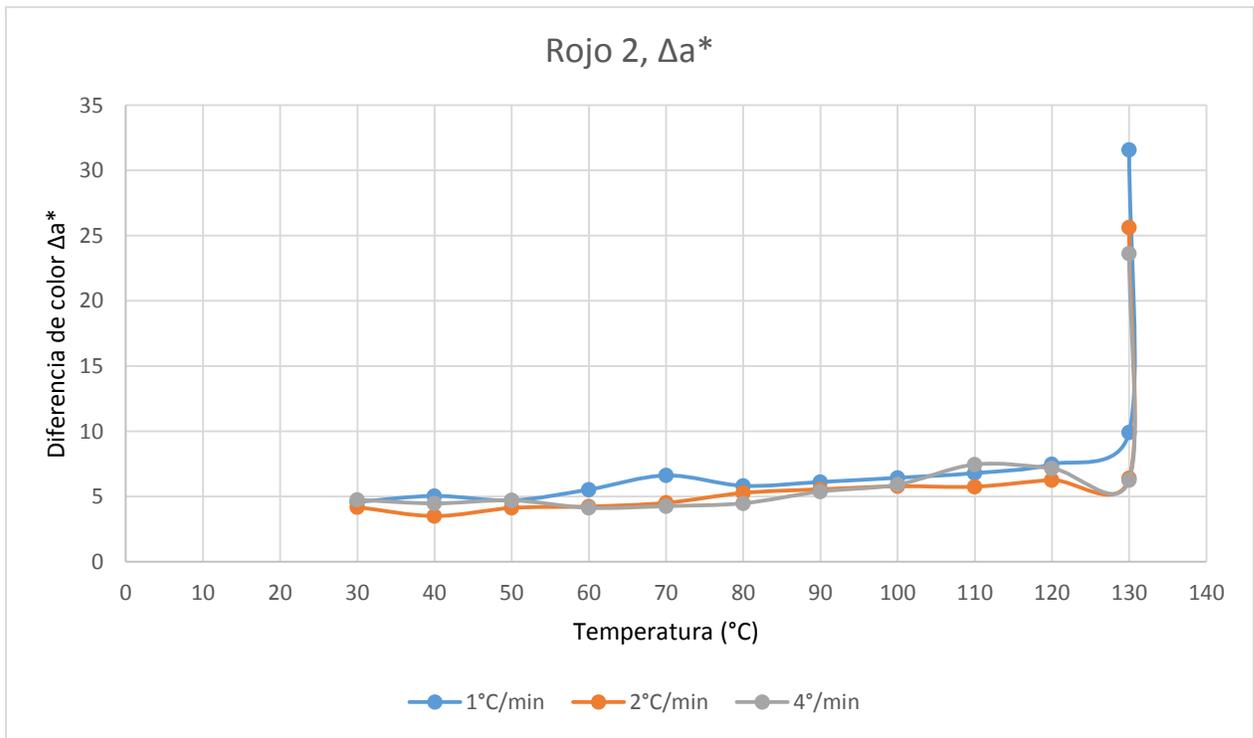
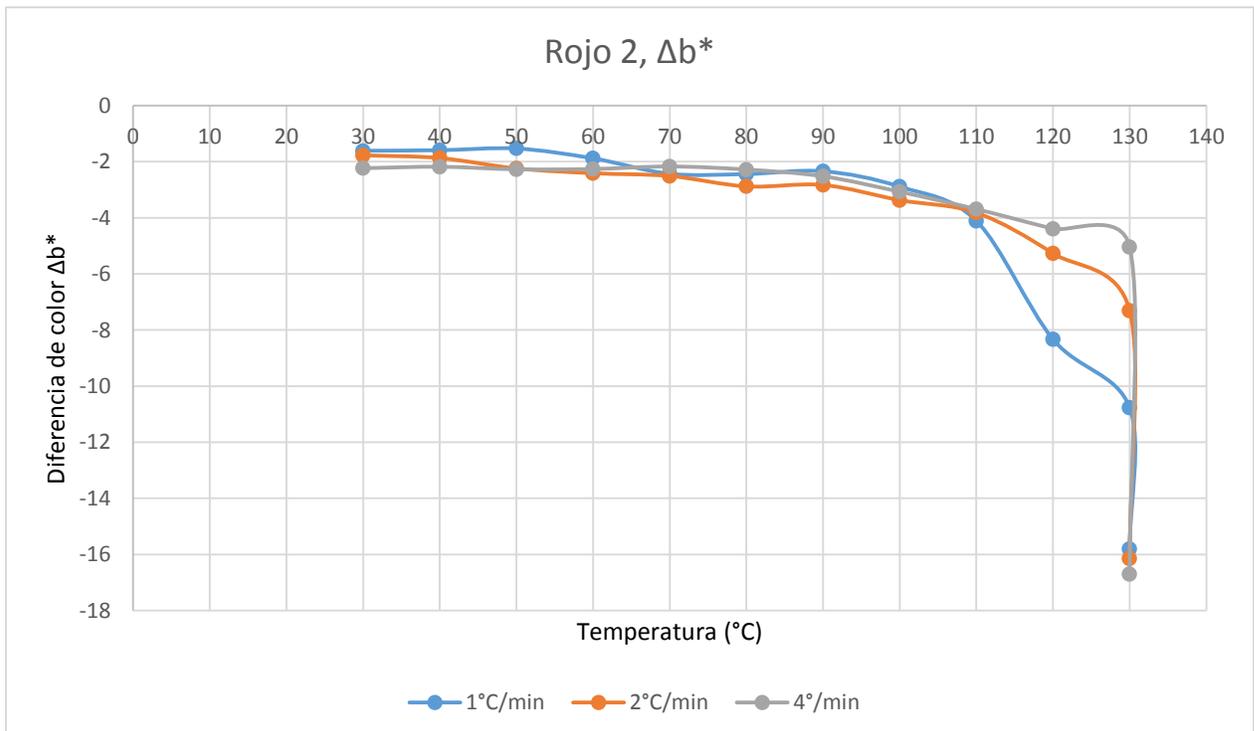


Gráfico No. 8  $\Delta b^*$  para color rojo 2



## Azul 1

Gráfico No. 9  $\Delta a^*$  para color azul 1

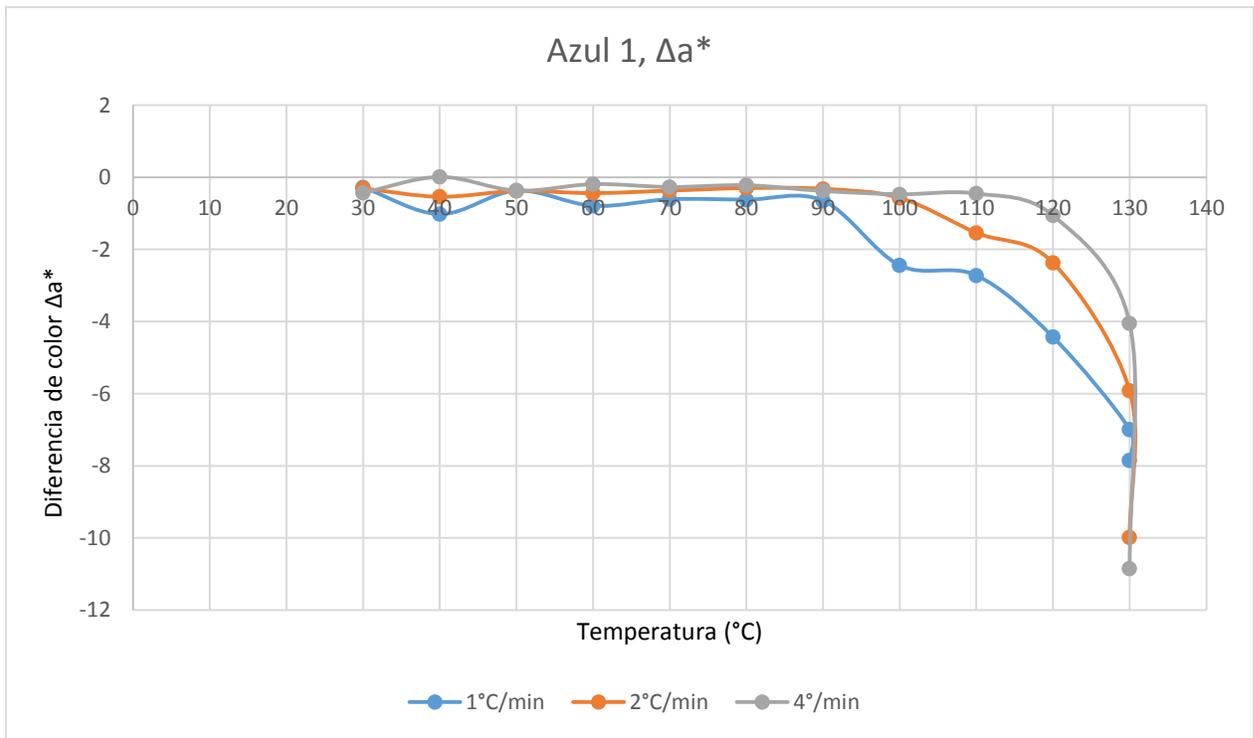
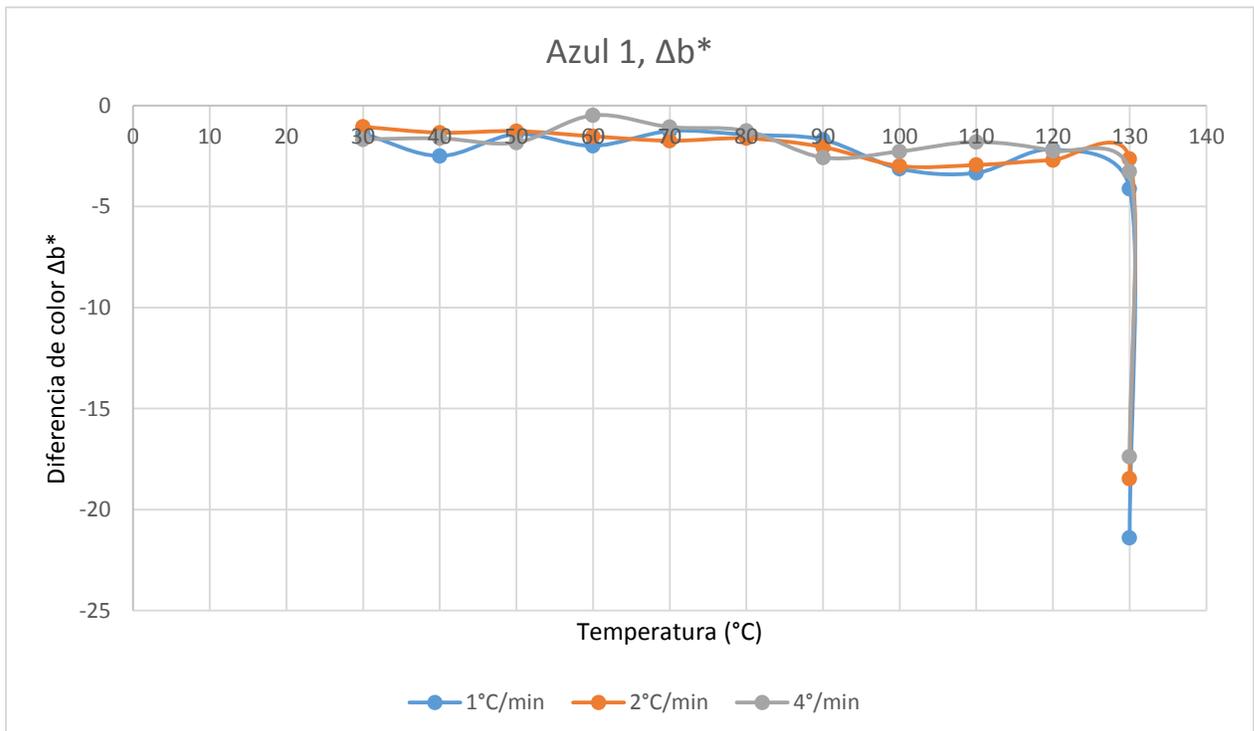


Gráfico No. 10  $\Delta b^*$  para color azul 1



## Azul 2

Gráfico No. 11  $\Delta a^*$  para color azul 2

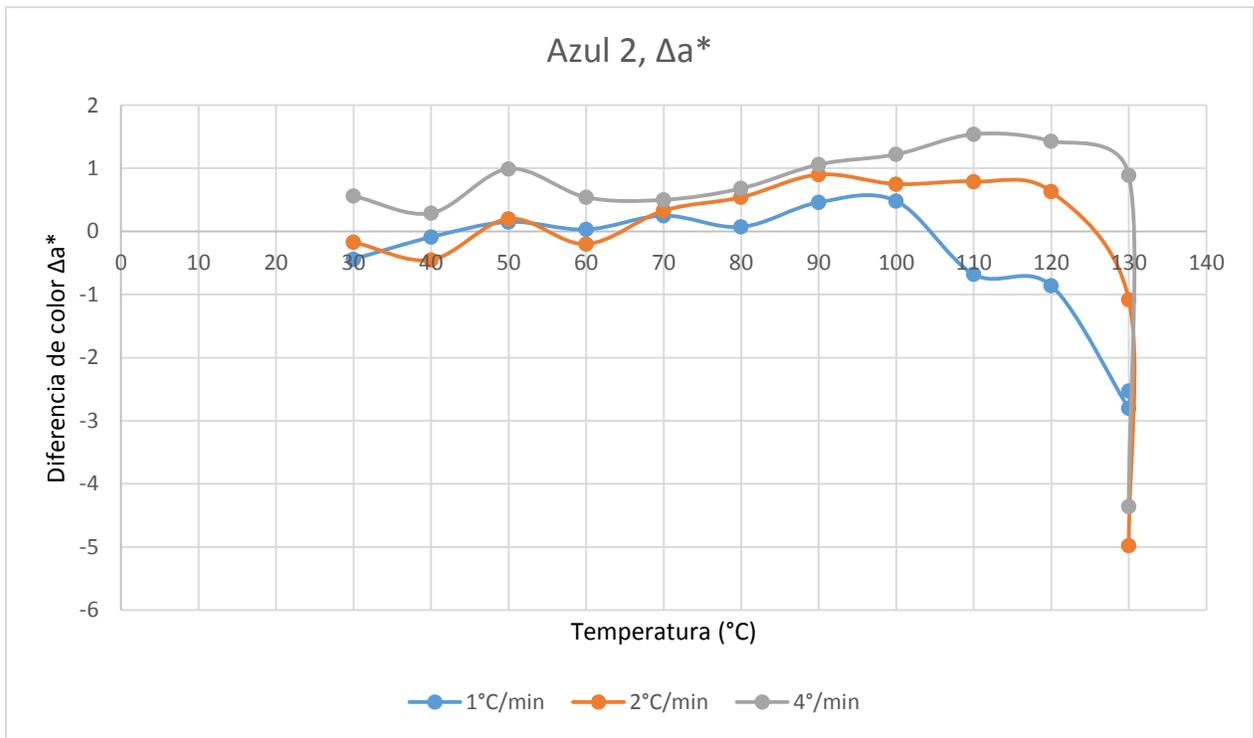
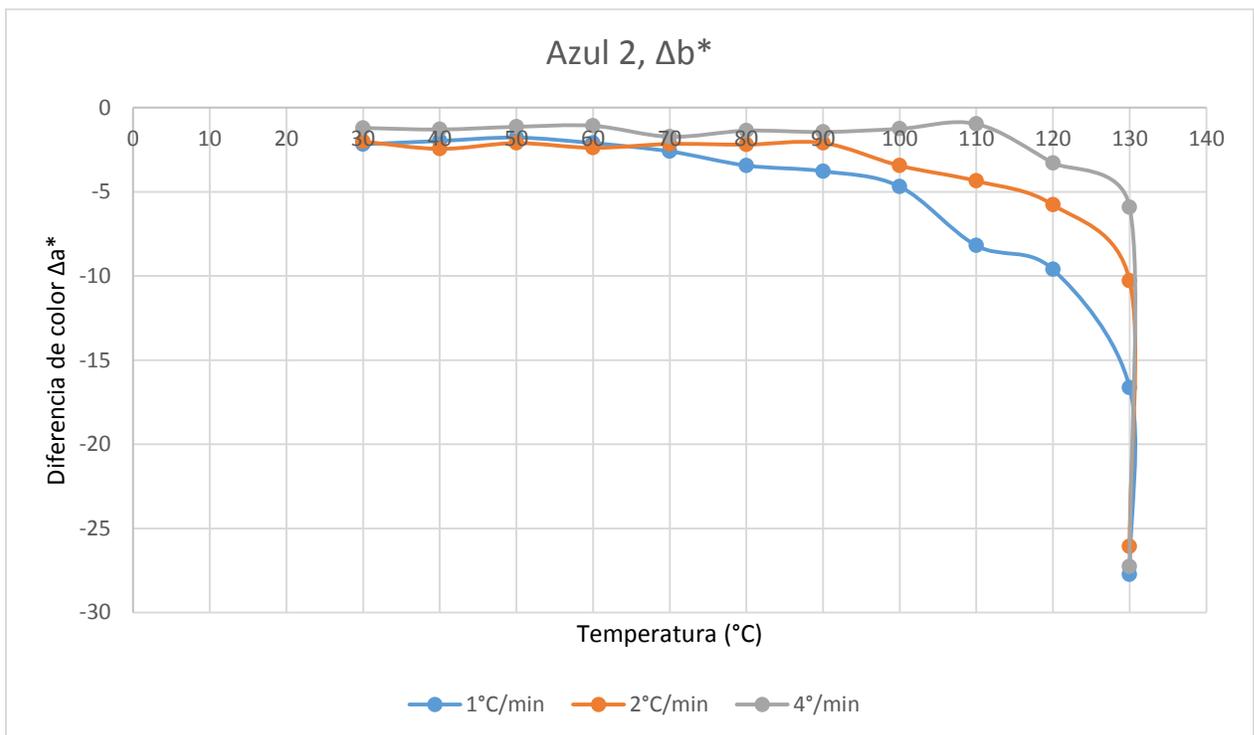


