



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

**OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE
RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y
DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA.**

Rocío Alejandra Lira Letrán

Asesorado por la Inga. Ángela María Sánchez Montenegro

Guatemala, febrero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE
RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y
DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ROCÍO ALEJANDRA LIRA LETRÁN

ASESORADO POR LA INGA. ÁNGELA MARÍA SÁNCHEZ MONTENEGRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 24 de marzo de 2014.

Rocío Alejandra Lira Letrán

Guatemala, 17 de noviembre de 2014

Ing. Víctor Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
USAC
Presente

Por este medio yo, Ángela María Sánchez Montenegro, en calidad de asesora técnica, hago constar que apruebo el informe final de EPS de seis meses, titulado "OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA." presentado por la estudiante Rocío Alejandra Lira Letrán, quién se identifica con carné No. 200915362.

Sin otro particular.



ANGELA MARIA
SANCHEZ MONTENEGRO
INGENIERA QUÍMICA
Colegiado No. 1563

Ángela María Sánchez Montenegro

Colegiado: 1563

angela_sanchez@huntsman.com

Tel. 22857777 ext.1081



Guatemala, 28 de octubre de 2014.
Ref.EPS.DOC.1097.10.14.

Ing. Juan Merck Cos
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Merck Cos.

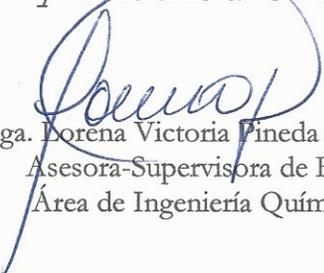
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Rocío Alejandra Lira Letrán** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200915362**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA"**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
LVPC/ra



Guatemala, 28 de octubre de 2014.
Ref.EPS.D.628.10.14.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Rocío Alejandra Lira Letrán**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

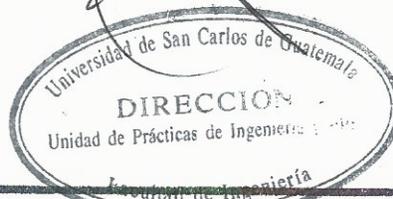
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica
EIQD-REG-TG-008

Guatemala, 18 de noviembre de 2014
Ref. EIQ.TG-IF.060.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **003-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN -Modalidad Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Rocío Alejandra Lira Letran**.
Identificada con número de carné: **2009-15362**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

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

OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Ángela María Sánchez Montenegro**.

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

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.015.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado **(EPS final)** de la estudiante **ROCÍO ALEJANDRA LIRA LETRÁN** titulado: **"OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero de 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale





DTG. 041.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **OBTENCIÓN DE 60 CURVAS COLORIMÉTRICAS PATRÓN UTILIZADAS PARA LA PREDICCIÓN DE RECETAS DE TINTURA, MEDIANTE LOS SOFTWARES COLORIMÉTRICOS HELIOS 31 Y DATACOLOR MATCH TEXTILE EN HUNTSMAN TEXTILE EFFECTS (GUATEMALA) LTDA.**, presentado por la estudiante universitaria **Rocío Alejandra Lira Letrán**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de febrero de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su misericordia y enseñanza en cada etapa de mi vida.
Mis padres	Leonel Lira y Lissette Letrán, por su guía y amor incondicional.
Mi hermana	Lisamaría Lira, por sus consejos y ayuda siempre que lo necesité.
Mis abuelos	Catalina Prado, Rubén Letrán y Margarita Saavedra, por su amor y legado.
Mi familia	Por su motivación en el alcance de mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por su compromiso con mi preparación educacional a nivel universitario.
Facultad de Ingeniería	Por su dedicación en la implementación de métodos de enseñanza a nivel superior.
Mis compañeros de la Facultad	Por los momentos compartidos, su apoyo incondicional y amistad a lo largo de mi carrera.
Jeannette López	Por su asesoría y apoyo en mi crecimiento profesional.
Personal de Huntsman Textile Effects (Guatemala) Ltda.	Abdeel Sotz y Venancio Gómez, por la confianza depositada en mí para el desarrollo de sus proyectos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LÍSTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
Hipótesis	XX
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Fibras.....	3
2.1.1. Tipos de fibra.....	3
2.1.1.1. Fibras sintéticas.....	4
2.1.1.2. Fibras naturales	9
2.2. Colorantes	10
2.2.1. Colorantes usados en algodón	10
2.2.1.1. Reactivos.....	11
2.2.2. Colorantes usados en poliéster	13
2.2.2.1. Dispersos.....	13
2.2.3. Colorantes usados en poliamida	14
2.2.3.1. No metálicos	14
2.2.3.2. Complejos metálicos.....	15
2.3. Auxiliares químicos en el proceso de tintura e hidratación	15

2.3.1.	Antiespumante	17
2.3.2.	Secuestrante	17
2.3.3.	Agente inhibidor de reducción	17
2.3.4.	Buffer ácido	17
2.3.5.	Lubricante	18
2.3.6.	Dispersante	18
2.4.	Tintura por agotamiento	18
2.4.1.	Tintura de algodón	22
2.4.1.1.	Isoterma de Freundlich.....	23
2.4.2.	Tintura de poliéster.....	25
2.4.2.1.	Isoterma de Nernst.....	25
2.4.3.	Tintura de poliamida.....	25
2.4.3.1.	Isoterma de Langmuir.....	26
2.4.4.	Tratamientos posteriores al proceso de tintura	27
2.4.4.1.	Algodón	27
2.4.4.2.	Poliéster	27
2.4.4.3.	Poliamida.....	28
2.5.	Colorimetría.....	28
2.5.1.	Parámetros de estudio	30
2.5.1.1.	Color.....	30
2.5.1.2.	Sistema CIE	31
2.5.1.2.1.	Fuentes de luz	31
2.5.1.2.2.	Observador	33
2.5.1.3.	Sistema CIELAB.....	34
2.5.1.4.	Sistema CIE LCH	34
2.5.1.5.	Otros parámetros colorimétricos	35
2.5.1.5.1.	Intensidad lumínica de referencia (RD)	36

	2.5.1.5.2.	Intensidad lumínica relativa (Rtd).....	36
2.6.		Espectrofotometría	36
	2.6.1.	Espectrofotómetro colorimétrico	37
		2.6.1.1. Parámetros de medición	38
3.		DISEÑO METODOLÓGICO	41
	3.1.	Variables.....	41
	3.2.	Delimitación de campo de estudio	42
	3.3.	Recurso humano disponible	42
	3.4.	Recursos materiales disponibles	43
		3.4.1. Equipo	43
		3.4.2. Reactivos.....	44
	3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	45
		3.5.1. Construcción de la curva colorimétrica característica para cada colorante.....	45
		3.5.2. Evaluación de los resultados mediante escala de color CIE LAB	46
	3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	46
		3.6.1. Tintura por agotamiento.....	46
		3.6.1.1. Algodón.....	46
		3.6.1.2. Poliéster.....	48
		3.6.1.3. Poliamida.....	49
		3.6.2. Medición de muestras en espectrofotómetro colorimétrico	57
		3.6.3. Obtener la curva de intensidad lumínica de referencia del colorante (RD).....	57
		3.6.3.1. Intensidad lumínica de referencia (RD) ...	57
		3.6.3.1.1. Ecuación Kubelka – Munk..	58

3.6.4.	Implementación de los resultados en la base de datos de los softwares usados	58
3.6.5.	Evaluación de la predicción de recetas de tintura a partir de la nueva base de datos	59
3.6.5.1.	Determinación de estándares de color	59
3.6.5.2.	Predicción de recetas de tintura mediante Helios 31 y Datacolor Match Textile.....	59
3.6.5.3.	Determinación de la intensidad lumínica relativa (Rtd).....	59
3.6.5.3.1.	Margen de exactitud (E_{96}) ...	60
3.6.6.	Determinación de parámetros colorimétricos mediante sistema CIE LAB y diferencia de color total ΔE_{CMC}	60
3.6.6.1.	Parámetros CIELAB	60
3.6.6.2.	Diferencia de color ΔE_{CMC}	60
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información...	61
3.7.1.	Elaboración de recetas.....	61
3.7.2.	Obtención de curvas intensidad lumínica de referencia	62
3.7.3.	Análisis comparativo de resultados obtenidos	63
3.7.4.	Software utilizado para análisis de datos	66
3.7.4.1.	Software colorimétricos	66
3.7.4.2.	Otros.....	66
3.8.	Análisis estadístico.....	66
4.	RESULTADOS.....	69
4.1.	Curvas de intensidad lumínica de referencia (RD) para cada colorante.....	69

4.2.	Parámetros colorimétricos de muestras	99
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	103
6.	LOGROS OBTENIDOS	105
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	111
	APÉNDICES	113
	ANEXOS.....	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Funcionalidad de polímeros	5
2.	Formación de poliéster.....	6
3.	Formación de poliamida.....	8
4.	Enlace químico entre celulosa y colorante directo	11
5.	Estructura química de colorantes reactivos.....	12
6.	Formación de micela	16
7.	Curva de agotamiento de colorante	21
8.	Etapas del proceso de tintura por agotamiento.....	22
9.	Representación isoterma de Freundlich.....	24
10.	Sustitución nucleofílica de colorante en algodón	24
11.	Adsorción de colorante en poliamida	26
12.	Descripción química de lavado posterior a tintura en poliéster	27
13.	Color en función de longitudes de onda.....	29
14.	Espectro electromagnético.....	29
15.	Color de un cuerpo negro en función de su temperatura	31
16.	Tipos de iluminantes CIE estándar	32
17.	Diferencia de color total.....	35
18.	Funcionamiento de espectrofotómetro de reflectancia.....	37
19.	Tintura por agotamiento de algodón 1	51
20.	Tintura por agotamiento de algodón 2	52
21.	Tintura por agotamiento de poliéster 1.....	53
22.	Tintura por agotamiento de poliéster 2.....	54
23.	Tintura por agotamiento de poliéster 3.....	55

24.	Tintura por agotamiento de poliéster 4	56
25.	Obtención y evaluación de resultados	61
26.	Elaboración de recetas de tintura para cada colorante.....	62
27.	Curvas de intensidad lumínica de referencia (RD)	63
28.	Predicción automática de recetas mediante softwares.....	64
29.	Diferencias de color en igualación de estándares	65
30.	Amarillo eco.....	69
31.	Naranja eco	70
32.	Rosa eco.....	70
33.	Rojo claro eco.....	71
34.	Rojo eco.....	71
35.	Azul claro eco	72
36.	Azul eco	72
37.	Azul oscuro eco	73
38.	Navy eco.....	73
39.	Amarillo RF1	74
40.	Amarillo RF2.....	74
41.	Amarillo RF3.....	75
42.	Amarillo RF4.....	75
43.	Amarillo RF5.....	76
44.	Naranja RF1	76
45.	Escarlata RF1	77
46.	Rojo brillante RF1	77
47.	Rojo RF2.....	78
48.	Rojo RF3.....	78
49.	Olivio RF1.....	79
50.	Gris RF1	79
51.	Café RF1	80
52.	Azul brillante RF2.....	80

53.	Azul RF7	81
54.	Navy RF8	81
55.	Negro RF1.....	82
56.	Amarillo B1.....	82
57.	Amarillo oro B2.....	83
58.	Rojo B1	83
59.	Rojo B2	84
60.	Navy B1.....	84
61.	Amarillo E1	85
62.	Rojo E1	85
63.	Azul royal E1	86
64.	Azul E2.....	86
65.	Negro E1	87
66.	Rojo A1	87
67.	Rojo A2	88
68.	Rojo A3	88
69.	Rojo A4	89
70.	Rojo A5	89
71.	Azul A1.....	90
72.	Navy A1.....	90
73.	Negro A1	91
74.	Amarillo AR1	91
75.	Amarillo AR2	92
76.	Naranja AR1.....	92
77.	Rojo AR1	93
78.	Rojo AR2.....	93
79.	Azul AR1	94
80.	Negro AR1	94
81.	Amarillo AC1	95

82.	Amarillo AC2.....	95
83.	Rojo AC1	96
84.	Rojo AC2	96
85.	Rojo AC3	97
86.	Violeta AC1	97
87.	Azul AC1.....	98
88.	Azul AC2.....	98
89.	Navy AC1.....	99

TABLAS

I.	Lista de variables.....	41
II.	Lista de variables a manipular	42
III.	Equipo.....	43
IV.	Reactivos	44
V.	Clasificación de color según tipo de fibra.....	50
VI.	Igualación en CO 100 % a partir de colorantes ECO.....	100
VII.	Igualación en CO 100 % a partir de colorantes RF.....	100
VIII.	Igualación en PES 100 % a partir de colorantes B	101
IX.	Igualación en PA/EL 90/10 a partir de colorantes AR	101
X.	Igualación en PA/EL 90/10 a partir de colorantes AC	102

LÍSTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CO	Algodón
ΔE_{CMC}	Diferencia de color total
dL	Diferencia de luminosidad
dC	Diferencia en croma
db	Diferencia en eje amarillo-azul
da	Diferencia en eje rojo-verde
dH	Diferencia en saturación
°C	Grados Celcius
g	Gramo
RD	Intensidad lumínica de referencia
Rtd	Intensidad lumínica relativa
Λ	Longitud de onda
E%	Margen de exactitud
mL	Mililitros
min	Minutos
PES	Poliéster
PA/EL	Poliamida/elastano
%	Porcentaje
UV	Relativo a ultravioleta
D65	Tipo de Iluminante

GLOSARIO

AATCC	Por sus siglas en inglés, American Association of Textile Chemists and Colorists. Asociación encargada del desarrollo de métodos de evaluación y el control de calidad de materiales en la industria textil.
ASTM	Por sus siglas en inglés American Society for Testing and Materials. Organismo de normalización sobre las características y comportamiento de materiales en distintas industrias.
Calibración	Medición de una o más muestras en un instrumento con el propósito de calcular una serie de factores de corrección, para ser aplicados en las mediciones subsecuentes.
CIE	Por sus siglas en francés Commission Internationale de L'Eclairage. Organización que se responsabiliza del desarrollo de sistemas para la evaluación de color en términos de la reflectancia espectral.
Espacio de color RGB	Espacio de color que define el color rojo, verde y azul como colores primarios. Constituyen la base para la creación del sistema CIELAB y CIELCH.

Estándar de color	Muestra patrón cuyos parámetros colorimétricos desean igualarse, bajo una serie de condiciones específicas: iluminante, proceso de tintura y sustrato.
Fotocromismo	Capacidad de un material para cambiar de color por acción de radiación incidente.
Gama	Conjunto de colorantes con la misma naturaleza de reacción.
ISO	Por sus siglas en inglés, International Organization for Standardization. Se encarga de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación en distintas industrias.
Jabonado	Permite la difusión del colorante no fijado e hidrolizado desde el centro de la fibra a la superficie. Consiste en un baño de agua y un agente de lavado a una temperatura entre 70-90 °C.
Lavado reductivo	Procedimiento realizado para la remoción del colorante no fijado en la fibra, posteriormente al proceso de tintura.
Metamerismo	Fenómeno en el que dos muestras son iguales, a partir de la caracterización de sus parámetros colorimétricos, únicamente bajo un iluminante.

Predicción de recetas	Procedimiento por el que se obtienen recetas de tintura a partir de un software colorimétrico con el propósito de igualar un estándar de color.
Radiancia espectral	Constituye la medida de radiancia de un cuerpo para todo el espectro de frecuencias.
Ramado	Proceso de secado y eliminación de dobleces en la fibra. Se utiliza en el caso del poliéster y poliamida.
Reflexión especular	Tipo de reflexión de la luz en que los rayos son reflejados en una misma dirección. Se manifiesta en superficies perfectamente lisas.
SAE	Por sus siglas en inglés, Society of Automotive Engineers. Organización de normalización para ingenieros profesionales, cuyo principal énfasis radica en las industrias de transporte.
Sustrato	Tipo de fibra utilizado como base para el desarrollo de un proceso de tintura.
Termocromismo	Capacidad de un material para cambiar de color al modificar su temperatura.
Testigo	Sustrato utilizado en un proceso de tintura sin colorante, únicamente bajo el efecto de los auxiliares de tintura.

RESUMEN

El proyecto se desarrolló en el Laboratorio de tintura y acabados de la empresa Huntsman Textile Effects (Guatemala) Ltda., ubicada en el kilómetro 16,5 carretera a El Salvador del municipio de Fraijanes, Guatemala. Su principal objetivo fue la obtención de 60 curvas colorimétricas y su implementación en la base de datos de los softwares colorimétricos Datacolor Match Textile y Helios 31, para la predicción automática de recetas de tintura.

Para el efecto se desarrollaron procesos de tintura por agotamiento en tres tipos de fibra para sesenta colorantes, construyendo una curva característica para cada uno, a partir del análisis de la intensidad lumínica de referencia (RD) de las muestras teñidas en un espectrofotómetro colorimétrico CV-UV marca Datacolor 600 Plus. Las curvas obtenidas fueron implementadas a la base de datos de cada software y posteriormente, se realizó la predicción de recetas de tintura con el propósito de igualar un estándar de color.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los registros provenientes de procesos similares realizados en otros países con base a la escala CIELAB, utilizando únicamente el software Helios 31.

OBJETIVOS

General

Obtención de 60 curvas colorimétricas patrón utilizadas para la predicción de recetas de tintura, en la igualación de estándares de color, a partir de los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile.

Específicos

1. Desarrollar pruebas de tintura por agotamiento en algodón, poliéster y poliamida, según el tipo de colorante a evaluar, variando la concentración de cada uno de ellos.
2. Obtener las curvas de intensidad lumínica de referencia para cada colorante evaluado a partir del software Helios 31.
3. Incorporar las curvas obtenidas en la base de datos de Helios 31 y Datacolor Match Textile.
4. Evaluar la predicción de recetas de tintura para la igualación de un estándar de color a partir de las curvas obtenidas y obtener un margen de exactitud menor al 40 por ciento respecto a la intensidad lumínica relativa.
5. Evaluar la diferencia de color total de las muestras obtenidas, con base al sistema CIELAB, para cada uno de los estándares de color igualados.

Hipótesis

Hipótesis científica

Es posible la obtención de recetas de tintura que brinden resultados con un margen de error menor al 40 por ciento, respecto a la intensidad lumínica relativa de su estándar de color.

Hipótesis estadística

Hipótesis alternativa H_1

Con un margen de confiabilidad del 90 por ciento se afirma que, el 3 por ciento de los colorantes evaluados en cada gama presenta un comportamiento no aceptado, y por tanto, es posible la obtención de recetas de tintura con un margen de error menor al 40 por ciento, a partir de su implementación en los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile en el proceso de igualación de estándares de color en Huntsman Textile Effects (Guatemala) Ltda.