Gráfico No. 12  $\Delta b^*$  para color azul 2



## PROCESO DE AUMENTO DE TEMPERATURA

Tabla No. 13 Procedimiento diseñado para el aumento de temperatura de baño a partir de los resultados del experimento 1

Procedimiento actual			Procedimiento diseñado (escala)		
Rango de Temperatura (°C)	Tasa de calentamiento (°C/min)	Tiempo (min)	Rango de Temperatura (°C)	Tasa de calentamiento (°C/min)	Tiempo (min)
30 - 130	1	100	30 - 70	4	10
130	-	60	70 - 100	2	15
			100 - 130	1	30
			130	-	60

Fuente: elaboración propia

## EXPERIMENTO 2

### Amarillo 1

Tabla No. 14 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color amarillo 1.

	Blanco	130 °C	130 °C	130 °C	130 °C
Tiempo		0 min	15 min	30 min	45 min
$\Delta L^*$	65.32	-1.03	-1.21	-0.33	-0.17
$\Delta a^*$	22.87	1.42	2.19	1.83	2.30
$\Delta b^*$	57.46	-3.90	-1.09	0.06	0.51
$\Delta c^*$	58.68	-3.49	-0.57	0.46	1.01
$\Delta H^*$	78.33	-2.25	-2.37	-1.77	-2.13
$\Delta E$		4.28	2.73	1.86	2.36
		Fail	Fail	Fail	Fail

Tabla No. 15 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color amarillo 1.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	65.32	1.49	1.14	-1.67	0.57	1.25
$\Delta a^*$	22.87	1.63	1.49	0.93	1.64	0.01
$\Delta b^*$	57.46	-0.71	-0.66	-0.99	0.45	0.79
$\Delta c^*$	58.68	-0.33	-0.32	-0.77	0.79	0.77
$\Delta H^*$	78.33	-1.75	-1.59	-1.12	-1.51	0.15
$\Delta E$		2.32	1.99	2.16	1.80	1.48
		Fail	Fail	Fail	Fail	Pass

### Amarillo 2

Tabla No. 16 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color amarillo 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>
$\Delta L^*$	58.90	1.29	1.46	0.09	-1.49
$\Delta a^*$	-11.50	-1.10	-0.21	0.64	0.45
$\Delta b^*$	42.74	2.02	3.88	3.00	1.38
$\Delta c^*$	44.26	2.24	3.80	2.75	1.22
$\Delta H^*$	105.06	0.52	-0.78	-1.36	-0.78
$\Delta E$		2.64	4.15	3.07	2.08
		Fail	Fail	Fail	Fail

Tabla No. 17 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color amarillo 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	58.90	-2.33	-0.97	-1.14	-1.05	-1.01
$\Delta a^*$	-11.50	0.25	0.30	0.41	0.65	0.77
$\Delta b^*$	42.74	0.14	2.46	2.24	2.27	2.73
$\Delta c^*$	44.26	0.08	2.31	2.07	2.04	2.45
$\Delta H^*$	105.06	-0.27	-0.91	-0.95	-1.19	-1.41
$\Delta E$		2.35	2.66	2.54	2.59	3.01
		Fail	Fail	Fail	Fail	Fail

### Rojo 1

Tabla No. 18 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color rojo 1.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>
$\Delta L^*$	45.92	1.74	-0.95	-0.44	-0.39
$\Delta a^*$	48.31	1.94	0.95	1.04	1.37
$\Delta b^*$	9.39	0.15	-0.29	0.43	0.43
$\Delta c^*$	49.21	1.94	0.88	1.11	1.43
$\Delta H^*$	11.00	-0.22	-0.46	0.22	0.16
$\Delta E$		2.61	1.37	1.21	1.49
		Fail	Pass	Pass	Pass

Tabla No. 19 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color rojo 1.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	45.92	1.14	1.14	0.68	0.74	-0.72
$\Delta a^*$	48.31	0.94	1.79	1.62	0.99	-0.16
$\Delta b^*$	9.39	-0.34	-0.32	-0.07	0.02	-0.15
$\Delta c^*$	49.21	0.86	1.70	1.58	0.97	-0.18
$\Delta H^*$	11.00	-0.51	-0.64	-0.37	-0.17	-0.12
$\Delta E$		1.51	2.14	1.76	1.23	0.75
		Fail	Fail	Fail	Pass	Pass

### Rojo 2

Tabla No. 20 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color rojo 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>
$\Delta L^*$	38.54	0.07	-1.33	-1.08	-1.46
$\Delta a^*$	32.99	0.64	0.33	-0.41	0.17
$\Delta b^*$	-12.01	-0.35	0.32	0.63	-0.06
$\Delta c^*$	35.11	0.72	0.20	-0.60	0.18
$\Delta H^*$	339.99	-0.11	0.41	0.45	0.00
$\Delta E$		0.73	1.41	1.31	1.47
		Pass	Pass	Pass	Pass

Tabla No. 21 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color rojo 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	38.54	1.12	0.62	-1.33	0.19	0.20
$\Delta a^*$	32.99	0.89	1.24	0.28	0.66	0.12
$\Delta b^*$	-12.01	0.12	0.02	0.41	0.66	0.44
$\Delta c^*$	35.11	0.80	1.16	0.12	0.41	-0.03
$\Delta H^*$	339.99	0.41	0.43	0.48	0.84	0.46
$\Delta E$		1.43	1.38	1.42	0.95	0.50
		Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

### Azul 1

Tabla No. 22 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color azul 1.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>
$\Delta L^*$	21.15	-0.48	-0.87	0.27	0.90
$\Delta a^*$	-1.10	0.40	0.61	0.64	0.20
$\Delta b^*$	-16.97	2.09	1.85	0.84	-0.02
$\Delta c^*$	17.00	-2.10	-1.87	-0.87	0.01
$\Delta H^*$	266.30	0.28	0.52	0.60	0.20
$\Delta E$		2.18	2.13	1.09	0.92
		Fail	Fail	Pass	Pass

Tabla No. 23 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color azul 1.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	21.15	1.05	1.87	1.24	1.16	0.78
$\Delta a^*$	-1.10	0.30	-0.72	-0.02	-0.34	-0.32
$\Delta b^*$	-16.97	-1.40	-2.02	-1.23	-1.51	-0.89
$\Delta c^*$	17.00	1.38	2.07	1.23	1.53	0.91
$\Delta H^*$	266.30	0.38	-0.55	0.06	-0.24	-0.25
$\Delta E$		1.77	2.85	1.74	1.93	1.22
		Fail	Fail	Fail	Fail	Pass

### Azul 2

Tabla No. 24 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 130°C en diferentes tiempos a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas a 1°C/min de calentamiento a diferentes tiempos, desde 0 a 45 minutos, a 130 °C para el color azul 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>	<b>130 °C</b>
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>
$\Delta L^*$	21.27	0.93	-0.71	-0.47	0.42
$\Delta a^*$	2.39	-0.45	0.26	0.25	0.11
$\Delta b^*$	-20.68	-2.12	1.15	1.03	-1.05
$\Delta c^*$	20.82	2.07	-1.11	-0.99	1.06
$\Delta H^*$	276.59	-0.66	0.40	0.37	-0.01
$\Delta E$		2.36	1.38	1.16	1.14
		Fail	Pass	Pass	Pass

Tabla No. 25 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 130°C en diferentes tiempos con escala.

Lecturas con el colorímetro tomando como referencia la muestra teñida a 1°C/min de calentamiento hasta 130°C y manteniendo temperatura por 60 minutos, para las muestras teñidas utilizando la escala de calentamiento diseñada a diferentes tiempos, desde 0 a 60 minutos, a 130 °C para el color azul 2.

	<b>Blanco</b>	<b>130 °C</b>				
<b>Tiempo</b>		<b>0 min</b>	<b>15 min</b>	<b>30 min</b>	<b>45 min</b>	<b>60 min</b>
$\Delta L^*$	21.27	1.36	-0.97	-1.41	-1.01	0.81
$\Delta a^*$	2.39	-0.25	0.25	-0.28	-0.03	-0.39
$\Delta b^*$	-20.68	-1.39	1.96	1.82	1.78	-1.03
$\Delta c^*$	20.82	1.36	-1.91	-1.84	-1.77	0.99
$\Delta H^*$	276.59	-0.40	0.50	-0.07	0.19	-0.50
$\Delta E$		1.96	2.20	2.32	2.05	1.37
		Fail	Fail	Fail	Fail	Pass

## V. DISCUSIÓN

El presente trabajo de investigación presenta el estudio del efecto de la temperatura, tiempo y concentración de colorantes en tricromías en el proceso de teñido de telas 100% poliéster, con el fin de optimizar dicho proceso para una empresa guatemalteca.

La empresa de estudio se dedica al hilado, tejido y teñido de telas 100% poliéster, de punto abierto y punto cerrado y funciona desde hace siete años; por lo que tiene establecido un proceso para la tinción de telas. El proceso utilizado por la empresa es el recomendado en la literatura, en el cual se indica que la temperatura del baño de tinción debe ser elevada hasta 130°C, a una tasa de calentamiento de 1°C/minuto, y mantenida por los siguientes 60 minutos. Luego de terminados los 60 minutos se enfría el baño, se descarta y se realiza un lavado reductivo el cual elimina cualquier cantidad de colorante adherido en la superficie.

El proceso se dividió en dos subprocesos para lograr un mejor estudio del efecto de los parámetros en cada etapa. Los subprocesos se nombraron como: aumento de la temperatura del baño, proceso en el cual se eleva la temperatura desde 30°C hasta 130°C, y mantenimiento de la temperatura en el baño, proceso de absorción y migración del colorante a temperatura constante de 130°C donde se logra el agotamiento del colorante. El estudio se llevó a cabo mediante una serie de etapas las cuales se presentan a continuación.

*Grado de tinción sobre la tela en el proceso de aumento de temperatura del baño hasta 130°C.*

En esta etapa inicial del proceso se deseaba determinar el efecto de la temperatura antes de los 130°C sobre la tinción de la tela y determinar el grado de ésta en comparación con el grado de tinción en la segunda etapa, la cual es la de mantenimiento de la temperatura. Para lograr este objetivo se realizó la tinción de la tela, partiendo desde el color blanco, para las seis formulaciones establecidas, utilizando el procedimiento utilizado por la empresa. Para poder evaluar el grado

de tinción se tomó una muestra de tela cada 10°C desde 30°C y se le realizó un lavado reductivo a la mitad de la muestra tomada para determinar si el colorante se encontraba únicamente adsorbido en la superficie o este había sido capaz de penetrar dentro de la fibra de poliéster.

Se examinaron visualmente las muestras, tanto las que tenían lavado reductivo como las que no y en las seis formulaciones se pudo observar un patrón de comportamiento similar. Para cada formulación se pudo observar que sí poseían cierto nivel de coloración que iba aumentando según aumentaba la temperatura del baño. Esta coloración era perceptiblemente menor en las muestras con lavado reductivo en comparación a las otras, esto demuestra que parte de la coloración obtenida a esa temperatura se encontraba aún en la etapa de adsorción en la superficie de la fibra y que un porcentaje menor de colorante logró penetrar dentro de la fibra. También se comparó la muestra obtenida al llegar a 130°C (muestra 11) con una muestra que permaneció 45 minutos a esta temperatura (muestra 12). En todas las formulaciones se percibió una coloración menor en la muestra 11 que en la muestra 12, tanto la que tenía lavado reductivo como la que no. Esto muestra que, a pesar de existir cierto grado de tinción sobre la tela al llegar a 130°C, no se ha llegado a un punto de saturación por lo que la tela sigue absorbiendo colorante.

Este mismo procedimiento se realizó para cada una de las formulaciones con una tasa de calentamiento de 2°C/ minuto y 4°C/minuto. Se obtuvo el mismo patrón de comportamiento para cada formulación de color, con la diferencia de que, a una misma temperatura, el color era más tenue según aumentaba la tasa de calentamiento.

A todas las muestras se les tomó el tiempo y el cambio de temperatura en el proceso de experimentación para el aumento de temperatura. Con estos datos se calculó la tasa de calentamiento experimental junto con su moda, media y desviación estándar para asegurarse de que no hubiese variación significativa

entre los datos y que estos no se desviaran considerablemente del valor teórico establecido. Mediante los datos expuestos en la tabla resumen No. 12 y el punto 10.2 del anexo se aceptan todos los valores obtenidos, al no presentar variación significativa respecto al valor teórico.

*Determinación del tiempo mínimo para elevar la temperatura hasta 130°C sin afectar el resultado final del teñido.*

En esta etapa se analizó con un colorímetro cada una de las muestras obtenidas en la etapa anterior, en la que se tiñeron muestras de tela dazzle con una tasa de calentamiento de 1°C/minuto, 2°C/minuto y 4°C/minuto para cada formulación desde 30°C hasta 130°C y una muestra final con un tiempo de permanencia de 45 minutos a una temperatura constante de 130°C. Para realizar las mediciones con el colorímetro, en esta etapa, se utilizó como referencia (o blanco) una muestra de tela dazzle sin teñir la cual es de color blanco. Este blanco se definió en base a que se deseaba saber la diferencia de color de las muestras desde el punto inicial del proceso.

El colorímetro es capaz de medir la diferencia de color de las muestras en dos ejes, en el eje  $\Delta a^*$  se mide la tendencia de la muestra hacia el color rojo para los valores positivos y verde para los valores negativos. En el eje  $\Delta b^*$  se mide la tendencia de la muestra hacia el color amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos. Con los datos obtenidos con el colorímetro se realizaron gráficas de  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  para cada una de las formulaciones, comparando los resultados entre la tinción con un aumento de temperatura de 1°C/minuto, 2°C/minuto y 4°C/minuto.