Hipótesis Nula H_0

Con un margen de confiabilidad del 90 por ciento se afirma que más del 3 por ciento de los colorantes evaluados en cada gama presenta un comportamiento no aceptado, y por tanto, no es posible la obtención de recetas de tintura con un margen de error menor al 40 por ciento, a partir de su implementación en los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile en el

proceso de igualación de estándares de color en Huntsman Textile Effects
(Guatemala) Ltda.

INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más desempeñadas en el Laboratorio de tintura y acabados de Huntsman Textile Effects (Guatemala) Ltda., es la igualación de estándares de color, a partir de análisis colorimétricos obtenidos en un espectrofotómetro.

Para optimizar esta tarea se han creado softwares colorimétricos que, a partir de la caracterización de colorantes, predicen la combinación adecuada de los mismos en una receta de tintura, permitiendo igualar el tono de un tipo de fibra específico. Los más utilizados son Helios 31 y Datacolor Match Textile y ambos tienen la capacidad de determinar los valores colorimétricos característicos de un estándar de color (intensidad lumínica de referencia y relativa, R_d y R_{td}), así como los establecidos por CIELAB (dL , da , db , dC , dH , ΔE_{CMC} , etc.).

Actualmente, las recetas obtenidas permiten obtener un producto final que varía entre 40-60 por ciento en intensidad lumínica relativa del estándar a igualar, debido a que la base de datos con la que se cuenta proviene de estudios realizados en otros países y no ejemplifica las condiciones que rigen los procesos de tintura realizados en la región.

Por tanto, el proyecto se enfoca en el conocimiento y caracterización de las condiciones que rigen los procesos de tintura desarrollados en la industria textil centroamericana y la implementación de una nueva base de datos que permita predecir recetas de tintura más certeras y cuyos resultados varíen menos de un 40 por ciento respecto del estándar a igualar.

1. ANTECEDENTES

Huntsman es una empresa internacional que se dedica a la elaboración y comercialización de productos químicos y al asesoramiento técnico en distintos campos de la industria. Una de sus divisiones en Guatemala, Huntsman Textile Effects, se dedica a la producción de colorantes y productos químicos utilizados en la industria textil. Cuenta con un laboratorio de tintura y acabados en el que se realizan análisis de rendimiento, calidad y caracterización de los productos ofrecidos en el mercado y se brindan asesorías técnicas en el proceso de aplicación de los mismos. Una de sus principales atribuciones es la igualación de los parámetros colorimétricos de un estándar de color, mediante la obtención automática de recetas de tintura a partir de un software colorimétrico.

Para el efecto, utilizan el software denominado Helios 31 y una base de datos que constituye la caracterización colorimétrica de los colorantes usados a partir de pruebas experimentales realizadas en Europa. Sin embargo, debido a la variabilidad de las condiciones en el proceso de tintura (calidad de la fibra, ambiente, equipo, etc.), no puede afirmarse que los estudios realizados generarán los mismos resultados en la región centroamericana.

En la búsqueda de una mejor reproducibilidad de los procesos aplicados y los resultados obtenidos, se realizaron caracterizaciones colorimétricas de cada colorante para estandarizar las condiciones de tintura en Guatemala, implementando la base de datos resultante en Helios 31 y Datacolor Match Textile, que constituye otro de los softwares colorimétricos utilizados para la realización de esta tarea.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fibras

Se considera fibra textil a cualquier material cuya longitud sea muy superior a su diámetro y que pueda ser hilado.

2.1.1. Tipos de fibra

Pueden ser de origen natural o sintético, fabricadas por polímeros naturales o artificiales. Las fibras naturales poseen una gran cantidad de desventajas debido a la variabilidad de su longitud, calidad, forma y otras propiedades físicas dependiendo de la región y condiciones de cultivo. Al mismo tiempo, contienen una cantidad considerable de impurezas que deben ser removidas antes del proceso de tintura y cuyo tratamiento constituye un conjunto de largos procedimientos. Por otro lado, las fibras sintéticas poseen superficies más uniformes cuyos contaminantes únicamente constituyen pequeñas cantidades de polímeros con bajo peso molecular y otros químicos añadidos en el proceso de su elaboración.

La absorción de agua constituye una de las propiedades más importantes de las fibras textiles. Las fibras naturales son hidrofílicas y absorben grandes cantidades de agua provocando un aumento de tamaño y la liberación de energía a altas temperaturas. Las fibras sintéticas, al contrario, son hidrofóbicas y no absorben agua.

2.1.1.1. Fibras sintéticas

Estas comprenden el 40 por ciento del total de fibras consumidas mundialmente, debido a que pueden ser modificadas física y químicamente con facilidad.

Los polímeros mayormente utilizados para la fabricación de fibras sintéticas son la poliamida (nylon), el poliéster y el poliacrilonitrilo. Los primeros dos son sintetizados por reacciones de policondensación, el último de ellos se sintetiza mediante una reacción de poliadición.

Polimerización es el proceso químico por el cual, mediante el calor, la luz o un catalizador, se unen varias moléculas de un compuesto para formar una cadena de múltiples eslabones y obtener una macromolécula. A continuación se describen dos tipos de reacciones de este tipo:

- Polímeros por policondensación

Consiste en la formación de cadenas por condensación mediante reacciones de grupos funcionales liberando como subproducto algún tipo de molécula básica (H_2O , HCl , NH_3 , CH_3OH). En general, dos compuestos orgánicos reaccionan químicamente para formar uno de mayor peso molecular. En algunos casos es posible la formación de una estructura de condensación a partir de un solo componente (autocondensación).

Algunos ejemplos de polímeros típicos que se obtienen por polimerización por condensación se muestran a continuación:

Figura 1. **Funcionalidad de polímeros**

Polímero	Grupo funcional
Poliamidas	- NH - CO -
Poliésteres	- CO - O -
Poliéteres	- O - R -
Poliuretanos	- O - CO - NH -
Polisiloxanos	- Si - O - Si -
Fenol-formaldehído	- arilo- CH ₂ -
Urea-formaldehído	- NH - CH ₂ -
Celulosa	- O - C -
Polisulfuros	- (S) _n -
Poliacetales	- O - CHR - O -
Poliépóxidos	- CHR - CH ₂ - O -
Policarbonatos	- O - R - O - CO -
Polianhídridos	- CO - O - COR -
Polifosfatos	- POR - O - R - O -

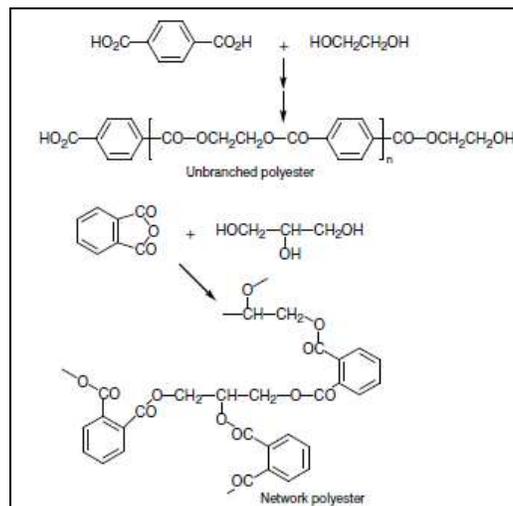
Fuente: *Técnicas de polimerización*. <http://www6.uniovi.es/usr.Consulta>: 02 de noviembre de 2013.

- **Poliéster:** este puede ser producido por esterificación directa de un diácido con un diol o por una autocondensación de un hidroxiaácido carboxílico. También pueden producirse por una transesterificación. Debido a que la poliesterificación es una reacción de equilibrio, el agua, o el producto de condensación obtenido, debe removerse para poder obtener rendimientos con altos pesos moleculares.

El poliéster más importante a nivel comercial es el *PET* (por sus siglas en inglés, *polyethylene terephthalate*). La producción de filamentos a partir de este material se logra derritiéndolo, para después generar por extrusión pequeñas hojuelas que después serán calentadas en una atmósfera de nitrógeno para hilarlo posteriormente en filamentos muy finos. Los filamentos de *PET* son llevados hasta 4-5 veces su longitud inicial, a una temperatura de 70 grados centígrados (a diferencia de nylon que se realiza a temperatura ambiente).

Esto promueve la orientación y la cristalización, ya que la T_g del *PET* es entre 80-90 grados centígrados, y filamentos menos ordenados resultan de su modelación a temperaturas relativamente bajas.¹

Figura 2. **Formación de poliéster**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration.*, p. 38.

Propiedades: el PET estándar gana solamente un 0,4 % de peso por agua, lo cual lo convierte en un material muy hidrofóbico. Aunque se encuentre arriba de su T_g , la penetración lograda por el agua es mínima. Debido a esto el *PET* no es afectado por colorantes iónicos en soluciones acuosas.

Entre 100 a 130 grados centígrados se obtiene un excelente efecto en la tintura del *PET*, aunque el proceso debe realizarse

¹ T_g se define como la temperatura de transición característica de los termoplásticos, en la que las moléculas en estado amorfo poseen suficiente energía para movilizar en conjunto las cadenas que conforman el polímero.

bajo cierta presión. En estas condiciones los colorantes a utilizar constituyen moléculas relativamente pequeñas, en comparación con otros tipos de colorantes, para asegurar tasas de difusión aceptables dentro de las fibras.

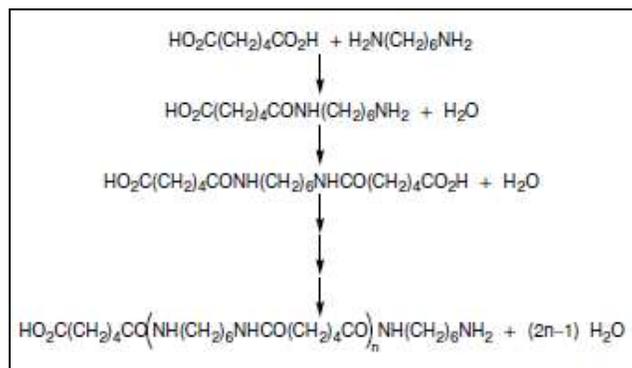
- Poliamida: la síntesis de poliamida sigue una ruta de síntesis distinta a la de los poliésteres. A pesar de existir una gran cantidad de reacciones de polimerización para poliamida, estas son usualmente producidas por amidación directa de un diácido con una diamina o por autoamidación de un aminoácido. La polimerización de aminoácidos no es útil debido a que estos exhiben una tendencia fuerte a ciclarse. El polyhexametilenadipamina, también conocido como nylon 6,6, es sintetizado a partir de hexametilamina con ácido adípico.

La polimerización es llevada a cabo al calentar a aproximadamente a 210 °C. La reacción procede a una presión de vapor de aproximadamente 250 psi, lo cual previene la precipitación. A diferencia de la poliesterificación, la poliamidación es llevada a cabo sin un ácido fuerte debido a la tasa de reacción relativamente alta. La polimerización es detenida por la adición de ácido acético una vez obtenido el peso molecular deseado. Al estar formados los trozos de *nylon* estos son derretidos nuevamente y estrujados en pequeños filamentos. La temperatura de fusión del *nylon* es aproximadamente 250 °C.

Fibras de *nylon* 6 o 6,6 están disponibles en diversas formas químicas y físicas para distintas aplicaciones. Esto incluye monofilamentos, multifilamentos, de tenacidad regular o alta y una gran gama de características de tintura. Ambos son susceptibles a degradaciones por luz ultravioleta resultando en un color amarillento y en la pérdida de

fuerza, por ello se puede aplicar estabilizadores de luz ultravioleta, los cuales absorben la luz y la convierten en calor para evitar la degradación de la fibra, justo antes de generar los filamentos de nylon.

Figura 3. **Formación de poliamida**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p. 37.

- Propiedades: el número de unidades por polímero en el *nylon* 6,6 y 6 es de alrededor de 65 y 130 respectivamente, correspondiendo a pesos moleculares de alrededor 15 000 UMA. No son hidrofóbicos en su totalidad y absorben alrededor de 4 por ciento de agua a temperatura ambiente.

Este contenido de humedad no permite la disipación de carga estática, lo cual debe ser controlado agregando algunos químicos con propiedades antiestáticas y tierras físicas son necesarias en los equipos para evitar accidentes.

El *nylon* es susceptible a hidrolisis y por esta razón no debe ser llevada a pH debajo de 3. Estas fibras exhiben una elasticidad

moderada inclusive después de tratada. El 6 presenta un menor módulo de elasticidad y mejor recuperación a la tensión que el nylon 6.6.

2.1.1.2. Fibras naturales

Se clasifican según su origen: animal, vegetal o mineral. La fibra vegetal más utilizada es el algodón.

- Algodón: el algodón es la fibra textil más importante. Proviene de la vaina de las semillas en las plantas de la familia *Gossypium* cultivada en ambientes subtropicales. Su morfología es extremadamente compleja. Posee una pared celular, relativamente hidrofóbica, que contiene celulosa acompañada de grasas y ceras, que serán removidas para llegar a las fibras que absorben el agua.
 - Propiedades: el algodón es una fibra polialcohólica, con fuertes enlaces hidrógeno entre los grupos hidroxilo dentro de la estructura polimérica; estos no se rompen con facilidad, inclusive en la presencia de agua. En realidad, el agua nunca penetra dentro de las regiones cristalinas de la celulosa, y por lo tanto, el algodón no es soluble en agua. El algodón, sin embargo, es relativamente hidrofílico.

Su estructura porosa permite la penetración de moléculas de agua entre las microfibras y dentro de las regiones amorfas del polímero donde fácilmente puede formar enlaces hidrógeno con los grupos hidroxilo libres de la celulosa. El valor de humedad estándar es de 8 por ciento, entre 25-30 por ciento de humedad relativa y sube

hasta 100 por ciento a temperatura ambiente. La absorción de agua causa hinchazón de la pared secundaria, y esto a su vez, provoca que las fibras se expandan.

Existen distintos tipos de algodón según el largo de la fibra y el color. Las más largas, generalmente son las más caras. La calidad de la fibra usualmente es evaluada midiendo la presión de una gota alrededor de una plancha de algodón.

2.2. Colorantes

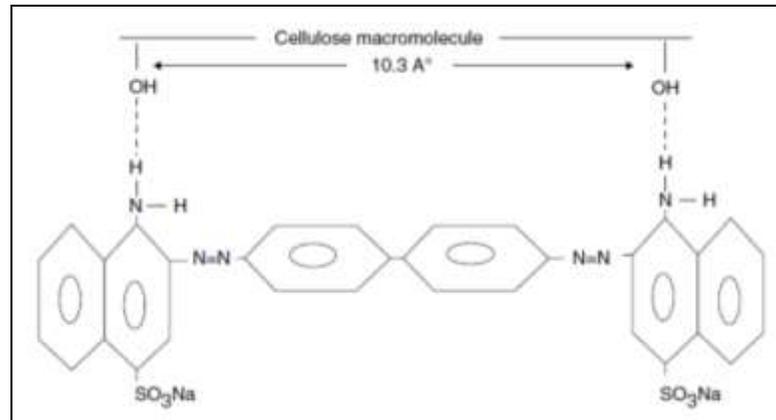
A continuación, se muestra una clasificación de los colorantes más usados según el tipo de fibra.

2.2.1. Colorantes usados en algodón

Existen dos tipos: directos y reactivos.

- Directos los cromóforos de los colorantes directos incluyen grupos azo, estilbena, oxacina, ftalocianina, tiazol y complejos azoicos de cobre. Se generan uniendo un grupo hidroxilo o amino con una base diazo aromática.
 - Propiedades: son estructuras planas que contienen una o más sales de sodio, derivadas de ácido sulfónico, que dan solubilidad al colorante. La estructura plana maximiza las fuerzas de van der Waals, dipolo y puentes de hidrógeno debido a que la molécula de colorante, específicamente los electrones pi deslocalizados, puede alinearse a lo largo de la celulosa a los grupos hidroxilo.

Figura 4. **Enlace químico entre celulosa y colorante directo**



Fuente: CLARK, M. *Handbook of textile and industrial dyeing- Volume 1: Principles, processes and types of dyes.* p.154.

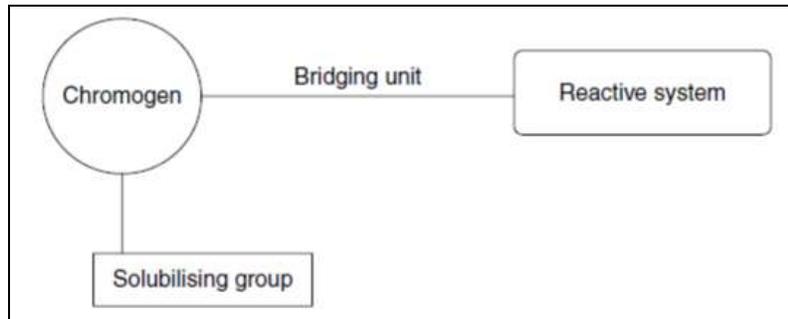
La solubilidad de los colorantes disminuye a medida que el peso molecular aumenta. Sus disoluciones acuosas usualmente tiñen algodón en la presencia de un electrolito como el NaCl o el sulfato de sodio.

2.2.1.1. Reactivos

Su estructura incluye:

- Cromóforo: responsable del color (grupos azo y basados en antraquinona).
- Unidad enlazante: une el cromóforo y la unidad reactiva.
- Unidad reactiva: permite la reacción entre el colorante y la fibra. También puede reaccionar con el agua mediante hidrólisis.
- Grupo solubilizante: permite solubilizar el colorante.

Figura 5. **Estructura química de colorantes reactivos**



Fuente: CLARK, M. *Handbook of textile and industrial dyeing- Volume 1: Principles, processes and types of dyes.* p. 158.

Los grupos reactivos, mayormente usados son: monoclorotriazina, diclorotriazina (bireactivo homobifuncional) y fluorotriazina.

Los colorantes bireactivos presentan ventajas respecto a los monoreactivos. Por ejemplo: se requiere menos energía (menor temperatura) y existe menos colorante hidrolizado.

Existen dos factores que prevalecen en el análisis de colorantes reactivos:

- Sustantividad: relación del colorante distribuido en la fibra y el baño.
- Difusión: distribución uniforme del colorante en todas las áreas de la fibra (se desarrolla después de llegar al equilibrio colorante fibra-baño).

A mayor sustentividad existe menos difusividad, debido a que una mayor cantidad de colorante se adhiere a la fibra y es más difícil su difusión en la misma.

2.2.2. Colorantes usados en poliéster

Las fibras de poliéster únicamente pueden ser teñidas por colorantes dispersos.

2.2.2.1. Dispersos

Los colorantes dispersos son azobencenos con un grupo alcoxicarbonilo (similar a este), poseen baja solubilidad en agua y su uso principal es en la coloración de poliésteres. Los colorantes son generalmente aplicados bajo presión, a temperaturas promedio de 130 °C. A esta temperatura, la agitación térmica causa que la estructura del polímero se debilite y sea menos cristalina, abriendo espacios permitiendo la entrada de las moléculas de colorante.