En la gráfica No. 1 para el color amarillo 1 se ve una diferencia de color que tiende hacia el color rojo, se puede apreciar como esta diferencia va aumentando conforme aumenta la temperatura. Se pueden apreciar tres tendencias, de 30°C a 70°C se tiene una diferencia de color casi constante para las muestras calentando a 1°C, 2°C y 4°C/minuto, de 70°C a 100°C se aprecia que la coloración es

ligeramente mayor en las tres curvas y que de 100°C en adelante se presenta un aumento significativo en la diferencia de color de las muestras conforme incrementa la temperatura. Después de los 100°C se puede apreciar que la diferencia de color es mayor y más constante para la muestra que es calentada a 1°C/minuto. Al llegar las tres corridas a la temperatura de 130°C existe una variación marcada entre las curvas, a medida que aumenta la tasa de calentamiento disminuye la diferencia de color de la muestra. Esto indica que, al aumentar la tasa de calentamiento, se disminuye la penetración del colorante dentro de la fibra. En el punto final, luego de mantener la temperatura por 45 minutos, se obtiene una mayor diferencia de color a 1°C/minuto mientras que para 2°C y 4°C/minuto la diferencia es similar.

En la gráfica No. 2 para el color amarillo 1 se observa una diferencia de color positiva y valores de diferencia de color mayores que en la gráfica No.1, lo cual indica que las muestras tienden hacia el color amarillo, resultado que era esperado ya que en esta formulación el amarillo se encuentra en mayor porcentaje. Se puede apreciar que la diferencia de color es constante para las tres curvas hasta llegar a una temperatura de 100°C, en donde empieza a aumentar la diferencia de color para cada corrida, siendo mayor la diferencia para la muestra con una tasa de calentamiento de 1°C/min y disminuye según aumenta la tasa de calentamiento. En el punto a 130°C, después de 45 minutos, la diferencia de color muestra el mismo comportamiento inversamente proporcional a la tasa de calentamiento del baño. Mediante las dos gráficas,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$ , podemos concluir que después de los 100°C se obtiene una absorción del color significativamente mayor al realizar el calentamiento a 1°C/min.

En la gráfica No. 3 para el color amarillo 2, se observa una diferencia negativa, lo cual indica que la diferencia de color tiene una tendencia hacia el color verde. En esta se puede apreciar, al igual que en el color amarillo 1, tres tendencias. En la primera tendencia se tiene valores casi constantes desde 30°C hasta 70°C, luego de esto se observa un ligero cambio entre 70°C a 100°C, en donde a pesar de no

tener valores que coincidan siguen una tendencia similar donde aumenta ligeramente la diferencia de color. Después de los 100°C se percibe un aumento significativo de la diferencia de color, siendo ésta mayor para la tasa de calentamiento a 1°C/min. En el último punto, después de cumplidos 45 minutos a 130°C, se obtiene una diferencia de color similar para cada curva.

Para las muestras de la gráfica No. 4 del color amarillo 2, se observa una tendencia positiva indicando que predomina el color amarillo, al igual que en el color amarillo 1. Estos resultados similares son consecuencia de que el colorante amarillo se encuentra en mayor porcentaje en ambas formulaciones. En este gráfico se aprecia que los valores de los datos de cada curva son muy cercanos y tienen una misma tendencia hasta los 100°C, en donde la diferencia de color aumenta para la curva con calentamiento de 1°C/minuto, mientras que las otras dos muestran valores similares. Se tiene un comportamiento similar a la gráfica No. 2 para el color amarillo 1.

En el gráfico No.5 del color rojo 1, a diferencia del amarillo 1 y 2, se observa que la mayor diferencia de color se da en el eje  $\Delta a^*$  indicando la predominancia del color rojo en la muestra. Las tres curvas muestran una tendencia con valores muy parecidos hasta los 110°C, después de este punto la diferencia de color es mayor para la curva con una tasa de calentamiento de 1°C/min hasta los 130°C. En el último punto, en la que la muestra permaneció por 45 minutos a 130°C, se observan valores muy similares, pero siempre predomina la curva de 1°C/min. Este comportamiento es semejante al que se da en la gráfica  $\Delta b^*$  para el color amarillo 1 y 2, con la diferencia de que la tendencia es hacia el color rojo y que los puntos son constantes hasta una temperatura de 110°C y no de 100°C.

El gráfico No. 6 posee tanto valores positivos como negativos a medida que aumenta la temperatura en el baño, los valores negativos indican que a bajas temperaturas se tiene una predominancia del color azul, el cual se encuentra en menor porcentaje en la tricromía. Mientras aumenta la temperatura los valores

tienden a lo positivo lo cual indica la predominancia del color amarillo en la muestra, colorante en mayor porcentaje que el azul para la tricromía del rojo 1. En esta gráfica se aprecian también tres tendencias, siendo la primera de 30°C a 70°C, la segunda de 70°C a 100°C y la tercera para los valores obtenidos después de los 100°C. Esta tendencia es la misma que la que se presenta en las gráficas  $\Delta a^*$  para los colores amarillo 1 y 2. Después de los 100°C se nota el aumento de la diferencia de color para la curva a 1°C/min y cómo éste disminuye a medida que aumenta la tasa de calentamiento. En el punto de la muestra 12, para la gráfica de 1°C/min, se observa un descenso en la diferencia de color luego de cumplido los 45 minutos de permanencia en el baño. Este comportamiento se desvía del comportamiento normal de todas las gráficas, ya que en este punto la diferencia de color aumenta. Este fenómeno es causado por una mala lectura con el colorímetro, ya que al momento de analizar visualmente las muestras sí existe una diferencia de color significativa. En este punto se debió analizar la muestra nuevamente para determinar la congruencia de la medición.

En la gráfica No. 7 para el color rojo 2 se puede apreciar el mismo comportamiento que en la gráfica No. 5 del color rojo 1 con la diferencia de que el cambio se hace notorio para una temperatura de 100°C. En estas muestras se observa una mayor tendencia hacia el color rojo, comportamiento esperado ya que este colorante es el que se encuentra en mayor porcentaje en la tricromía.

En la gráfica No. 8 del color rojo 2 se observa una tendencia contraria al de la gráfica No. 6 de color rojo 1 ya que la tendencia es negativa, indicando la predominancia del color azul a medida que aumenta la temperatura. En esta formulación el azul se encuentra en menor porcentaje que el rojo, pero en mayor porcentaje que el amarillo para la tricromía. Al igual que la gráfica de  $\Delta a^*$  para el color amarillo 1 y 2 y  $\Delta b^*$  para el color rojo 1, se observan las tres tendencias con una mayor diferencia de color para 1°C/min después de 100°C. En la última muestra los valores son semejantes.

En la gráfica No.9 del color azul 1 se observa un comportamiento similar en las 3 curvas, con valores casi constantes hasta los 90°C, después de este punto los valores tienden hacia negativos lo cual representa una tendencia hacia el color verde. Este comportamiento es diferente a lo esperado ya que no se aprecian las tres tendencias, la tendencia hacia el color verde indica que existe una predominancia de los otros dos colores, ya sea el amarillo, azul o los dos, sobre la muestra y que esta aumenta a medida que aumenta la temperatura del baño. Este comportamiento es consecuencia de que el color rojo se encuentra en menor porcentaje para la tricromía del azul 1 por lo tanto la formulación tiene mayor tendencia hacia el color amarillo y azul.

En la gráfica No. 10 para el color azul 1, se observa una mayor diferencia de color con una tendencia a los valores negativos, esto indica que en estas muestras existe la predominancia del color azul. En esta gráfica los valores de la diferencia de color son similares conforme aumenta la temperatura hasta 130°C. En la muestra que permanece 45 minutos a 130°C existe un aumento significativo en la diferencia de color, este comportamiento está ligado a que el color amarillo y azul se encuentran en mayor porcentaje para esta formulación y son evaluados en el mismo eje. En temperaturas menores a 130°C ambos colorantes tienen comportamiento similar por lo cual los valores de la gráfica tienden a 0. Después de un tiempo de permanencia de 45 minutos se aprecia la clara tendencia hacia el azul debido a que este es el colorante de mayor porcentaje en la formulación.

En la gráfica No. 11 del color azul 2 se observa una tendencia variante en todos los puntos de las curvas, pero con comportamiento similar entre las tres. A bajas temperaturas se observa una tendencia oscilante entre el color verde y rojo, luego aumenta a valores positivos con una tendencia al rojo y finalmente disminuye drásticamente hacia los valores negativos con una tendencia al verde. En esta gráfica se distinguen las tres tendencias observadas anteriormente en las gráficas y una tendencia más. Para esta gráfica en las temperaturas de 30°C a 70°C se observa un cambio continuo entre tonos de rojo y verde hasta llegar a rojo a 70°C,

de este punto en adelante se observa un ligero aumento hacia una diferencia de color rojo hasta 100°C, de este punto en adelante la diferencia de color hacia rojo aumenta aún más hasta los 120°C, excepto en la curva de 1°C/min. En la última etapa, después de los 120°C, se observa un declive de la curva mostrando una diferencia de color hacia el verde. Este comportamiento se debe a que en la primera etapa los colorantes se comportan una manera similar a bajas temperaturas, en la siguiente etapa se empieza a dar el agotamiento del tono amarillo predominando el rojo en la curva, el cual aumenta según aumenta la temperatura en la tercera etapa. En la última etapa se observa el declive debido a que aumenta la predominancia del azul, el cual se encuentra en mayor porcentaje en la tricromía.

En la gráfica No. 12 del color azul 2 se puede observar una gráfica de tres tendencias, con una diferencia de color constante de 30°C a 70°C, un ligero aumento en la diferencia de color de 70°C a 100°C y un aumento considerable del color desde 100°C en adelante. La gráfica posee la mayor diferencia de color con una tendencia negativa lo cual indica la predominancia del color azul en la muestra, el cual se encuentra en mayor porcentaje en la tricromía.

De las gráficas anteriores y las tendencias observadas se logra inferir diferentes comportamientos de los colorantes de alta energía en tricromías. Como primer punto se observaron dos temperaturas trascendentales las cuales son 70°C y 100°C. Los colorantes dispersos de alta energía a bajas temperaturas, menores de 70°C, presentan baja penetración dentro de la fibra y se comportan de una manera muy similar resultando en valores similares sin importar la tasa de calentamiento del baño. Entre 70°C a 100°C la diferencia de color aumenta ligeramente indicando que aumenta la absorción del colorante dentro de la fibra, en esta etapa los valores de la curva de 1°C/min y 2°C/min presentan una tenue desviación mientras que la variación entre la curva de 1°C/min y 4°C/min es más perceptible. Al aumentar la temperatura después de 100°C se percibe una diferencia considerable en la diferencia de color para las tres curvas, lo cual indica

que después de esta temperatura los colorantes de alta energía logran romper los enlaces en la superficie de la fibra logrando una mayor penetración dentro de la fibra. De 100°C a 130°C existe una clara influencia de la tasa de calentamiento del baño sobre el rendimiento del colorante, en el cual, a medida que aumenta la tasa de calentamiento disminuye el rendimiento del colorante. Este comportamiento indica que para esta etapa el rendimiento del colorante es dependiente no solo de la temperatura sino también del tiempo de permanencia.

Mediante el comportamiento descrito anteriormente se diseñó un proceso alterno para la tinción de telas 100% poliéster, de punto cerrado, con un peso de 160 g/m<sup>2</sup>. El proceso alterno se basa en una escala de calentamiento, en donde, desde la temperatura inicial de 30°C hasta 70°C se tiñe a una tasa de calentamiento del baño de 4°C/min, de 70°C hasta 100°C se cambia la tasa de calentamiento a 2°C/min y de 100°C a 130°C se realiza el calentamiento del baño a una tasa de 1°C/min. Esta escala puede apreciarse en el punto 10.5 de anexos en la gráfica No. 14, en comparación a la gráfica No. 13, la cual muestra el proceso de teñido actual en la empresa de estudio.

Al utilizar el proceso de aumento de temperatura diseñado se disminuye el tiempo de tinción desde 160 minutos, el cual es utilizado actualmente para realizar el proceso por la empresa de estudio, hasta 115 minutos. Esta comparación se puede apreciar mejor en la tabla No.13.

*Determinación del tiempo mínimo de permanencia de tela en baño, a 130°C, para lograr igualación del tono*

Como parte de esta investigación se deseaba conocer el efecto del tiempo de permanencia en el baño, a 130 °C, sobre la igualación del tono, en donde se logra el agotamiento del colorante en el baño. El punto de agotamiento se refiere al punto en el que se llega a un punto de equilibrio entre el colorante disperso en el baño y el colorante absorbido en la fibra. Para llevar a cabo este objetivo se

realizó el procedimiento utilizado actualmente en la empresa de estudio y el diseñado en el objetivo anterior.

En el proceso de experimentación se llevó a cabo la tinción mediante el procedimiento actual y se tomaron muestras en el momento en que el baño llega a 130°C (minuto 0), a los siguientes 15 minutos, 30, 45 y 60 respectivamente. La muestra a los 60 minutos se tomó como la muestra referencia (o blanco) debido a que, según la literatura, en este punto se asegura el agotamiento del color en la muestra. Se llevó a cabo el mismo procedimiento utilizando la escala diseñada anteriormente y se tomó como referencia la misma muestra que en el procedimiento actual. A estas muestras se les realizó las lecturas con el colorímetro y se asignó un valor de  $\Delta E$  de 1.50 como aceptable.

Al realizar las mediciones para el color amarillo 1 y 2 se obtuvieron discrepancias con los resultados. En las lecturas se obtuvieron valores de  $\Delta E$  mayores a 1.50 lo cual indica que las muestras no son aceptables y el color presenta variación respecto a la muestra patrón. Al analizar visualmente los resultados no existen diferencias notorias entre los tonos obtenidos, tanto para el procedimiento actual como para el procedimiento diseñado. Mediante el análisis visual se determina que existe un patrón de comportamiento esperado en todas las muestras, mientras que con él colorímetro se muestran resultados incongruentes. Para el color amarillo 1 y 2 se infiere que existe un fenómeno llamado metamerismo, en el cual las muestras examinadas presentan un mismo tono bajo ciertas condiciones de luz, pero según la luz que incide desde el colorímetro, este es diferente. Dado que este fenómeno solo sucede para las muestras en las que el amarillo se encuentra en mayor porcentaje, se determinó que el colorante disperse yellow 114 ocasiona éste el fenómeno de metamerismo.

En las mediciones realizadas para el color rojo 1, se obtuvo que las últimas tres lecturas para el procedimiento actual poseen un color aceptable respecto al color de referencia. Para el proceso realizado mediante la escala únicamente las últimas

dos muestras son aceptables, pero la muestra a los 60 minutos con escala presenta la menor diferencia con un  $\Delta E$  de 0.75 por lo cual se prefiere este método.

Las mediciones para el color rojo 2 muestran que, tanto las muestras con el procedimiento actual como las muestras con la escala, son aceptadas. Al igual que en el rojo 1 la menor diferencia se encuentra para la muestra de 60 minutos con escala con un  $\Delta E$  de 0.50 por lo cual se prefiere este método.

En el color azul 1 las mediciones para el procedimiento actual muestran que las últimas dos muestras son aceptadas, mientras que para el procedimiento con escala solo se acepta la última muestra. Las menores diferencias de color se dan para el procedimiento actual. Si se opta por realizar el procedimiento actual con un tiempo de permanencia de 30 minutos, el tiempo total es aún mayor que el tiempo total del procedimiento utilizando la escala y un tiempo de permanencia de 60 minutos, por lo cual es recomendable el método con escala.

En el color azul 2, según las mediciones, se acepta las últimas 3 muestras utilizando el procedimiento actual, mientras que en el procedimiento con escala se acepta únicamente la última muestra. Para esta formulación no existe diferencia significativa al utilizar el método actual comparado con el método con escala, ya que la diferencia de color  $\Delta E$  de la escala es 0.01 menor que la del método actual.

A partir de los resultados para el método actual se determinó que no es necesario para todas las formulaciones un tiempo de permanencia de 60 minutos para igualar el tono al de agotamiento. Para el método en escala si es necesario 60 minutos de permanencia en el baño para asegurar una buena igualación del tono.