Las interacciones entre colorantes y polímeros son consideradas por fuerzas Van-der-Waals y fuerzas dipolo.

- Propiedades
 - El 85 % de todos los colorantes dispersos constituyen grupos reactivos azo, diazo y derivados de antraquinona.
 - Los colorantes poseen baja solubilidad a temperatura ambiente.
 - Poseen alta solidez al lavado debido a la baja solubilidad de los colorantes en agua y a la hidrofobicidad de la fibra.

- Debido a su naturaleza no iónica, poseen alta solidez a la luz. No son propensos a degradarse por la luz.
 - Son propensos a la sublimación: por esa razón su estructura molecular ha sido modificada, haciéndola más grande y adicionando grupos polares.
- Clasificación
- Dispersos de baja energía: baja polaridad, baja resistencia a altas temperaturas, altas tasas de agotamiento, bajo peso molecular.
 - Dispersos de alta energía: altamente polares, alta resistencia a altas temperaturas, tasa de agotamiento baja, mayor peso molecular, mala migración.
 - Dispersos de energía media: características entre las dos anteriores.

2.2.3. Colorantes usados en poliamida

Son de naturaleza aniónica. A continuación se describen dos tipos.

2.2.3.1. No metálicos

Pertenecen al grupo azo y su solubilidad se debe a grupos sulfonato unidos a su estructura. Son de bajo peso molecular y el proceso de tintura se desarrolla a un nivel bajo de pH, estableciéndose fuerzas dipolo-dipolo entre fibra y colorante. El grupo amino en la fibra es protonizado por el medio ácido, por tanto, el colorante aniónico se une fácilmente a la fibra; si un grupo amino

ya ha reaccionado con la molécula aniónica de un colorante, no puede reaccionar con otra.

2.2.3.2. Complejos metálicos

Existen dos categorías: 1:1 complejo metálico y 1:2 complejo metálico. No necesitan etapa de aplicación de mordiente puesto que el metal adherido a la molécula actúa de esta forma.

Los más usados son los colorantes con grupo azo monosulfonados y bisulfonados.

2.3. Auxiliares químicos en el proceso de tintura e hidratación

La mayor parte de auxiliares químicos utilizados son surfactantes, es decir, sus moléculas tienden a acumularse en la superficie separando dos sustancias inmiscibles como el agua y la fibra, el agua y el aceite, etc.

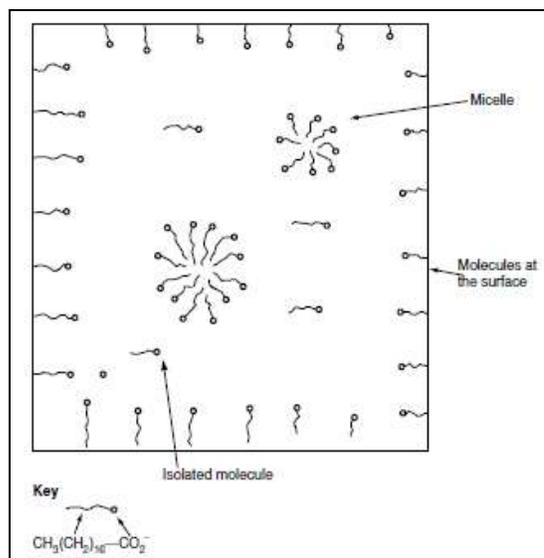
Poseen dos estructuras principales: una parte de la molécula es una cola hidrofóbica, como una larga cadena alcalina; la otra parte es una cabeza hidrofílica polar, como el carboxilato.

- Principios fisicoquímicos en el funcionamiento de un detergente

Los jabones usualmente constituyen sales de potasio (a partir de KOH) y ácidos grasos debido a que son mayormente solubles en agua en comparación a las sales de sodio. Cuando una pequeña cantidad de jabón se disuelve en agua, este se disocia en iones de potasio y estereato. Los últimos se acumulan en la interfase agua-aire y agua-recipiente. Esto sucede debido a que la parte hidrofóbica (cadena alcalina) de las moléculas no interactúa con el agua en

contacto, repeliéndolas y originando que estas se agrupen por enlaces de hidrógeno. Por otro lado, la parte hidrofílica (ión carboxilato) de las moléculas si interactúa con el agua y es solvatada polarmente por sus moléculas. A medida que la interfase agua-aire y agua-recipiente se saturan, se da lugar a la formación de micelas. De esta forma, las cadenas alcalinas interactúan en el centro, evitando el contacto con el agua, y los iones carboxilato interactúan con el agua en la parte exterior.

Figura 6. **Formación de micela**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p.159.

La habilidad de un surfactante para adsorber moléculas y orientarlas de modo que, la parte iónica se encuentre en contacto con el agua y la cadena alcalina sea repelida, es crucial en el proceso de hidratación de fibras. Este principio permite la adecuada distribución de agua en la superficie.

Dentro de los auxiliares químicos más utilizados se pueden mencionar: antiespumantes, secuestrantes, inhibidores de reducción, soluciones buffer, dispersantes y lubricantes. A continuación se presenta una breve descripción de la función de cada uno de ellos en el proceso de tintura.

2.3.1. Antiespumante

Actúan como acelerantes de penetración del colorante en la fibra.

2.3.2. Secuestrante

Su función es secuestrar metales que pueden intervenir en el proceso de tintura y formar precipitados. Son capaces de mantener las partículas en suspensión dentro de la masa del fluido comunicando una carga negativa a las mismas. Estas cargas negativas se repelen unas a otras previniendo la formación de agregados mayores y precipitación de partículas de incrustantes.

2.3.3. Agente inhibidor de reducción

Evita la reducción de los colorantes dispersos debido a las altas temperaturas, la presencia de metales o dispersantes.

2.3.4. Buffer ácido

Mantienen el pH de una solución en un rango específico. Un buffer ácido se crea a partir de una sal de base débil y un ácido fuerte o ácido débil y la respectiva sal.

2.3.5. Lubricante

Evita formación de quiebres en la fibra debido a la fricción producida por el roce de la fibra en las superficies.

2.3.6. Dispersante

Permiten solubilizar colorantes de carácter hidrofóbico y nivelar el proceso de adsorción de los mismos en la fibra. Disminuye el porcentaje de agotamiento del colorante debido a que las micelas de dispersante disuelven las moléculas de colorante antes de unirse a la fibra.

- Recubre las moléculas de colorante, dándoles una carga aniónica.
- La fibra hidrofóbica adsorbe las partículas aniónicas.
- Las moléculas de colorante se repelen entre ellas por su similar carga.
- No se agrega electrolito (sal), puesto que los colorantes dispersos no son iónicos y por tanto, no beneficia en nada la carga negativa generada en la superficie de la fibra.

2.4. Tintura por agotamiento

La técnica de tintura por agotamiento establece un contacto directo entre la fibra textil y la sustancia de coloración, tomando en cuenta factores como temperatura del proceso, pH y la concentración de los químicos auxiliares.

Es un proceso exotérmico, es decir, libera energía. Un aumento de energía puede entorpecer el equilibrio y el porcentaje de agotamiento del colorante es significativamente menor. Se desarrolla en cuatro etapas:

- La difusión del colorante en el baño de tintura: se logra con una buena agitación.
- La adsorción del colorante por la superficie de la fibra: el colorante pasa de la fase líquida a la sólida.
- La difusión del colorante del exterior de la fibra al interior: se desarrolla lentamente y puede incrementarse el ritmo al aumentar temperatura.
- Fijación del colorante en la fibra: se forman enlaces covalentes.

Depende de 3 factores:

- La concentración de colorante debe ser mayor en la superficie de la fibra que en el interior.
- El tamaño de las moléculas del colorante y espacios libres en la estructura del polímero deben coincidir para el libre paso de colorante en la fibra.
- Las cadenas del polímero deben tener libertad de movimiento (su temperatura debe ser mayor a la temperatura de transición) y facilitar la difusión de colorante.

La dependencia del flujo de moléculas de colorante en el interior de la fibra respecto a la concentración está dada por la Ley de Fick:

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial X}$$

[Ecuación No.1]

Donde:

J = flujo de las moléculas de colorante

D = coeficiente de difusión

C = concentración de colorante

X = distancia

Existen dos teorías sobre la difusión del colorante en el poro de la fibra:

Teoría del poro (celulosa): describe el hinchamiento del poro de la celulosa al entrar en contacto con el agua. Esto guía la difusión del colorante en el interior.

Teoría de volumen libre (poliéster y poliamida): describe el libre movimiento de las cadenas poliméricas al sobrepasar la temperatura de transición, que permite la libre difusión del colorante.

- Afinidad estándar del colorante

El potencial químico es el cambio de energía libre en un sistema debido al cambio en la composición por unidad molar de sustancia. El cambio ocurre desde la fase de mayor potencial químico a la fase de menor potencial hasta llegar al equilibrio. En el proceso de tintura, el colorante migra desde la solución hasta la fibra debido a las diferencias en el potencial químico. El equilibrio se alcanza cuando ambos potenciales son iguales.