Según los resultados obtenidos anteriormente, se determinó que el método con escala muestra buenos resultados y disminuye el tiempo de teñido en 45 minutos por lote. Según el análisis mostrado en el anexo 10.1, se puede observar que al

utilizar el procedimiento con escala la empresa puede llegar a aumentar su capacidad de producción anual en 411, 339 yardas anuales aproximadamente.

*Efecto del tiempo de permanencia de la tela en el baño en la igualación del color*

La igualación del color a lo largo de toda la tela es un factor importante a evaluar al momento de realizar un teñido, ya que si esto no sucede aparecen manchas visibles por el cliente afectando la calidad del producto.

Se evaluó la igualación del color en las muestras del experimento 1 y el experimento 2. Para el experimento 1 se examinó las muestras lavadas y las no lavadas.

Al examinar las muestras del experimento 1 se observan comportamientos similares según el colorante que se encuentre en mayor porcentaje. En el color amarillo 1 y 2 se observan ligeras manchas para el amarillo 1 y manchas más perceptibles para el amarillo 2 en las muestras sin lavar a temperaturas medias. Estas manchas desaparecen en la misma muestra después del lavado. Para el color rojo 1 y rojo 2 se observan manchas desde bajas temperaturas a temperatura media en las muestras no lavadas, estas al igual que el amarillo 1 y 2, desaparecen al realizar el lavado reductivo. Para este color las manchas son más perceptibles que para el amarillo. En el color azul 1 y 2 al igual que en los colores anteriores se observan manchas en las muestras no lavadas, pero también ligeras manchas en muestras lavadas, a temperaturas altas menores o iguales a 120°C. En todas las muestras se observó que dichas manchas desaparecen en temperaturas mayores a 120°C. En el experimento 2 no se observó ninguna variación en la igualación del color entre las muestras, tanto las lavadas como las que no.

En esta fase se pueden inferir que tanto la temperatura como el tiempo de permanencia en el baño son importantes para este factor, ya que en las muestras finales se logró la igualación del color. Este comportamiento se da debido a que en las primeras etapas parte del colorante se encuentra adherido en la superficie de la fibra mediante enlaces y necesita energía suficiente para romper estos enlaces y lograr penetrar dentro de la fibra, además es importante cumplir con el tiempo necesario para que dé lugar esta etapa.

Al observar la cantidad de manchas se puede inferir también que este factor está relacionado con el tamaño de la molécula del colorante; ya que, en el amarillo, el cual posee menor peso molecular, se observaron menos manchas que en el rojo, el cual posee un peso molecular mayor que el amarillo. El color azul posee un peso molecular significativamente mayor que el amarillo y el rojo, lo cual indica que necesita de más energía para la ruptura de enlaces y que logre ser absorbido dentro de la fibra. Por esta razón, en las formulaciones de azul, son perceptibles más manchas que para las demás formulaciones.

#### *Determinación del comportamiento de la concentración de los colores primarios en la tricromía*

Mediante las gráficas 1 a la 12, descritas anteriormente, es posible describir el comportamiento de los colorantes dispersos en la tricromía en función de su concentración. De las gráficas se puede inferir que, a bajas temperaturas, los colorantes poseen un comportamiento similar, en donde a pesar de que logran penetrar dentro de la tela, lo hacen en pequeñas concentraciones sin importar qué colorante se encuentre en mayor porcentaje. Al llegar el baño a una temperatura de 100°C o mayor, se empieza a hacer notar la influencia del colorante con una concentración media, en este punto se puede percibir que el colorante en menor concentración ya se agotó dentro del baño permitiendo que aumente la influencia del siguiente color. Tanto para el colorante que se encuentra en mayor concentración como para el colorante de concentración media, se puede percibir

en las gráficas de  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$ , que estos aumentan su absorción de 100°C hasta 130°C. Después de 130°C existe una diferencia de color entre la muestra que solo llegó a esa temperatura y la que permaneció 45 minutos en el baño. Al comparar la diferencia en el punto de 130°C se puede observar que, en la gráfica que describe el colorante en mayor concentración, la diferencia entre los puntos es mayor que la diferencia de la gráfica que describe el colorante en concentración media.

Según lo descrito anteriormente, el colorante que se encuentra en menor concentración logra agotarse primero, incluso a temperaturas bajas. El colorante que se encuentra en una concentración media tiene mayor influencia después de los 100°C y este logra agotarse casi por completo antes de llegar a los 130°C. El tiempo de permanencia después de alcanzada esta temperatura no es tan considerable, pero puede llegar a generar un impacto notable, posiblemente no para el ojo humano, pero sí para un instrumento de medida como un colorímetro. Para el colorante que se encuentra en mayor concentración, a pesar de que su influencia es bastante notoria antes de los 130°C, necesita un tiempo de permanencia suficiente a 130°C, ya que a esta temperatura es en la que se logra la mayor absorción y por lo tanto su agotamiento. En base a esto, y referente a lo descrito anteriormente para el tiempo mínimo de permanencia en el baño a 130°C del color azul 2, se prefiere el uso del método con escala ya que de esta forma se asegura el agotamiento total del color azul.

## VI. CONCLUSIONES

- a. Se determinó que antes de llegar a los 130°C la tela sí tiene un grado de tinción el cual aumenta en función de la temperatura del baño.
- b. El tiempo mínimo en el que se puede llevar a cabo el aumento de la temperatura del baño sin afectar el resultado final del teñido es de 55 minutos.
- c. En las formulaciones 3 a la 6 para el procedimiento actual no es necesario un tiempo permanencia de 60 minutos en el baño a 130°C, mientras que para el proceso diseñado sí. En las formulaciones 1 y 2 no fue posible determinar el tiempo de permanencia mínimo necesario.
- d. El tiempo de permanencia en el baño es determinante en la igualación del color. Mediante los resultados se logró determinar que no solo el tiempo sino también en conjunto con la temperatura son factores determinantes para poder lograr una buena igualación.
- e. Los colorantes se agotan de manera proporcional a su concentración dentro de la tricromía. Entre menor es la concentración más rápido se llega al punto de agotamiento.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Realizar la experimentación en otro tipo de tejido de telas 100% poliéster para determinar si se obtiene el mismo comportamiento.
2. Realizar el mismo estudio utilizando colorantes de media y baja energía para determinar su comportamiento al variar la temperatura, tiempo y concentración de los colorantes en tricromías en el proceso de tinción.
3. Utilizar un colorímetro con diferentes luces para la lectura de las muestras y de esta forma poder descartar cualquier metamerismo presentado.
4. Estudiar la aplicación del proceso diseñado en sus operaciones normales.
5. Realizar un análisis del mercado para poder determinar la probabilidad de aumentar su oferta.
6. Realizar un estudio económico a fondo para evaluar el verdadero impacto económico del proceso desarrollado en la empresa.
7. Realizar estudio nuevamente para las formulaciones 1 y 2 con un colorante disperso de alta energía de color amarillo que no presente metamerismo.

## VIII. REFERENCIAS

- Agexport (2016). *Estadísticas de exportación*. Guatemala. Consultado el día 05 de enero de 2017 de: <http://export.com.gt/estadisticas-de-exportacion/#NOVIEMBRE2016>
- Almaraz, N. (2017). *Profesional del color. Combinar colores con el círculo cromático*. Consultado el día 23 de abril del 2017 de: <https://profesionaldelcolor.wordpress.com/tag/colores-primarios-secundarios-y-terciarios/>
- Arriaga, G. (2005) *Determinación de tricromías para teñir poliéster basándose en las curvas de agotamiento de colorantes dispersos*. Tesis inédita, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- BOC Sciences (2017). *Disperse yellow 114*. Consultado el día 23 de abril del 2017 de: <http://www.bocsci.com/disperse-yellow-114-cas-61968-66-9-item-73451.html>
- Bonnet, J. (2003) *Lecciones de Estadística, Estadística descriptiva y probabilidad*. (versión electrónica). Consultado el día 25 de mayo del 2017 de: <https://books.google.com.gt/books?id=5WZG98WLPnQC&printsec=frontcover&dq=estadistica+descriptiva&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjHoK6igLfUAhVD5yYKHRLMBJEq6AEILjAC#v=onepage&q=estadistica%20descriptiva&f=false>
- Brown, T., Eugene H., Bursten, B. y Burdge, J. (2004) *Química la ciencia central* (9<sup>na</sup>. Ed.) Mexico: Prentice Hall.
- Bunsell, A. (2009) *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres*. USA: Woodhead.

Carrión, F. (1995) *Proceso de tintura del poliéster a bajas temperaturas: cinética de tintura con colorantes dispersos*, Boletín INTEXTER (U.P.C),108, 9-17.

Chem Blink (2017) *Disperse blue 79:1*. Consultado el día 23 de abril de 2017 de:  
<http://www.chemblink.com/products/72363-26-9.htm>

Chem Blink (2017). *Disperse Red 92*. Consultado el día 23 de abril de 2017de:  
<http://www.chemblink.com/products/72363-26-9.htm>

Colour Index (2017) *Colour Index<sup>TM</sup> explained*. Consultado el día 23 de abril de 2017.  
Recuperado de: <https://colour-index.com/introduction-to-the-colour-index>

Gómez, M. (2006) *Introducción a la metodología de la investigación científica*. (versión electrónica). Consultado el día 10 de junio de 2017 de:  
<https://books.google.com.gt/books?id=9UDXPe4U7aMC&pg=PA154&dq=media+moda+y+desviacion+estandar&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjavZfWxbbUAhUFSyYKHSECAMwQ6AEIJjAB#v=onepage&q=media%20moda%20y%20desviacion%20estandar&f=false>

Government of Canada (2012). *The chemicals Management Plan Substance Groupings Initiative. Aromatic Azo-and Benzidine-Based Substances. Draft technical background Substances*. Canadá: Consultado el día 11 de junio de 2017 de:  
<https://www.ec.gc.ca/ese-ees/default.asp?lang=En&n=9E759C59-1#cn-tphp>

Haffar, O (2009). *Consideraciones acerca de la tintura de las fibras de poliéster*. Consultado el día 06 de marzo de 2017 de:  
<http://www.detextiles.com/files/TINTURA%20DE%20FIBRAS%20DE%20POLIESTER.pdf>

Lévy, É. (2008) *Diccionario Akal de Física*. (versión electrónica). Consultado el día 16 de abril de 2017 de:  
<https://books.google.com.gt/books?id=eN0QQg0pJ2cC&pg=PA166&dq=tricro%20C3>

%B3mia+del+color&hl=es-  
419&sa=X&ved=0ahUKEwiej4O6koLTAhXD4CYKHUB5BeoQ6AEIlzAC#v=snipp  
et&q=tricr%C3%B3mia&f=false

Lockuán, E. (2012) *La industria textil y su control de calidad*. Cap. V Tintorería. (versión electrónica) Recuperado de:  
[https://books.google.com.gt/books?id=6yjBvmYZrTsC&pg=PA7&dq=colorantes+dispersos+para+poliester&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjansPV\\_Z\\_SAhWBTiYKHeCdCnM4ChDoAQgXMAA#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.gt/books?id=6yjBvmYZrTsC&pg=PA7&dq=colorantes+dispersos+para+poliester&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjansPV_Z_SAhWBTiYKHeCdCnM4ChDoAQgXMAA#v=onepage&q&f=true)

Lafuente L., Burgete, I. (1997) *Introducción a la Química Orgánica*. Universitat Jaume I.

Petrucci, R., Herring, G. (2013) *Química General* (10<sup>ma</sup>. Ed). España: Prentice Hall.

Quantotec (2016) *Color y luz. Colorimetría*. Consultado el día 11 de junio de 2017 de:  
<http://www.quantotec.com/sp/Colorimetria.htm>

QuimiNet (2005). *Todo lo que quería saber del PET*. Consultado el día 05 de junio de 2017 de: <https://www.quiminet.com/articulos/todo-lo-que-queria-saber-del-pet-2806.htm>

Real Academia Española (2017) *Diccionario de la lengua española*. Consultado el día 17 de febrero de 2017 de: <http://dle.rae.es/?w=diccionario>

Tejedor, Ascensión (2017). *Química orgánica Industrial. La industria de los colorantes y pigmentos*. Consultado el día 03 de marzo de 2017 de:  
<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-11.php>

Valero, Antonio (2013) *Principios de Color y Holopintura*. (versión electrónica).

Consultado el día 28 de abril de 2017 de::

<https://books.google.com.gt/books?id=CXqrBAAAQBAJ&pg=PA97&dq=trivarianza+++visual&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjW0bWRIYLTahUCJiYKHxXbAI4Q6AEIHjAB#v=onepage&q&f=false>

Velarde, E. (2013) *Implementación de mejoras en el proceso de teñido disperso sobre fibra poliéster*. Tesis inédita, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Wade, L. (2012) *Química Orgánica, volumen 2* (7<sup>ma</sup>. Ed). México: Pearson Education.

World dye variety, 2017. *Disperse blue 79:1*. Consultado el día 23 de abril de 2017 de:  
<http://www.worlddyevariety.com/disperse-dyes/disperse-red-92.html>

World dye variety, 2017. *Disperse Red 92*. Consultado el día 23 de abril de 2017 de:  
<http://www.worlddyevariety.com/disperse-dyes/disperse-red-92.html>

## IX. GLOSARIO Y ABREVIATURAS

### Glosario

1. Croma: grado de diferencia existente entre un color y un gris de su misma luminosidad y claridad, que corresponde con la saturación del color percibido.
2. Matiz: grado en el cual un estímulo puede ser descrito como similar o diferente de los estímulos como rojo, amarillo o azul. Colores con el mismo matiz son diferenciados por adjetivos como la luminosidad y o saturación.
3. Fading: desvanecimiento. Perdida de color. Está asociado con la exposición a la iluminación ya sea natural o artificial. En prendas puede deberse también al lavado.
4. Stain: mancha. En textiles se refiere a la capacidad de un lienzo a transferir su color por contacto, roce o efecto del lavado hacia otro lienzo.
5. Solidez: en textiles indica la resistencia de algún teñido a diferentes factores como la iluminación, lavado o contacto con diferentes sustancias.
6. Disperso: constituido por elementos separados entre sí.
7. Reducción: se le denomina así cuando una especie química gana electrones. En los compuestos orgánicos una reducción puede resultar en el cambio de estructura de un compuesto o el origen de uno o más compuestos distintos.
8. Triestímulo: se le llama así a las cantidades de tres primarios, identificados como X, Y y Z que especifican el estímulo de un color.
9. Luminosidad: propiedad de los colores, indica el aspecto luminoso del color estudiado, es también llamada claridad.
10. Saturación: es la intensidad de un matiz específico. La saturación de un color está determinada por una combinación de su intensidad luminosa y la distribución de sus diferentes longitudes.
11. Iluminante: se le llama iluminante a la especificación de una fuente de luz potencial. Se diferencia con una fuente de luz en que esta es un emisor físico de radiación luminosa.

## Abreviaturas

<b>CIE</b>	Comission Internationale de l'Eclairage (Comisión internacional sobre la iluminación)
<b><math>\Delta E</math></b>	Diferencia total del color
<b>min</b>	Minuto
<b>°C</b>	Grados Celsius

## X. ANEXOS

### 10.1 Costo de oportunidad al utilizar el procedimiento diseñado en el teñido de telas 100% poliéster, de punto cerrado, con un peso de 160g/m<sup>2</sup>

Tabla No. 26 Tiempo de subprocesos y proceso total de teñido de tela 100% poliéster utilizando procedimiento actual y escala.

<b>Subprocesos</b>	<b>Actual Tiempo (minutos)</b>	<b>Escala Tiempo (minutos)</b>
Cargar agua en baño	5	5
Cargar tela en máquina	15	15
Adición de químicos al baño	10	10
Adición de colorantes	15	15
Aumento de temperatura a 1°C/min hasta 130°C	100	<b>55</b>
Mantener la temperatura a 130°C	60	60
Enfriar el baño hasta a 80°C	20	20
Descargar el baño	5	5
Cargar agua en baño	10	10
Adición de químicos para lavado reductivo	5	5
Calentar baño hasta 80°C	10	10
Mantener la temperatura	20	20
Enfriar el baño hasta 60°C	10	10
descargar el baño	5	5
cargar el baño con agua para enjuague	5	5
Enjuague de la tela	10	10
Descargar agua del baño	5	5

<b>Subprocesos</b>	<b>Actual Tiempo (minutos)</b>	<b>Escala Tiempo (minutos)</b>
Descargar tela de la maquina	15	15
Descargar agua del baño	5	5
<b>Tiempo total</b>	<b>345</b>	<b>300</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla No. 27 Lotes producidos utilizando procedimiento actual, diseñado y su diferencia

	<b>Procedimiento actual</b>	<b>Procedimiento diseñado</b>
Lotes diarios	4.17	4.80
Lotes mensuales	125.21	144.00
Lotes anuales	1523.48	1752.00
	<b>Diferencia (lotes anuales)</b>	<b>228.52</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla No. 28 Yardas extras producidas anualmente utilizando procedimiento diseñado y el monto promedio de ventas que estas representarían.

Yardas por lote	1,800
Yardas extras producidas anualmente	411,339.13
Precio promedio de yarda de dazzle en mercado (Quetzales)	13.14
<b>Ventas anuales extras promedio (Quetzales)</b>	<b>5,404,996.17</b>

Fuente: elaboración propia

## 10.2 Tasa calentamiento experimental para cada formulación

### Amarillo 1

Tabla No. 29 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	31.2	10	
41.1	40.0	10	0.88
50.1	48.9	10	0.89
60.0	59.1	10	1.02
70.9	69.2	10	1.01
80.4	79.6	10	1.04
90.3	89.7	10	1.01
100.7	99.6	10	0.99
110.9	109.5	10	0.99
121.5	120.0	10	1.05
130.0	130.0	10	1.00
<b>Moda</b>			<b>0.99, 1.01</b>
<b>Media</b>			<b>0.99</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.06</b>

Tabla No. 30 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 2°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.5	5	
43.6	40.6	5	2.02

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
52.5	49.1	5	1.70
63.1	58.9	5	1.96
71.6	69.1	5	2.04
82.6	79.1	5	2.00
92.1	89.9	5	2.16
101.5	99.0	5	1.82
113.2	110.1	5	2.22
121.8	119.6	5	1.90
130.0	129.6	5	2.00
<b>Moda</b>			<b>2.00</b>
<b>Media</b>			<b>1.98</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.15</b>

Tabla No. 31 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 1 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.9	2.5	
44.5	39.6	2.5	3.48
54.0	49.9	2.5	4.12
65.8	59.7	2.5	3.92
75.8	69.1	2.5	3.76
85.6	79.6	2.5	4.20
92.6	89.8	2.5	4.08
104.6	99.5	2.5	3.88
112.8	109.4	2.5	3.96
124.9	119.8	2.5	4.16
130.0	129.2	2.5	3.76
<b>Moda</b>			<b>3.76</b>
<b>Media</b>			<b>3.93</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.22</b>

## Amarillo 2

Tabla No. 32 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30	30	10	
41.7	40.8	10	1.08
51.3	50.1	10	0.93
59.9	58.9	10	0.88
70.9	69.7	10	1.08
80.6	79.5	10	0.98
91.2	89.7	10	1.02
101.3	99.4	10	0.97
110.6	109.6	10	1.02
121.7	119.8	10	1.02
130	129.6	10	0.98
		<b>Moda</b>	<b>1.02</b>
		<b>Media</b>	<b>1.00</b>
		<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.06</b>

Tabla No. 33 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 2°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	5	
44.2	40.1	5	2.02
52.0	49.1	5	1.80
60.9	59.2	5	2.02

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
72.0	69.6	5	2.08
83.1	79.8	5	2.04
92.6	90.7	5	2.18
103.3	99.7	5	1.80
111.8	110.0	5	2.06
123.6	120.4	5	2.08
130.0	129.3	5	1.78
<b>Moda</b>			<b>2.02, 1.80</b>
<b>Media</b>			<b>1.99</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.14</b>

Tabla No. 34 Tasa de calentamiento experimental, amarillo 2 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color amarillo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	2.5	
44.1	40.3	2.5	4.12
56.8	50.6	2.5	4.12
63.0	59.5	2.5	3.56
75.9	69.8	2.5	4.12
86.2	79.2	2.5	3.76
96.6	90.4	2.5	4.48
104.0	99.3	2.5	3.56
115.8	109.4	2.5	4.04
123.0	120.3	2.5	4.36
130.0	128.3	2.5	3.2
<b>Moda</b>			<b>4.12</b>
<b>Media</b>			<b>3.93</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.40</b>

## Rojo 1

Tabla No. 35 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	10	
41.5	39.9	10	0.99
50.7	50.3	10	1.04
61.8	60.1	10	0.98
70.4	69.4	10	0.93
81.0	79.5	10	1.01
90.9	89.4	10	0.99
101.2	100.3	10	1.09
111.3	109.6	10	0.93
121.9	119.8	10	1.02
130.0	129.9	10	1.01
<b>Moda</b>			<b>0.99, 1.02</b>
<b>Media</b>			<b>1.00</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.05</b>

Tabla No. 36 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de a 2°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	5	
43.2	39.9	5	1.98
51.7	49.4	5	1.90
61.3	59.4	5	2.00
71.2	69.7	5	2.06

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
82.8	80.4	5	2.14
92.3	89.8	5	1.88
101.2	99.6	5	1.96
112.5	110.6	5	2.20
122.4	119.5	5	1.78
130.0	129.3	5	1.96
<b>Moda</b>			<b>1.96</b>
<b>Media</b>			<b>1.99</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.12</b>

Tabla No. 37 Tasa de calentamiento experimental, rojo 1 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento
30.0	30.0	2.5	
46.2	39.7	2.5	3.88
52.2	49.8	2.5	4.04
65.8	59.8	2.5	4.00
72.3	69.8	2.5	4.00
86.5	79.9	2.5	4.04
92.7	89.5	2.5	3.84
102.4	99.1	2.5	3.84
113.1	109.9	2.5	4.32
126.1	120.3	2.5	4.16
130.0	129.0	2.5	3.48
<b>Moda</b>			<b>3.84, 4.00, 4.04</b>
<b>Media</b>			<b>3.96</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.22</b>

## Rojo 2

Tabla No. 38 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.9	29.8	10	
40.5	39.9	10	1.01
50.6	49.7	10	0.98
61.0	60.5	10	1.08
70.5	69.6	10	0.91
80.5	79.7	10	1.01
90.6	89.7	10	1.00
101.0	99.9	10	1.02
110.5	109.7	10	0.98
125.4	119.9	10	1.02
130.0	129.7	10	0.98
		<b>Moda</b>	<b>0.98</b>
		<b>Media</b>	<b>1.00</b>
		<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.04</b>

Tabla No. 39 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 2°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
32.9	29.9	5	
40.9	40.0	5	2.02
52.1	49.8	5	1.96
62.6	59.7	5	1.98

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
73.0	70.7	5	2.20
82.4	79.6	5	1.78
92.2	89.9	5	2.06
102.1	99.9	5	2.00
103.4	110.7	5	2.16
122.6	120.8	5	2.02
130.0	129.4	5	1.72
<b>Moda</b>			<b>2.02</b>
<b>Media</b>			<b>1.99</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.15</b>

Tabla No. 40 Tasa de calentamiento experimental, rojo 2 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color rojo 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	2.5	
44.5	39.6	2.5	3.84
54.9	50.7	2.5	4.44
63.5	59.8	2.5	3.64
72.0	69.3	2.5	3.80
82.1	79.5	2.5	4.08
92.4	89.7	2.5	4.08
105.5	99.9	2.5	4.08
112.8	109.8	2.5	3.96
125.4	119.9	2.5	4.04
130.0	129.6	2.5	3.88
<b>Moda</b>			<b>4.08</b>
<b>Media</b>			<b>3.98</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.22</b>

## Azul 1

Tabla No. 41 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color azul 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.5	10	
41.2	39.9	10	0.94
50.6	49.7	10	0.98
61.5	59.9	10	1.02
70.7	69.5	10	0.96
80.3	79.8	10	1.03
90.7	89.6	10	0.98
101.2	99.6	10	1.00
111.2	109.7	10	1.01
121.4	119.8	10	1.01
130.0	130.0	10	1.02
		<b>Moda</b>	<b>0.98, 1.01, 1.02</b>
		<b>Media</b>	<b>1.00</b>
		<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.03</b>

Tabla No. 42 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 2°C/ min en el proceso de tinción del color azul 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
33.1	29.8	5	
41.4	40.1	5	2.06
52.2	49.8	5	1.94
62.5	59.8	5	2.00

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
71.5	69.6	5	1.96
82.1	79.8	5	2.04
91.9	89.7	5	1.98
101.9	99.6	5	1.98
112.0	109.2	5	1.92
122.6	119.7	5	2.10
130.0	130.0	5	2.06
<b>Moda</b>			<b>1.98, 2.06</b>
<b>Media</b>			<b>2.00</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.06</b>

Tabla No. 43 Tasa de calentamiento experimental, azul 1 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color azul 1.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
31.7	30.0	2.5	
44.3	41.7	2.5	4.68
53.6	50.2	2.5	3.40
62.4	59.9	2.5	3.88
72.1	69.5	2.5	3.84
85.0	79.8	2.5	4.12
92.9	89.8	2.5	4.00
105.7	99.5	2.5	3.88
115.4	109.9	2.5	4.16
126.3	119.9	2.5	4.00
130.0	129.9	2.5	4.00
<b>Moda</b>			<b>4.00</b>
<b>Media</b>			<b>4.00</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.32</b>

## Azul 2

Tabla No. 44 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 1°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 1°C/ min en el proceso de tinción del color azul 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.1	30.0	10	
41.7	40.4	10	1.04
50.9	49.6	10	0.92
60.7	59.7	10	1.01
70.9	69.8	10	1.01
81.3	79.7	10	0.99
91.2	89.7	10	1.00
110.6	99.7	10	1.00
111.2	109.9	10	1.02
121.5	120.0	10	1.01
130.0	129.6	10	0.96
		<b>Moda</b>	<b>1.01</b>
		<b>Media</b>	<b>1.00</b>
		<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.03</b>

Tabla No. 45 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 2°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 2°C/ min en el proceso de tinción del color azul 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
30.0	30.0	5	
41.8	40.0	5	2.00
52.7	50.2	5	2.04

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
62.8	59.7	5	1.90
72.3	69.6	5	1.98
82.1	80.0	5	2.08
92.4	89.9	5	1.98
103.7	99.9	5	2.00
112.3	109.8	5	1.98
122.0	119.7	5	1.98
130.0	129.9	5	2.04
<b>Moda</b>			<b>1.98</b>
<b>Media</b>			<b>2.00</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.05</b>

Tabla No. 46 Tasa de calentamiento experimental, azul 2 a 4°C/min

Determinación de la tasa de calentamiento experimental, la moda, media y desviación estándar para una tasa de 4°C/ min en el proceso de tinción del color azul 2.

Temperatura de cámara	Temperatura baño en beaker	Tiempo (min)	Tasa de calentamiento experimental
35.5	29.9	2.5	
45.2	39.9	2.5	4.00
53.0	49.9	2.5	4.00
66.1	59.8	2.5	3.96
73.6	69.7	2.5	3.96
86.0	79.6	2.5	3.96
96.4	89.9	2.5	4.12
103.0	99.7	2.5	3.92
115.7	109.8	2.5	4.04
124.2	119.7	2.5	3.96
130.0	129.9	2.5	4.08
<b>Moda</b>			<b>3.96</b>
<b>Media</b>			<b>4.00</b>
<b>Desviación Estándar</b>			<b>0.06</b>

### 10.3 Lecturas con el colorímetro para cada formulación

#### Amarillo 1

Tabla No. 47 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	0.43	0.76	0.66	0.06	-0.39	-2.72	-1.97	-4.23	-7.51	-10.48	-15.33	-19.8
$\Delta a^*$	-0.38	0.28	0.63	0.75	1.19	1.09	1.94	1.82	3.27	5.56	8.83	10.92	13.37
$\Delta b^*$	2.68	2.6	2.79	2.62	1.94	1.89	1.6	1.94	2.92	6.39	10.2	19.65	43.82
$\Delta c^*$	2.70	2.57	2.77	2.61	1.99	1.92	1.85	2.14	3.60	7.74	12.69	21.98	45.57
$\Delta H^*$	98.16	-0.46	-0.72	-0.8	-1.12	-1.04	-1.71	-1.59	-2.51	-3.45	-4.56	-4.70	-4.70
$\Delta E$		2.65	2.96	2.81	2.28	2.22	3.71	3.31	6.09	11.32	17.08	27.21	49.91
		Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail

Tabla No. 48 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	2.88	2.44	1.79	2.43	1.69	-0.03	0.37	-0.36	-2.9	-3.61	-7.71	-17.46
$\Delta a^*$	-0.38	0.22	-0.26	0.30	0.69	1.02	1.93	1.77	2.49	3.51	4.67	7.76	11.81
$\Delta b^*$	2.68	2.36	3.06	2.43	1.75	1.72	1.44	1.68	1.65	2.43	4.34	10.74	40.60
$\Delta c^*$	2.7	2.34	3.07	2.40	1.73	1.75	1.69	1.87	2.11	3.29	5.52	12.61	42.05
$\Delta H^*$	98.16	-0.41	-0.12	-0.47	-0.73	-0.99	-1.71	-1.57	-2.12	-2.73	-3.19	-4.08	-4.38
$\Delta E$		3.73	3.92	3.03	3.07	2.62	2.41	2.47	3.01	5.17	7.32	15.33	45.74
		Fail											

Tabla No. 49 Lecturas con el colorímetro, amarillo 1 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	0.05	1.02	0.10	0.66	-0.95	-0.09	-1.66	-2.46	-2.69	-2.8	-6.14	-18.67
$\Delta a^*$	-0.38	1.07	0.68	0.82	1.19	0.99	1.56	2.47	2.97	4.58	4.62	5.36	11.49
$\Delta b^*$	2.68	2.35	2.49	2.53	2.55	2.52	2.15	1.25	1.58	2.44	2.39	7.24	37.76
$\Delta c^*$	2.7	2.37	2.48	2.52	2.58	2.53	2.27	1.74	2.28	3.92	3.9	8.39	39.23
$\Delta H^*$	98.16	-1.03	-0.75	-0.84	-1.11	-0.97	-1.39	-2.15	-2.47	-3.41	-3.44	-3.28	-4.34
$\Delta E$		2.58	2.78	2.66	2.89	2.87	2.66	3.23	4.17	5.85	5.91	10.9	43.66
		Fail											

### Amarillo 2

Tabla No. 50 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	5	1.01	-1.15	0.44	-1.48	-3.27	-2.84	-4.51	-6.71	-12.27	-21.09	-28.77
$\Delta a^*$	-0.38	-0.86	-0.72	-0.62	-0.57	-0.53	-0.74	-1.2	-1.23	-2.71	-5.01	-8.8	-12.82
$\Delta b^*$	2.68	2.47	1.93	1.54	1.26	1.13	0.46	1.02	1.37	3.63	5.56	8.92	35.58
$\Delta c^*$	2.7	2.59	2.03	1.63	1.35	1.21	0.63	1.08	1.66	4.32	7.14	12.09	37.77
$\Delta H^*$	98.16	0.36	0.34	0.31	0.32	0.3	0.6	-1.14	0.81	1.36	2.24	3.3	1.84
$\Delta E$		2.62	2.29	2.01	1.45	1.93	3.38	3.25	4.87	8.1	14.37	24.53	47.52
		Fail	Fail	Fail	Pass	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail

Tabla No. 51 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	0.51	-2.38	-1.01	-1.35	-2.53	-2.23	-2.09	-2.72	-4.403	-5.8	-12.01	-29.76
$\Delta a^*$	-0.38	-0.03	-0.31	-0.01	-0.19	-0.05	0.29	0.23	-0.22	-0.51	-1.77	-4.09	-12.03
$\Delta b^*$	2.68	2.25	2.39	1.7	1.64	1.18	1.13	1.16	1.3	1.68	4.19	5.77	25.41
$\Delta c^*$	2.7	2.24	2.41	1.69	1.65	1.18	1.1	1.14	1.31	1.75	4.49	6.86	28
$\Delta H^*$	98.16	-0.21	-0.02	-0.18	-0.03	-0.1	-0.38	-0.33	-0.06	0.2	0.71	1.74	2.49
$\Delta E$		2.3	3.39	1.97	2.13	2.79	2.51	2.4	3.02	4.4	7.37	13.94	40.94
		Fail	Fail	Fail	Fail								