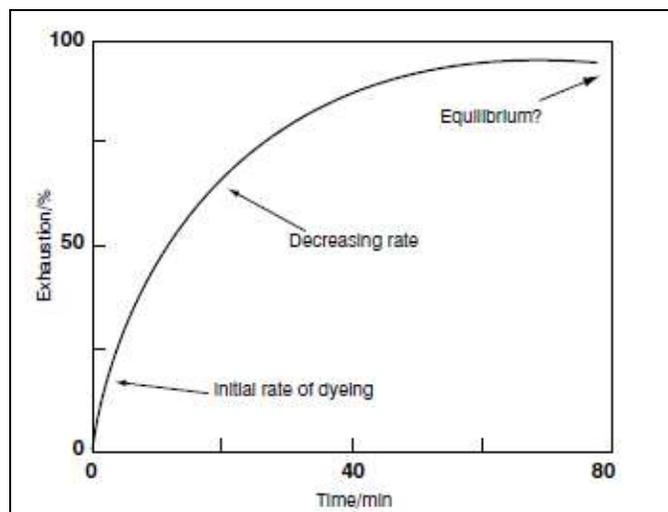
La concentración del colorante en el baño disminuye gradualmente con el tiempo y su representación gráfica permite caracterizar la tasa de agotamiento en un proceso de tintura en general. El agotamiento se define como la masa de colorante absorbido por el material a teñir, dividido entre la masa inicial del colorante en el baño:

$$\% \text{ Agotamiento} = \frac{C_o - C_s}{C_o} * 100$$

[Ecuación No.2]

A continuación, en la figura 7 se representa el comportamiento de una curva de agotamiento en general en función del tiempo transcurrido en un proceso de tintura.

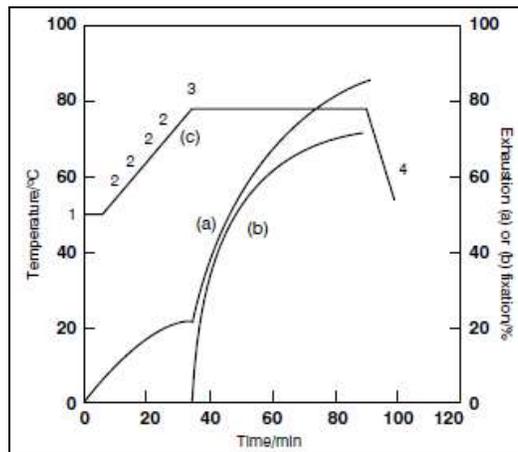
Figura 7. **Curva de agotamiento de colorante**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*, p.181.

El proceso finaliza cuando el colorante en solución se encuentra en equilibrio con el absorbido por la fibra. El porcentaje de agotamiento de un colorante en el punto de equilibrio depende de la atracción existente entre el colorante y la fibra. Obsérvese en la figura 8 la representación gráfica del proceso de tintura por agotamiento en todas sus etapas:

Figura 8. **Etapas del proceso de tintura por agotamiento**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*, p.182.

Donde la curva (c) representa:

- La adición de colorantes al baño: 1
- Adición de sal: 2
- Adición de álcali: 3
- Lavado: 4

La curva (a) representa la reacción del colorante con la fibra y la curva (b) el desarrollo de la temperatura.

2.4.1. Tintura de algodón

Cuando la celulosa entra en contacto con el agua, desarrolla una carga negativa en su superficie (potencial zeta) que repele la carga aniónica de los

colorantes. Para optimizar el proceso, se utilizan los siguientes auxiliares químicos de tintura:

- Agente dispersante
- Reductor de fricción
- Sulfato de sodio: la adición de un electrolito permite neutralizar la superficie negativa, facilitando la unión con el colorante.
- Carbonato de sodio: permite solubilizar el colorante formando sales derivadas de ácido sulfónico presente en la estructura de los mismos.
- Hidróxido de sodio: con la adición de álcali (NaOH) inicia la etapa de fijación del colorante.

Los colorantes, primero son adsorbidos por la fibra, se difunden en su matriz, entran en equilibrio con el colorante disuelto en la disolución y luego pueden reaccionar con la fibra de dos formas distintas formando enlaces covalentes, dando origen a una sustitución nucleofílica o una adición nucleofílica.

2.4.1.1. Isoterma de Freundlich

En este caso, la adsorción no está limitada por la cantidad de sitios específicos en la fibra. Principalmente describe el comportamiento de los colorantes aniónicos en la celulosa.

$$C_f = kC_s^\alpha$$

[Ec. Núm. 3]

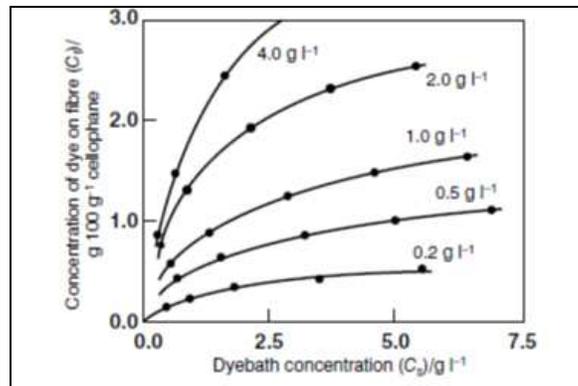
C_f = concentración adsorbida

K = constante

C_s = concentración en solución

α = constante = 0,5

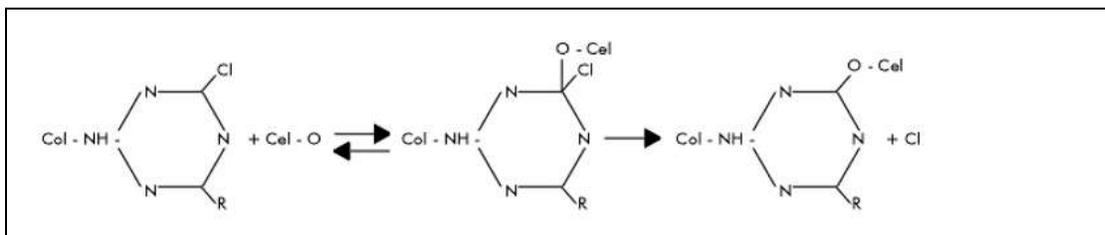
Figura 9. Representación isoterma de Freundlich



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p. 201

- Sustitución nucleofílica: un átomo móvil de halógeno en el grupo reactivo del colorante, es sustituido por el grupo nucleofílico ionizado de la celulosa.
- Síntesis de Williamson: esta reacción implica el ataque de un ion de alcóxido hacia el haloalcano.

Figura 10. Sustitución nucleofílica de colorante en algodón



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p. 205.

2.4.2. Tintura de poliéster

El proceso de tintura debe realizarse a una alta temperatura y presión debido a la temperatura de transición. Las moléculas de colorante se adhieren a la fibra por puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals.

2.4.2.1. Isotherma de Nernst

Representa la adsorción de un colorante disperso por una fibra sintética. El punto máximo representa el punto de saturación del colorante en la fibra y la solución.

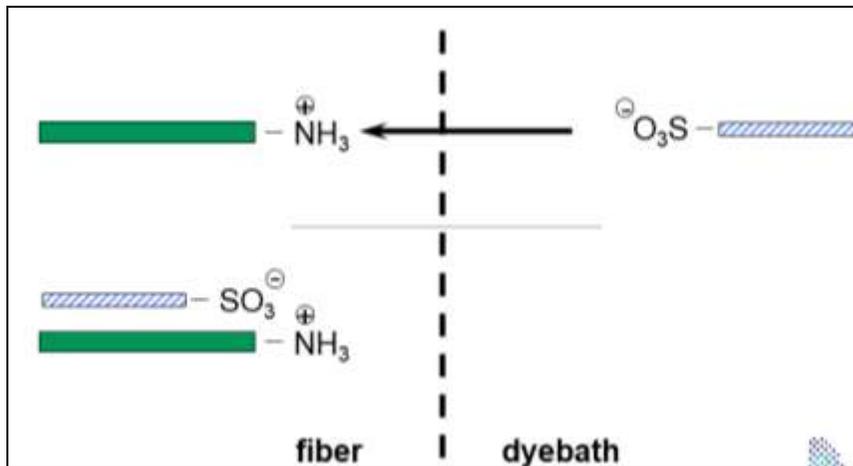
$$C_f = kC_s$$

[Ecuación No.4]

2.4.3. Tintura de poliamida

La fibra posee grupos carboxilo y amonio que se ionizan como NH_3^+ y COO^- cuando el pH es igual a 5. Los iones COO^- se convierten en iones carboxilo no disociados $\text{NH}_3^+\text{-F-COOH}$ debido a la presencia de ácido, dándole a la fibra una carga positiva. De esta forma, se intercambia el anión -F unido a NH_3^+ en la fibra, por el anión correspondiente en la molécula de colorante. El enlace formado es de carácter iónico.

Figura 11. Adsorción de colorante en poliamida



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p. 215.

A un pH ácido se aumenta el número de posiciones de saturación en la fibra.

2.4.3.1. Isotherma de Langmuir

Representa el intercambio iónico existente entre un grupo alquilamonio presente en la poliamida y el grupo aniónico de un colorante ácido, en condiciones ácidas.

$$\frac{C_s}{C_f} = \frac{C_s}{C_{max}} + \frac{1}{KC_{max}}$$

[Ecuación No.5]

C_{max} = mayor cantidad de posiciones de adsorción que el colorante puede ocupar.

2.4.4. Tratamientos posteriores al proceso de tintura

Posteriormente al proceso de tintura se realizan aplicaciones de productos químicos que perfeccionan y categorizan la calidad de la muestra final. A continuación se describen algunos procedimientos aplicados según el tipo de fibra teñida.