Tabla No. 52 Lecturas con el colorímetro, amarillo 2 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color amarillo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-0.05	-0.24	-0.7	-1.51	-1.78	-1.79	-1.95	-3.61	-2.61	-4.34	-9.11	-33.65
$\Delta a^*$	-0.38	-0.8	-0.5	-0.53	-0.46	-0.81	-0.55	-0.43	-0.82	-2.01	-1.46	-3.07	-12.7
$\Delta b^*$	2.68	2.73	2.04	2.02	2.04	1.61	1.34	1.4	1.49	3.91	3.14	5.39	28.25
$\Delta c^*$	2.7	2.83	2.09	2.08	2.09	1.74	1.42	1.46	1.64	4.31	3.4	6.07	30.88
$\Delta H^*$	98.16	0.28	0.15	0.18	0.13	0.45	0.29	0.18	0.48	0.89	0.67	1.27	2.45
$\Delta E$		2.85	2.11	2.2	2.58	2.53	2.3	2.44	3.99	5.11	5.55	11.02	45.74
		Fail											

## Rojo 1

Tabla No. 53 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-5.22	-5.82	-5.38	-5.36	-5.19	-4.67	-6.67	-7.75	-9.34	-15.02	-23.33	-42.97
$\Delta a^*$	-0.38	5.1	4.92	5.19	4.66	4.33	5.63	5.82	7.45	7.77	12.02	20.55	45.36
$\Delta b^*$	2.68	-0.68	-1.01	-1.5	-1.22	-1.35	-1.61	-1.54	-1.17	0.9	3.92	7.31	6.19
$\Delta c^*$	2.7	2.42	2.13	2.25	1.82	1.46	2.65	2.85	4.52	5.5	10.67	19.8	43.14
$\Delta H^*$	98.16	-4.53	-4.54	-4.92	-4.45	-4.29	-5.22	-5.3	-6.03	-5.56	-6.78	-9.15	-15.32
$\Delta E$		7.33	7.68	7.63	7.2	6.89	7.49	8.99	10.6	12.18	19.63	31.93	62.78
		Fail	Fail	Fail									

Tabla No. 54 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-1.52	-1.23	-3.69	-3.61	-3.44	-3.34	-6.79	-5.67	-7.11	-8.68	-14.75	-40.73
$\Delta a^*$	-0.38	5.49	5.87	7.85	6.89	5.65	6.55	6.85	7.33	7.72	9.34	13.73	40.15
$\Delta b^*$	2.68	-1.01	-1.04	-2.18	-1.86	-1.47	-1.89	-2.21	-1.85	-0.79	0.81	3.58	8.26
$\Delta c^*$	2.7	2.67	3.02	4.78	3.86	2.7	3.51	3.78	4.3	4.87	6.91	12.03	38.54
$\Delta H^*$	98.16	-4.9	-5.14	-6.6	-6.01	-5.18	-5.84	-6.13	-6.22	-6.04	-6.34	-7.51	-13.96
$\Delta E$		5.79	6.08	8.94	8	6.78	7.59	9.89	9.45	10.53	12.78	20.47	57.79
		Fail	Fail										

Tabla No. 55 Lecturas con el colorímetro, rojo 1 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-3.41	-4	-1.77	-3.75	-5.75	-3.17	-4.56	-7.14	-6.46	-9.4	-10.92	-40.18
$\Delta a^*$	-0.38	6.07	6.46	7.22	6.8	6.27	6.54	6.85	6.57	8.11	8.5	9,33	43.31
$\Delta b^*$	2.68	-1.44	-1.82	-1.99	-1.65	-1.5	-1.88	-2.2	-1.65	-2.4	-1.75	0.6	7.65
$\Delta c^*$	2.7	3.12	3.43	4.16	3.8	3.3	3.51	3.78	3.57	5.04	5.47	6.82	41.45
$\Delta H^*$	98.16	-5.4	-5.76	-6.22	-5.87	-5.54	-5.83	-6.12	-5.76	-6.79	-6.74	-6.39	-15.71
$\Delta E$		7.11	7.81	7.69	7.93	8.64	7.51	8.52	10.14	10.64	12.4	14.37	59.57
		Fail	Fail										

### Rojo 2

Tabla No. 56 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-6.02	-4.09	-5.8	-7.18	-8.47	-9.47	-7.59	-6.18	-8.58	-20.66	-27.26	-46.72
$\Delta a^*$	-0.38	4.59	5.05	4.71	5.54	6.62	5.83	6.12	6.44	6.8	7.49	9.93	31.58
$\Delta b^*$	2.68	-1.61	-1.59	-1.53	-1.88	-2.43	-2.44	-2.34	-2.89	-4.11	-8.33	-10.77	-15.8
$\Delta c^*$	2.7	1.64	2.09	1.79	2.54	3.58	2.77	3.05	3.36	3.87	6.38	9.81	31.14
$\Delta H^*$	98.16	-4.58	-4.86	-4.62	-5.27	-6.08	-5.68	-5.8	-6.2	-6.93	-9.2	-10.87	-16.65
$\Delta E$		7.74	6.69	7.63	9.27	11.02	11.39	10.3	9.38	11.69	23.5	30.94	58.56
		Fail	Fail	Fail									

Tabla No. 57 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-1.71	-2.31	-2.41	-3.97	-3.66	-4.48	-4.08	-8.36	-8.75	-11.21	-17.95	-44.38
$\Delta a^*$	-0.38	4.19	3.51	4.13	4.24	4.52	5.28	5.56	5.79	5.76	6.27	6.42	25.62
$\Delta b^*$	2.68	-1.77	-1.87	-2.24	-2.41	-2.51	-2.88	-2.83	-3.37	-3.82	-5.27	-7.31	-16.14
$\Delta c^*$	2.7	1.21	0.53	1.08	1.16	1.43	2.19	2.48	2.75	2.79	3.73	4.91	25.99
$\Delta H^*$	98.16	-4.38	-3.94	-4.57	-4.74	-4.96	-5.59	-5.73	-6.11	-6.32	-7.29	-80.4	-15.69
$\Delta E$		4.86	4.6	5.28	6.29	6.33	7.49	7.45	10.72	11.15	13.89	20.42	53.73
		Fail	Fail	Fail									

Tabla No. 58 Lecturas con el colorímetro, rojo 2 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color rojo 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-3.24	-2.05	-2.54	-4.35	-3.49	-3.78	-4.05	-5.28	-6.44	-7.8	-11.79	-40.99
$\Delta a^*$	-0.38	4.75	4.48	4.71	4.14	4.27	4.49	5.39	5.92	7.46	7.16	6.26	23.62
$\Delta b^*$	2.68	-2.23	-2.18	-2.27	-2.26	-2.17	-2.28	-2.52	-3.07	-3.69	-4.39	-5.04	-16.7
$\Delta c^*$	2.7	1.69	1.43	1.64	1.07	1.22	1.43	2.31	2.85	4.45	4.29	3.64	24.44
$\Delta H^*$	98.16	-4.97	-4.78	-4.96	-4.59	-4.63	-4.83	-5.48	-6.03	-7.03	-7.21	-7.16	-15.48
$\Delta E$		6.17	5.39	5.81	6.41	5.93	6.3	7.2	8.51	10.52	11.46	14.27	50.17
		Fail	Fail										

## Azul 1

Tabla No. 59 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-2.46	-2.26	-2.39	-2.18	-3.88	-5.98	-6.44	-14.11	-13.71	-17.59	-28.13	-61.5
$\Delta a^*$	-0.38	-0.28	-1.02	-0.37	-0.79	-0.61	-0.62	-0.65	-2.44	-2.72	-4.43	-6.99	-7.85
$\Delta b^*$	2.68	-1.38	-2.49	-1.41	-1.99	-1.26	-1.44	-1.69	-3.12	-3.33	-2.18	-4.12	-21.4
$\Delta c^*$	2.7	-1.25	-1.26	-1.19	-1.34	-0.95	-0.99	-1.28	0-17	0.47	2.14	4.82	17.75
$\Delta H^*$	98.16	0.66	2.35	0.78	1.66	1	1.08	1.28	3.95	4.28	4.45	6.53	14.3
$\Delta E$		2.83	3.52	2.8	3.06	4.13	6.18	6.69	14.66	14.37	18.27	29.28	65.58
		Fail	Fail	Fail	Fail	Fail							

Tabla No. 60 Lecturas con el colorímetro, azul 1 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-3.92	-4.61	-4.7	-5.58	-6.99	-8.02	-3.44	-7.63	-8.16	-11.81	-21.27	-61.12
$\Delta a^*$	-0.38	-0.31	-0.54	-0.38	-0.44	-0.37	-0.3	-0.32	-0.57	-1.54	-2.37	-5.92	-9.98
$\Delta b^*$	2.68	-1.05	-1.34	-1.26	-1.52	-1.74	-1.62	-2.05	-2.99	-2.94	-2.7	-2.64	-18.47
$\Delta c^*$	2.7	-0.93	-1.07	-1.09	-1.28	-1.5	-1.44	-1.76	-1.7	-0.51	0.05	3.60	16.18
$\Delta H^*$	98.16	0.57	0.96	-0.73	92	0.95	0.79	1.1	2.52	3.28	3.59	5.39	13.37
$\Delta E$		4.07	4.83	4.88	5.8	7.21	8.19	4.01	8.21	8.81	12.34	22.24	64.63
		Fail	Fail	Fail									

Tabla No. 61 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 1 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-3.77	-2.24	-1.22	-4.05	-2.09	-3.53	-4.15	-5.51	-6.08	-8.39	-16.54	-56.63
$\Delta a^*$	-0.38	-0.43	0.01	-0.37	-0.19	-0.27	-0.22	-0.38	-0.47	-0.45	-1.06	-4.05	-10.85
$\Delta b^*$	2.68	-1.67	-1.62	-1.83	-0.48	-1.06	-1.25	-2.57	-2.27	-1.8	-2.24	-3.26	-17.39
$\Delta c^*$	2.7	-1.41	-0.59	-1.57	-0.44	-0.95	-1.16	-1.94	-1.76	-1.5	-1.2	1.78	15.81
$\Delta H^*$	98.16	0.99	0.34	1.01	0.28	0.53	0.53	1.73	1.52	1.09	2.17	4.88	13.04
$\Delta E$		4.14	2.77	2.23	4.08	2.36	3.75	4.9	5.98	6.35	8.75	17.34	60.22
		Fail	Fail										

### Azul 2

Tabla No. 62 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 1°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 1°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

1°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-3.1	-3.46	-5.62	-4.84	-6.91	-6.46	-6.7	-8.1	-18.68	-23.59	-28.85	-62.68
$\Delta a^*$	-0.38	-0.44	-0.09	0.15	0.03	0.25	0.07	0.46	0.48	-0.68	-0.86	-2.8	-2.53
$\Delta b^*$	2.68	-2.18	-1.98	-1.78	-2.11	-2.6	-3.44	-3.78	-4.69	-8.2	-9.62	-16.64	-27.75
$\Delta c^*$	2.7	-1.74	-1.86	-1.78	-2.03	-2.56	-1.87	-1.6	-0.69	2.92	4.35	11.62	22.54
$\Delta H^*$	98.16	1.38	0.67	0.19	0.55	0.56	2.84	3.4	4.63	7.69	8.61	12.23	16.37
$\Delta E$		3.82	3.98	5.9	5.28	7.38	7.32	7.7	9.37	20.41	25.49	33.42	68.6
		Fail	Fail	Fail	Fail								

Tabla No. 63 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 2°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 2°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

2°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-2.79	-2.72	-3.05	-3.34	-5.34	-6.76	-5.99	-9.17	-9.28	-14.48	-23.2	-58.93
$\Delta a^*$	-0.38	-0.17	-0.45	0.2	-0.2	0.33	0.54	0.9	0.75	0.79	0.63	-1.08	-4.98
$\Delta b^*$	2.68	-2.02	-2.45	-2.11	-2.39	-2.16	-2.2	-2.1	-3.45	-4.36	-5.78	-10.29	-26.07
$\Delta c^*$	2.7	-1.84	-21.84	-2.1	-2.06	-2.12	-2.2	-1.93	-1.85	-0.97	0.41	5.05	21.3
$\Delta H^*$	98.16	0.84	1.68	0.22	1.23	-0.04	-0.53	-1.22	-3.01	-3.11	5.7	9.02	15.82
$\Delta E$		3.45	3.69	3.71	4.11	5.77	7.13	6.41	9.82	10.29	15.6	25.4	64.63
		Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail

Tabla No. 64 Lecturas con el colorímetro, azul 2 a 4°C/min

Lecturas con el colorímetro, usando como referencia tela blanca sin teñir, para color azul 2 en muestras cada 10°C hasta 130°C elevando la temperatura a 4°C/min y manteniendo la temperatura de 130°C por 45 min. en la última muestra.

4°C/min	Blanco	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T (°C)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130
$\Delta L^*$	90.54	-4.51	-3.63	-5.47	-1.54	-4.12	-3.58	-5.4	-5.76	-5.76	-7.1	-14.82	-52.94
$\Delta a^*$	-0.38	0.56	0.29	0.99	0.54	0.5	0.68	1.06	1.22	1.54	1.43	0.89	-4.36
$\Delta b^*$	2.68	-1.21	-1.3	-1.14	-1.08	-1.73	-1.37	-1.45	-1.26	-0.97	-3.29	-5.92	-27.26
$\Delta c^*$	2.7	-1.23	-1.33	-1.05	-1.11	-1.75	-1.36	-1.31	-1.05	-0.64	-1.49	0.58	22.24
$\Delta H^*$	98.16	-0.52	-0.15	-0.08	-0.32	-0.43	-0.7	-1.23	-1.39	-1.7	-3.26	-4.05	16.18
$\Delta E$		4.7	3.87	5.68	1.92	4.5	3.88	5.69	6.02	6.04	7.75	15.99	59.99
		Fail	Fail										

#### 10.4 Imágenes de muestras obtenidas en la fase experimental

Figura No. 13 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura para 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 1

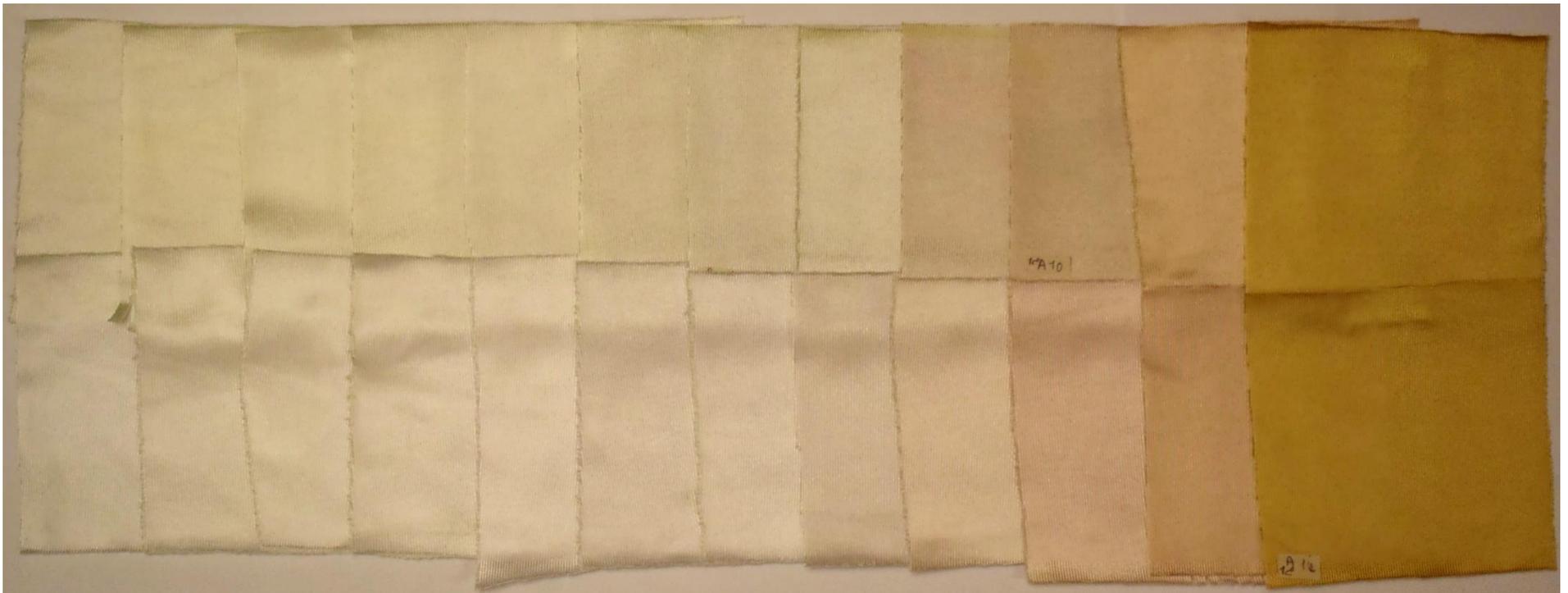


Figura No. 14 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 1



Figura No. 15 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 1



Figura No. 16 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 2.