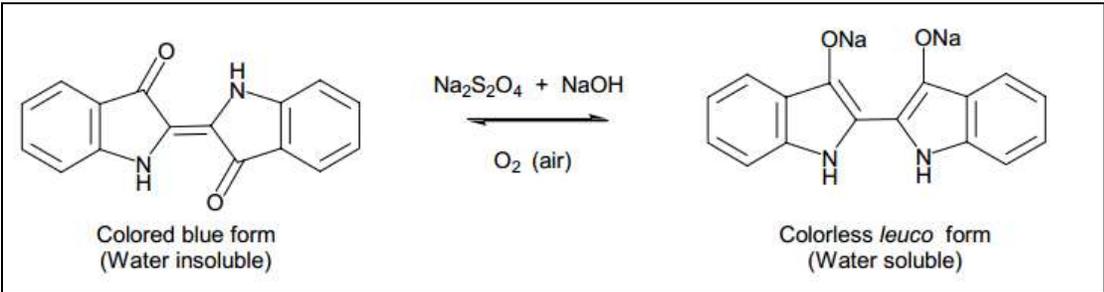
2.4.4.1. Algodón

Se realizan lavados a altas temperaturas para eliminar el colorante no fijado en la fibra. Antes del lavado, el pH debe reducirse a 7 para evitar el desmonte del colorante fijado.

2.4.4.2. Poliéster

El postratamiento consiste en un lavado en medio ligeramente alcalino en el que se elimina el pigmento azo arraigado en la superficie de la fibra.

Figura 12. **Descripción química de lavado posterior a tintura en poliéster**



Fuente: BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. p. 302.

2.4.4.3. Poliamida

- Fijación de colorante: los poros de la fibra son bloqueados utilizando un agente fijador con el objetivo de mantener las moléculas de colorante adheridas a la fibra.
- Lavado alcalino: se realiza en medio alcalino (utilizando soda ash en su mayoría) con el propósito de remover el agente fijador aplicado.

2.5. Colorimetría

Es la ciencia que estudia el color y describe de forma numérica los aspectos psicofísicos atribuidos al mismo que están dentro de los límites de percepción visual.

- Espectro electromagnético

La longitud de onda de la luz absorbida, capaz de excitar a un electrón desde un orbital ocupado hasta la primera posición de un orbital desocupado corresponde a la luz visible.

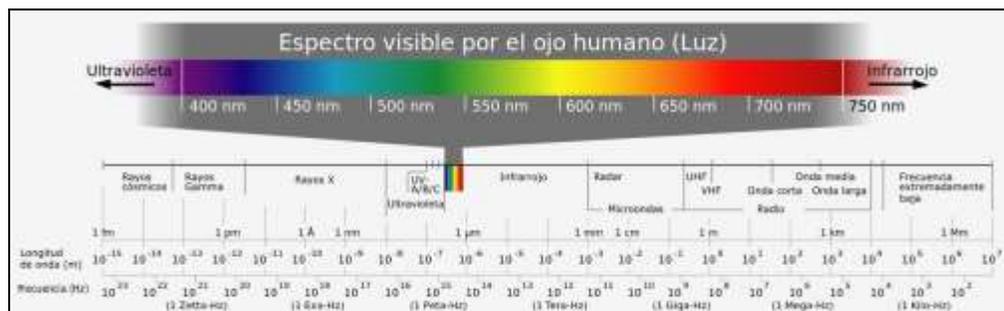
La región de luz visible constituye la luz con longitudes de onda de 380 hasta 780 nm.

Figura 13. **Color en función de longitudes de onda**

Color	Wavelength Range (nm)
Violet	380~410
Indigo	410~450
Blue	450~510
Green	510~560
Yellow	560~600
Orange	600~630
Red	630~780

Fuente: Tutorial de Espectroscopía. <http://www.ugr.es/~quiored/espec/espec.htm>. Consulta: 02 de noviembre de 2013.

Figura 14. **Espectro electromagnético**



Fuente: Tutorial de Espectroscopía. <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/espec.htm>. Consulta: 02 de noviembre de 2013.

2.5.1. Parámetros de estudio

Dentro del conjunto de parámetros que permiten una mejor descripción cualitativa y cuantitativa de la colorimetría, se citan los siguientes.

2.5.1.1. Color

Es la interacción entre pequeños intervalos de ondas electromagnéticas y los órganos visuales y cerebrales humanos. La percepción del color depende de la fuente de iluminación que genera la luz y las propiedades de adsorción y transmisión características de los materiales que interactúan con la misma.

El sistema de color Münsell ubica de forma precisa los colores en un espacio tridimensional y define tres atributos en cada color H, S y V.

- Matiz (H): constituye el tono o croma y describe el color en sí mismo como consecuencia de la longitud de onda dominante en ese tono.
- Luminosidad (V): llamado también valor, constituye la intensidad lumínica de un color. Es la mayor o menor cercanía al blanco o al negro de un color determinado.
- Saturación (S): es el grado de pureza que tiene un color determinado respecto al gris. Se dice que un color tiene saturación alta cuando se

aprecia el color en toda su pureza. Si tiene saturación baja, el color es grisáceo en cierta medida.

2.5.1.2. Sistema CIE

La CIE es la Comisión Internacional de Iluminación. Define un sistema para evaluar las propiedades colorimétricas de un objeto basado en descripciones numéricas de tres factores principales:

2.5.1.2.1. Fuentes de luz

Es el elemento que emite el haz de luz sobre el objeto.

- Temperatura de color

Esta propiedad depende de la distribución de la luz emitida por la fuente de luz en la parte visible del espectro. Representa la temperatura a la que debe calentarse un cuerpo negro para que emita una luz del mismo color que la de la fuente de luz estudiada.

Figura 15. **Color de un cuerpo negro en función de su temperatura**



Fuente: Tutorial de Espectroscopía. <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/espec.htm>. Consulta: 02 de noviembre de 2013.

- Iluminantes CIE estándar

Es un conjunto de números estándar que representan una fuente de luz física. Debido a que los objetos calentados emiten luz, el color de una fuente de luz puede ser descrito por una temperatura absoluta (expresada en grados Kelvin).

Figura 16. **Tipos de iluminantes CIE estándar**

Iluminante CIE	Descripción
A	Cuerpo negro a 2856K, lámpara de tungsteno. Debe ser utilizado en todas las aplicaciones de colorimetría que impliquen el uso de la iluminación incandescente.
C	Luz de día a 6774 K, no es muy usada actualmente.
D65	Luz de día a 6500K.
CWF	Blanca fluorescente Fría.
D50	Luz de día a 5000 K.
D75	Luz de día a 7500 K.

Fuente: Tutorial de Espectroscopía. <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/espec.htm>. Consulta: 02 de noviembre de 2013.

- Objetos: es el elemento sobre el cual incide el haz de luz y lo refleja hacia el observador.
 - Transmisión: solo se transmite luz, no cambian las características espectrales de esta.

- Absorción: los objetos absorben energía lumínica y la reemiten a longitudes de onda más largas en forma de color.
 - Reflexión: se refleja luz pero no cambian las características espectrales de la misma.
 - Dispersión: se refleja energía luminosa a muchos ángulos diferentes.
- Curvas espectrales

Es una curva que describe la energía irradiada en cada longitud de onda por una fuente de luz. Estas no cambian por la fuente de luz o el observador y constituyen la huella digital de un objeto.

2.5.1.2.2. Observador

Es el elemento que recibe la luz reflejada por el objeto y en última instancia, quien percibe el color.

- Valores triestímulo

Los XYZ son valores numéricos que describen la cantidad de rojo, verde y azul que refleja un objeto, bajo las condiciones de iluminante y observador definidos. Son calculados, multiplicando los datos del iluminante, objeto y observador a cada longitud de onda y sumando los resultados. Forman la base de la colorimetría basada en CIE.

- Coordenadas de cromaticidad

Son creadas para facilitar la obtención de gráficos de dos dimensiones para caracterizar el color. Por tanto, a partir de los valores triestímulo, se obtienen dos coordenadas (x,y).

2.5.1.3. Sistema CIELAB

Es el modelo cromático usado normalmente para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Los tres parámetros en el modelo representan:

- L*: luminosidad (0 para negro puro y 100 para el blanco)
- a*: la posición entre rojo y verde (valores negativos indican verde y valores positivos rojo)
- b*: la posición entre amarillo y azul (valores negativos indican azul y valores positivos amarillo).

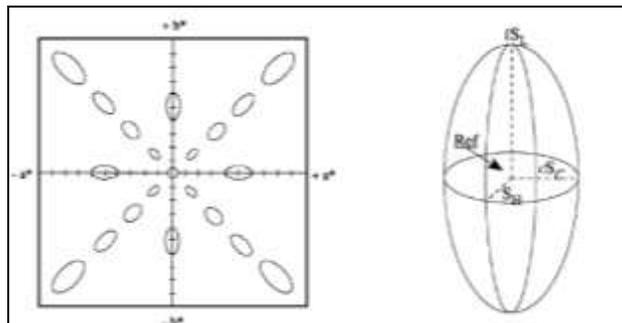
2.5.1.4. Sistema CIE LCH

Es una representación polar del sistema de coordenadas rectangular CIELAB. Los tres parámetros en el modelo representan:

- L*: luminosidad (0 para negro puro y 100 para el blanco)
- C*: la medida de croma de un color.
- H*: el ángulo métrico del matiz de un color.
- Diferencia de color total (ΔE_{CMC}): El sistema CMC se basó en un amplio estudio de la aceptabilidad visual de las diferencias de color en todas las regiones del espacio de color. Las ecuaciones CMC utilizan los valores CIE LCH de un color estándar para determinar las longitudes de los

semiejes de un elipsoide que contiene todos los colores que serían visualmente aceptables cuando se realiza una comparación con el estándar. La diferencia de color total ΔE_{CMC} y los valores de diferencia de color de cada componente son más indicativos de las diferencias de color visual, que el espacio de color visualmente no uniforme, reflejado por las diferencias CIE LAB.