Figura No. 17 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 2

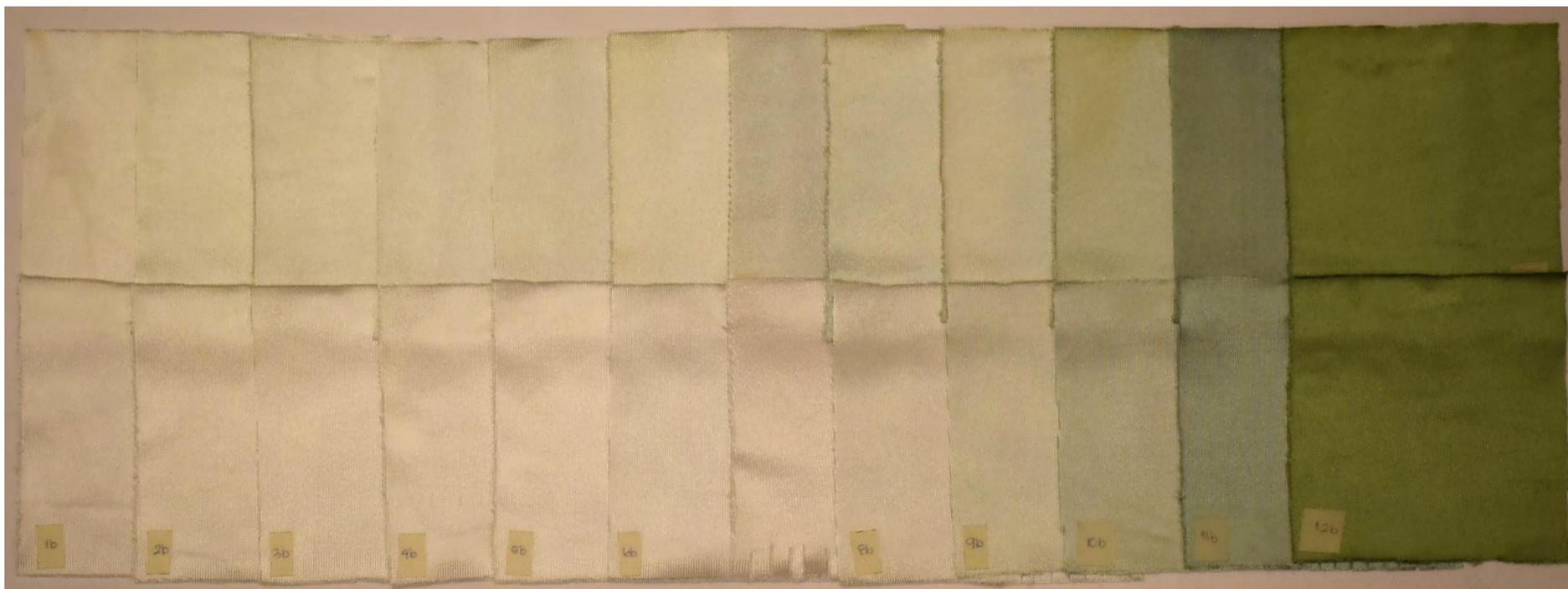


Figura No. 18 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color amarillo 2



Figura No. 19 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1

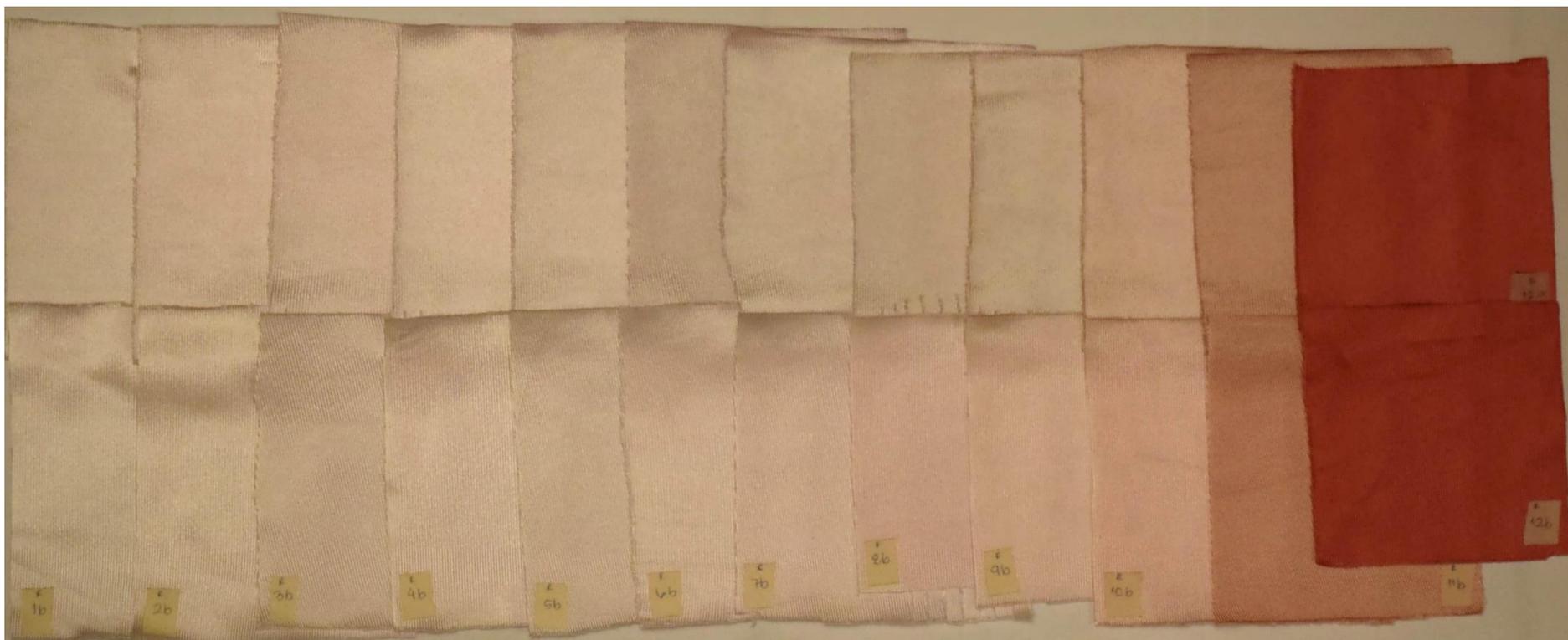


Figura No. 20 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1

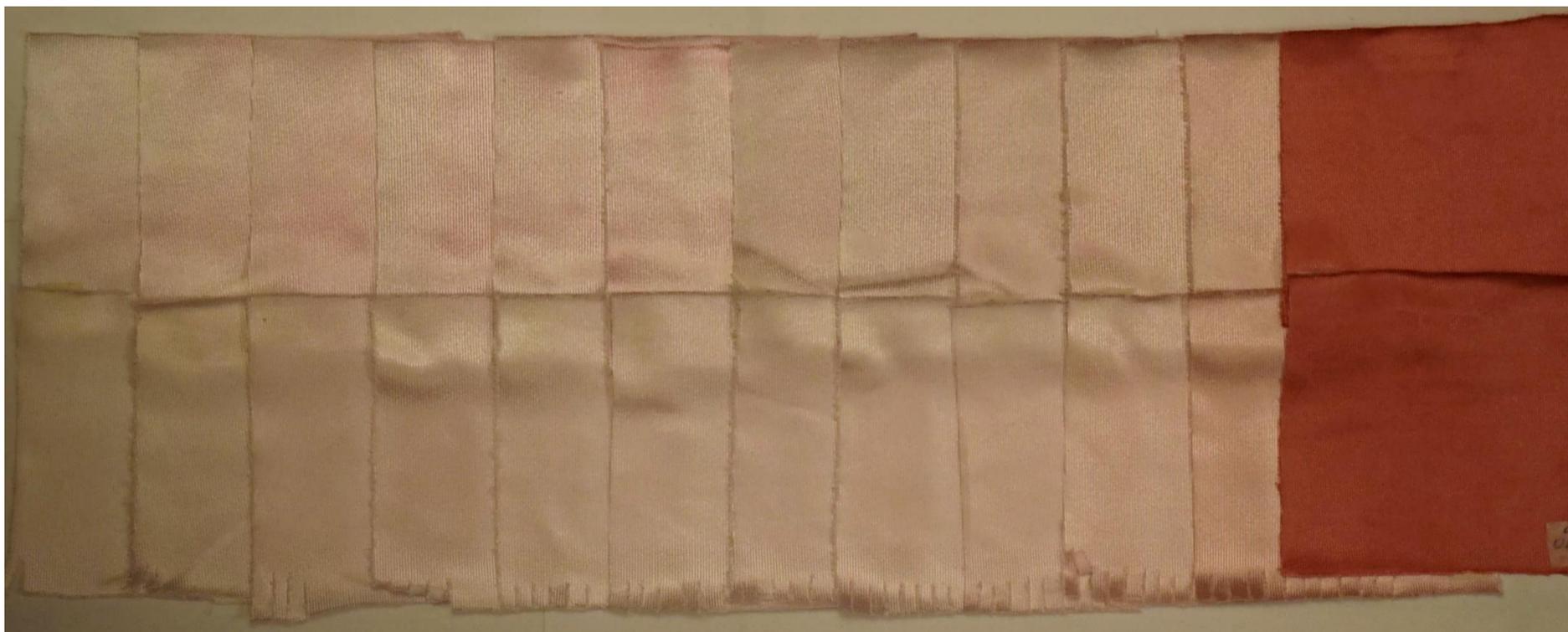


Figura No. 21 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 1

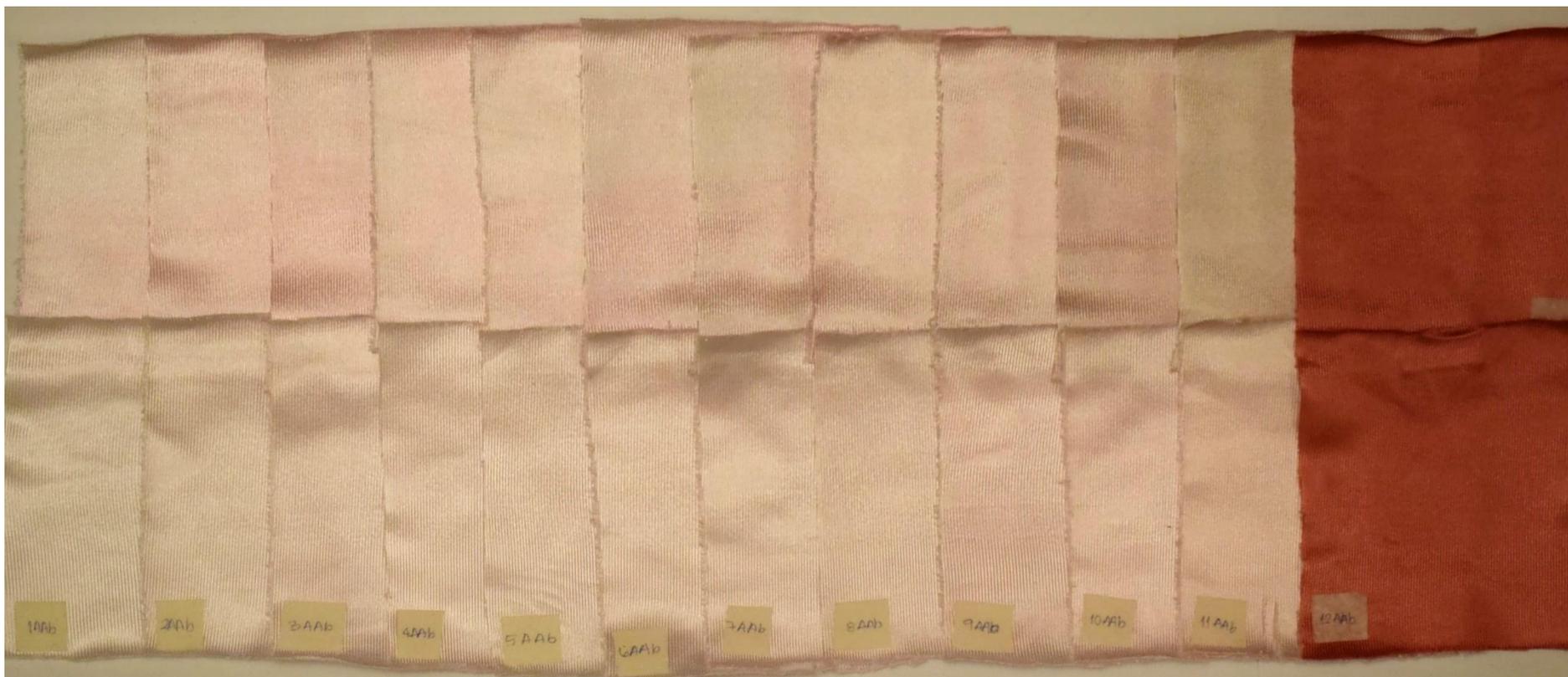


Figura No. 22 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2



Figura No. 23 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2



Figura No. 24 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color rojo 2



Figura No. 25 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1



Figura No. 26 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1

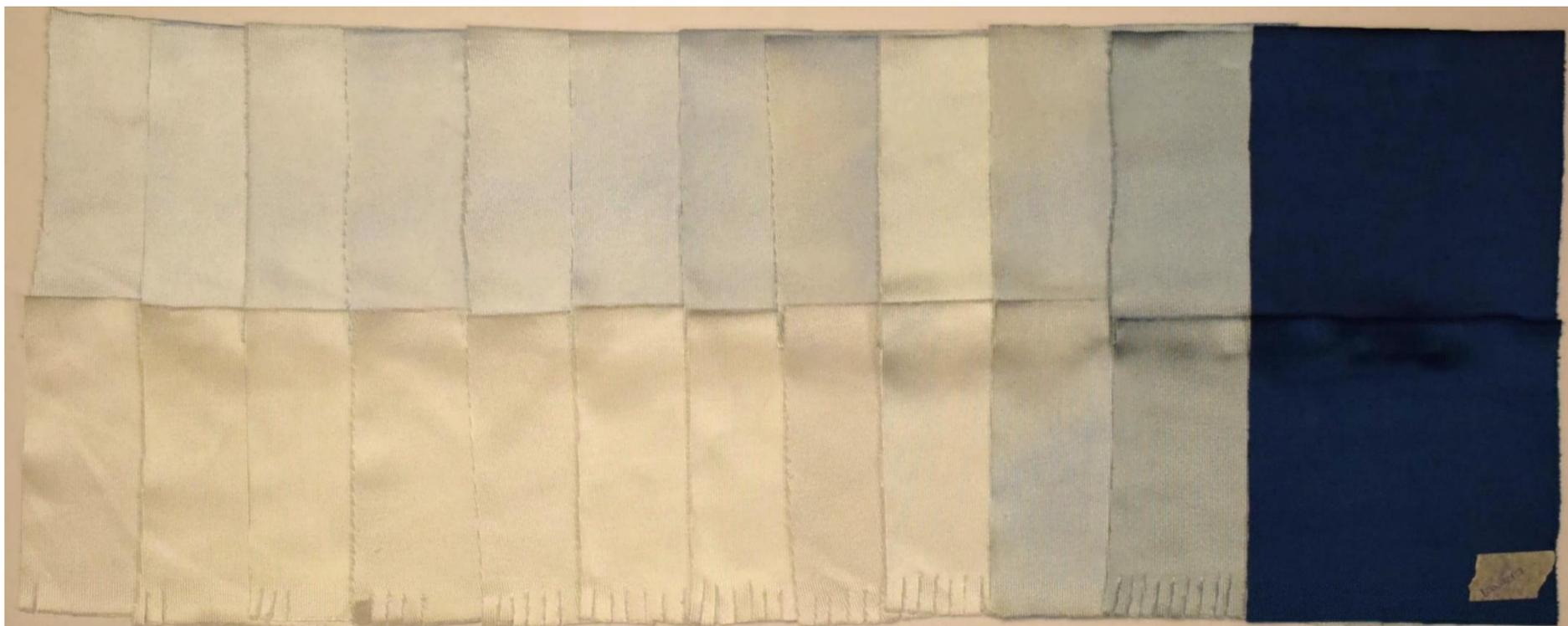


Figura No. 27 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 1



Figura No. 28 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 1°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2



Figura No. 29 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 2°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2

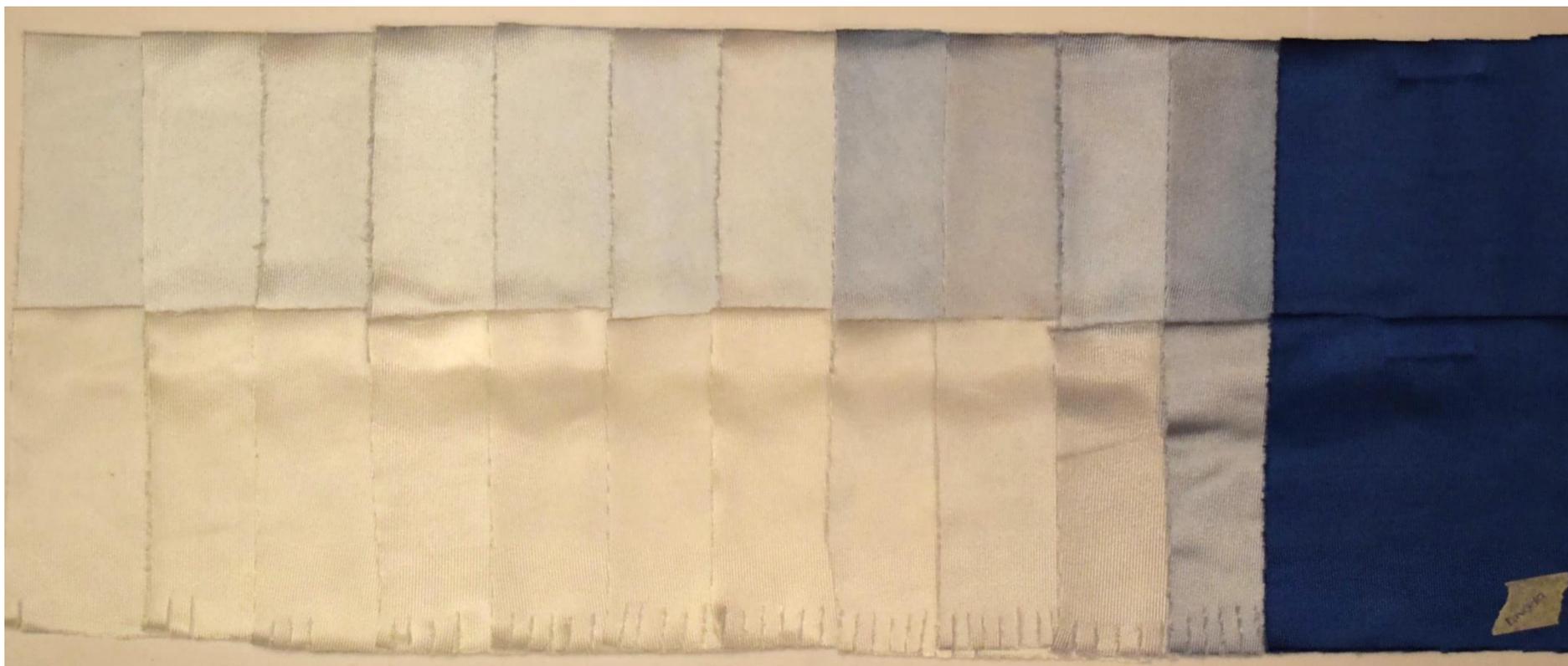


Figura No. 30 Muestras obtenidas en el proceso de aumento de temperatura a 4°C/min desde 30°C hasta 130°C y una última muestra manteniendo la temperatura de 130°C por 45 minutos para el color azul 2



Figura No. 31 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color amarillo 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



Figura No. 32 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color amarillo 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



Figura No. 33 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color rojo 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



Figura No. 34 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color rojo 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



Figura No. 35 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color azul 1 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



Figura No. 36 Muestras obtenidas cada 15 minutos a 130°C para el color azul 2 comparando los resultados del método actual (izquierda) con el proceso diseñado (derecha)



**10.5 Escala de calentamiento para proceso actual y el diseñado**

Gráfico No. 13 Escala de calentamiento para el proceso actual

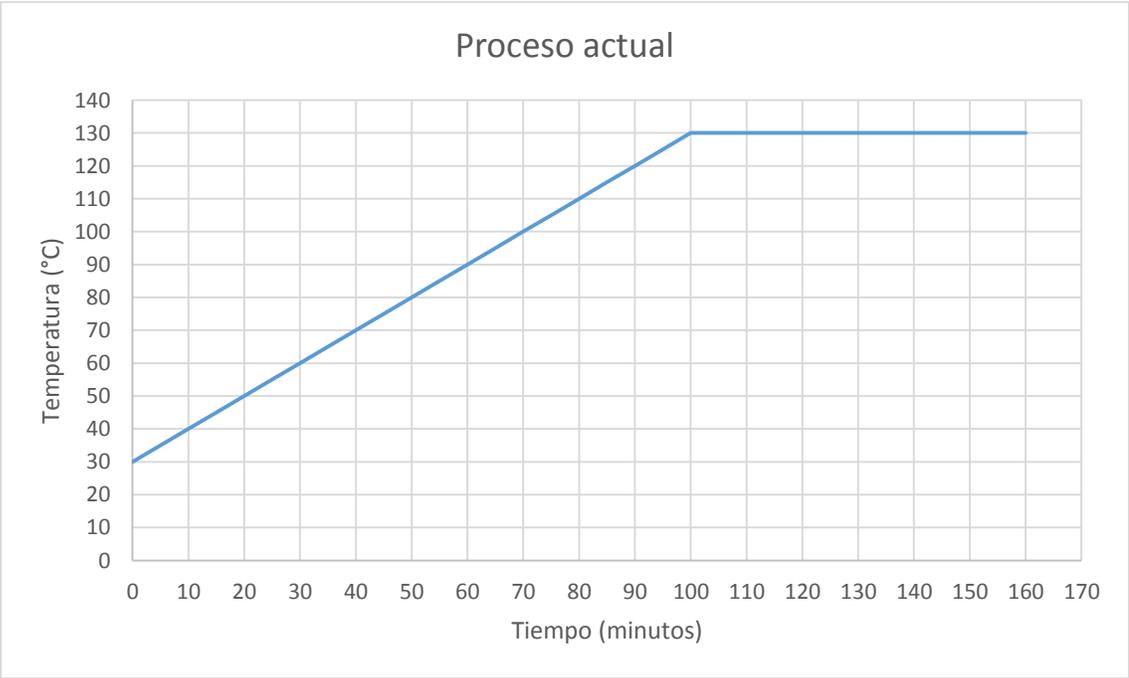
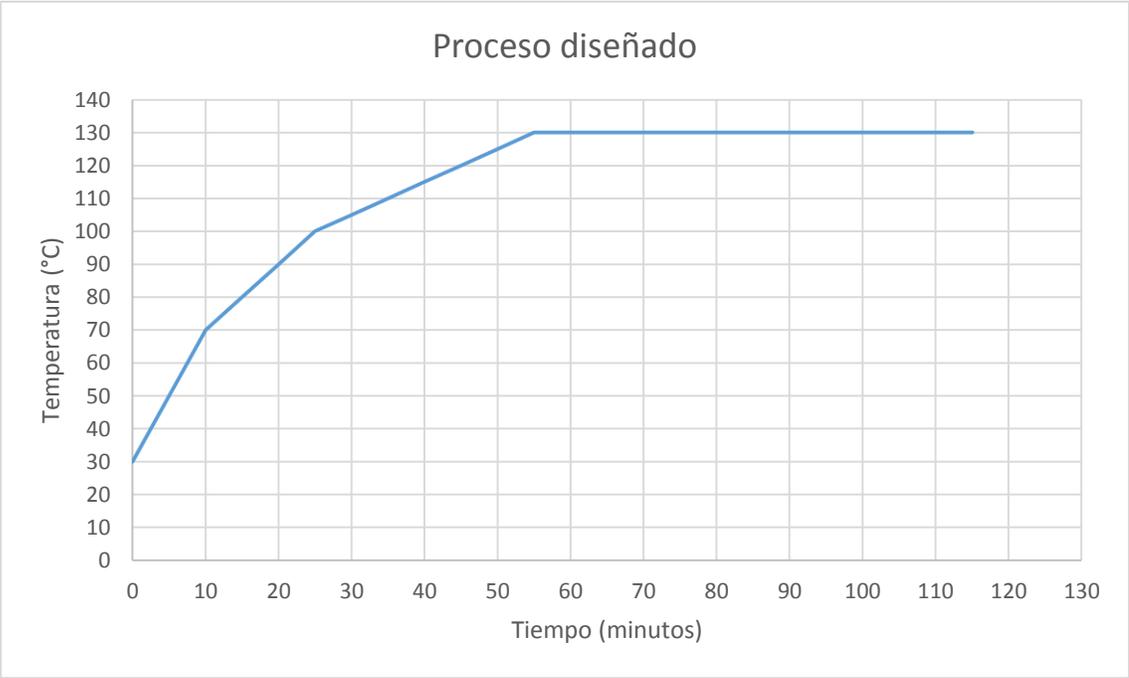


Gráfico No. 14 Escala de calentamiento para el proceso diseñado



## 10.6 Ficha técnica del dispersante Farmasperse

### FARMACOLOR

Km. 20 Carretera a San José Pinula,

### MATERIAL SAFETY DATA SHEET

#### 1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

Nombre del producto..... **FARMASPERSE**  
 Composición Química..... Sal de poli-acrilato  
 CAS Numero del producto..... No asignado  
 NFPA Escala: (Escala 0-4) Salud = 1  
 Flama = 0  
 Reactividad = 0

#### 2. INGREDIENTES PELIGROSOS

Nombre del Ingrediente.....  
 Numero CAS.....  
 Limite de exposición.....

Este producto no contiene ningún ingrediente peligroso, como definido en el 29 CFR, Sección 1910.1200.

#### 3. DATOS FISICOS

Material puro o mezcla..... Mezcla  
 Apariencia Física..... Líquido claro cristalino  
 Olor..... Ninguno  
 pH..... 7.5 - 8.5  
 Punto de solidificación..... Líquido a temperatura ambiente  
 Punto de Ebullición..... Arriba de 93°C  
 Gravedad Específica..... 1.15 - 1.17  
 Solubilidad en Agua..... Soluble

#### 4. FLAMA Y DATOS EXPLOSIVOS

Peligro Explosión y Flama: No conocido  
 Punto de ebullición..... Arriba de 93°C  
 Medio de extinción de flama: Agua, Dióxido de carbono, químico seco o espuma.  
 Procedimiento para extinción de fuego: Utilice aparatos de respiración para protegerse de vapores potencialmente tóxicos o irritantes. Enfrie los recipientes expuestos al calor o flama con agua.

Producto **FARMASPERSE**

#### 5. DATOS SOBRE EFECTOS EN LA SALUD

Ruta principal de entrada: Contacto con la piel.

Efectos de exposición:

Ojos: Puede ser irritante, aunque no dañino si se remueve inmediatamente.

Piel: Contacto prolongado o frecuente puede causar irritación en personas susceptibles.

Inhalación: No es un problema en condiciones normales.

Ingestión: No conocido.

Cancerígenos: No tiene ningún componente listado por NTP, IARC o la OSHA.

#### 6. PROCEDIMIENTOS Y PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos: Lave con agua por 15 minutos, si se desarrolla irritación o persiste, adquiera atención médica.

Contacto con la Piel: Lave las áreas expuestas con agua, y remueva la indumentaria contaminada para lavarla antes de volver a usar.

Inhalación: Inhale aire fresco, si se dificulta la respiración aplique oxígeno. Si se ha suspendido la respiración, de respiración artificial.

Ingestión: Induzca el vomito, adquiera atención médica.

#### 7. RECOMENDACIONES PARA EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

Vestimenta: Suficiente para proteger de contacto con sustancia líquida.

Equipo de Protección: Guantes y gafas.

Respiradores: Si los límites de exposición se exceden (Ver sección 2), use un respirador aprobado por la NIOSH.

Ventilación: Ventilación ambiente normal.

#### 8. REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable.

Incompatibilidad: Agentes reductores y oxidants fuertes.

Polimerización peligrosa: No ocurre.

Productos de descomposición peligrosos: CO, CO2 y compuestos orgánicos desconocidos.

Producto **FARMASPERSE**

**9. PROCEDIMIENTOS PARA FUGAS O DERRAMES**

Derrames o fugas: Trate de recuperar la mayor cantidad posible, y evite que la fuga o el derrame continúe. Lave el área con agua.

Desperdicios: De acuerdo a las leyes locales de ambiente.

**10. PRECAUCIONES DE MANEJO Y ALMACENAJE**

Almacenarlo en botégas a temperatura ambiental

Condiciones de temperatura y almacenaje

Otras precauciones: No permita que se congele.

**11. INFORMACION DE DESPACHO**

DOT Nombre de despacho: Auxiliar textil

DOT Clase de peligrosidad: No regulado

DOT ID No.: No aplica

DOT Cantidad reportada: No aplica

**12. OTRAS REGULACIONES**

TSCA: Todos los componentes listados en el inventario TSCA.

SARA Título III: No contiene sustancias sujetas a los requerimientos contenidos en SARA, Capítulo III, Sección 313.

**13. INFORMACION DE LA RESPONSABILIDAD SOBRE EL PRODUCTO**

LA INFORMACION PROPORCIONADA Y LAS RECOMENDACIONES AQUÍ ESTABLECIDAS, APLICAN ÚNICAMENTE A NUESTROS PRODUCTOS POR SÍ SOLOS, Y NO EN COMBINACION CON OTRO(S) PRODUCTO(S). ESTE DOCUMENTO SE BASA EN NUESTRAS INVESTIGACIONES, Y SE CREEN EXACTAS. ES RESPONSABILIDAD DEL COMPRADOR VERIFICAR ESTOS DATOS ANTES DE UTILIZAR EL PRODUCTO, Y BASADO EN LAS CONDICIONES DE SU OPERACION. ASI MISMO, ES RESPONSABILIDAD DEL COMPRADOR DETERMINAR SI EL PRODUCTO PUEDE TRABAJARSE EN LAS CONDICIONES DE OPERACION EN SU PLANTA. NINGUNA OTRA GARANTIA SE IMPLICA EN ESTE DOCUMENTO.

Fecha de preparación: 15/01/2012