Figura 17. **Diferencia de color total**



Fuente: Manual Técnico de Normas AATCC, *CMC: Calculation of Small Color Differences for Acceptability*, TM 173-2009. p.297.

2.5.1.5. Otros parámetros colorimétricos

Constituyen, principalmente medidas de estandarización para la comparación colorimétrica entre dos o más muestras teñidas.

2.5.1.5.1. Intensidad lumínica de referencia (RD)

Es una medida comparativa del comportamiento de la intensidad lumínica alcanzada por un colorante, con base a la concentración a la que se aplica, partiendo de un sustrato sin teñir.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - \beta)^2}{2 * \beta} * f(x)$$

[Ecuación No.6]

Donde:

K = adsorción de colorante

S = dispersión en sustrato

β = factor de reflectancia

$f(x)$ = función desconocida que depende de características visibles al ojo humano

2.5.1.5.2. Intensidad lumínica relativa (Rtd)

Permite establecer una comparación entre la intensidad lumínica de un estándar de color y una muestra, asumiendo que la intensidad lumínica del primero de ellos es del 100 %. Se expresa en porcentaje.

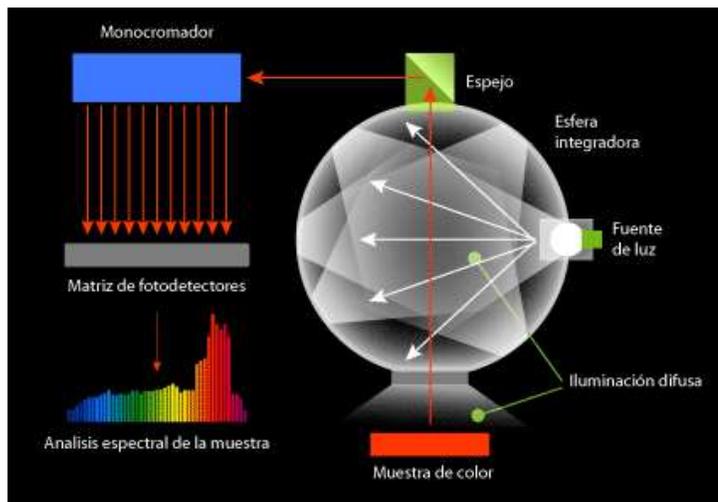
2.6. Espectrofotometría

Es la medición de la cantidad de energía radiante que absorbe o transmite un sistema químico en función de la longitud de onda.

2.6.1. Espectrofotómetro colorimétrico

Instrumento utilizado para la medición policromática de la energía reflejada o transmitida a través de una muestra, en el espectro de color visible en la región de 400-700² nm. Como resultado de las mediciones realizadas, permite calcular los valores tristímulo X,Y, Z para cualquier iluminante.

Figura 18. **Funcionamiento de espectrofotómetro de reflectancia**



Fuente: Tutorial de Espectroscopía. <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/espec.htm>. Consulta: 02 de noviembre de 2013.

- Uso de instrumento
Texto y/o viñeta

2 En algunos casos, el espectro de color incluye las regiones no visibles desde 360 nm hasta 780 nm.

- Calibración: Permite calcular a través de un software colorimétrico, una serie de factores de corrección que serán aplicados a las mediciones realizadas posteriormente.

La serie se construye con base a mediciones de una superficie blanca, con valores conocidos de reflectancia, y un azulejo negro (o trampa de luz). Una vez realizado el procedimiento, debe verificarse la validez de la calibración utilizando una superficie limpia verde que constituye un estándar de verificación cuyos valores colorimétricos son conocidos. Los límites de aceptabilidad dependen del usuario y los iluminantes especificados. En su mayoría, constituyen un $\Delta E_{CMC}=1$.

2.6.1.1. Parámetros de medición

Los parámetros para cada caso se establecen con base en las normas:

- ASTM E 1345–Standard Practice for Reducing the Effect of Variability of Color Measurement by Use of Multiple Measurements.
 - ASTM D 1776–Standard Practice for Conditioning of Textiles for Testing.
 - SAE J1545-Instrumental Color Difference Measurement for Exterior Finishes, Textiles and Colored Trim).
- Instrumento
 - Apertura del lente en el área de medición (0.6, 0.9, 20 o 30 mm).
 - Cantidad de mediciones por muestra (se recomienda obtener un promedio de 3 mediciones).
 - Rango de espectro visible de evaluación (con/sin filtro UV).

- Tipo de reflexión especular (incluido o excluido).
 - Si se trata de una comparación, todas las muestras deben medirse utilizando los mismos parámetros.
- Muestra
- La humedad de la muestra debe estabilizarse y ser constante, es decir, debe mantenerse a niveles reproducibles. De acuerdo a las Normas AATCC (EP 6-2008) las condiciones atmosféricas deben corresponder a una humedad relativa de 65 % (± 2 %) y una temperatura de 21 ± 1 °C.
 - La muestra debe doblarse apropiadamente en el área de medición, evitando que la luz penetre a través de la misma. Lo más apropiado es establecer una cantidad específica de dobleces según la tela a evaluar.
 - Fluorescencia.
 - Sensibilidad a la luz o temperatura (Fotocromismo y termocromismo).
 - Textura.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se clasifica el conjunto de variables utilizadas.

Tabla I. Lista de variables

Variable	Indep.	Dep.	Constante	No constante	Respuesta
Peso de tela	X		X		
Relación de baño	X		X		
Concentración de agotamiento de colorante	X			X	
Concentración de colorante a aplicar		X		X	
Concentración de auxiliares químicos de tintura		X		X	
Concentración de sal y álcali		X		X	
Volumen de agua		X		X	
Temperatura de tintura		X		X	
Temperatura de secado		X		X	
Temperatura de lavado		X		X	
Tiempo de tintura		X		X	
Tiempo de secado		X		X	
Tiempo de lavado		X		X	
Intensidad lumínica de referencia (RD)		X			X
Intensidad lumínica relativa (RtD)		X			X
Parámetros de sistema CIE LAB (dL, da, db, dC, dH, ΔE_{CMC})		X			X

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Lista de variables a manipular**

No.	Variable	Dimensional	Rango de variación
1	Software colorimétrico	--	1-2
2	Luz visible	--	1-2
3	Base de datos de colorantes	--	1-2

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El diseño de investigación planteado se desarrollará en un laboratorio de tintura y acabados para la industria textil, con el principal objetivo de implementar una nueva base de datos a los softwares colorimétricos mayormente utilizados para la obtención de recetas automáticas de colorantes en el proceso de igualación de estándares de color. Los resultados obtenidos a partir de la caracterización colorimétrica realizada a cada colorante en cuestión, serán evaluados comparativamente con registros provenientes de otros países, con base en el análisis similar, para determinar la factibilidad del uso de la nueva base de datos en sustitución de la existente.

3.3. Recurso humano disponible

Para la realización de este trabajo de investigación el recurso humano disponible es el siguiente:

- Investigador: Rocío Alejandra Lira Letrán
- Asesor: Inga. Ángela Sánchez
- Encargado: Inga. Jeannette López
- Asesor supervisor: Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera

3.4. Recursos materiales disponibles

Es de suma importancia tener todos los recursos disponibles para la realización del proyecto

3.4.1. Equipo

En la tabla III se describe el equipo utilizado, categorizándolo según las etapas que constituyen el proceso de tintura:

Tabla III. **Equipo**

ACTIVIDAD REALIZADA	EQUIPO	ESPECIFICACIONES
Peso de reactivos y fibra a teñir	Balanza digital	±0.01g
	Campana de extracción	Marca HEMCO En caso de reactivos de alta toxicidad
Tintura por agotamiento	3 máquinas de tintura 15 bombas con/sin inyección	Marca DATACOLOR capacidad: 300 y 250 mL
	1 máquina de tintura 12 bombas con inyección	Marca MATHIS LABOMAT Capacidad: 200 mL
Eliminación de exceso de agua	Centrifugadora	Marca MIELE capacidad: 500 g
Secado y ramado	Horno de convección	Marca SALVIS
	Máquina de ramado	Marca RAPID
Evaluación y análisis colorimétrico	Cámara de luces	Marca DATACOLOR Luces disponibles: D65, CWF, UV
	Espectrofotómetro colorimétrico	Marca DATACOLOR Versión: SF600 PLUS CV-UV
	Software colorimétrico	Helios 31 Datacolor Match Textile

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. Reactivos

Se describen los principales reactivos utilizados en cada etapa del proceso de tintura. La última sección, identificada con el color rojo, describe un listado de reactivos utilizados específicamente para el tratamiento y limpieza previa del equipo.

Tabla IV. Reactivos

TIPOS DE FIBRA A TEÑIR	Algodón (CO)	Poliéster (PES)	Poliamida 6.6 (PA)
	MONOREACTIVO BIREACTIVO	DISPERSO	ÁCIDO REACTIVO
COLORANTES A EVALUAR	Amarillo eco Naranja eco Rosa eco Rojo claro eco Rojo eco Azul claro eco Azul eco Azul oscuro eco Navy eco Amarillo RF1 Amarillo RF2 Amarillo RF3 Amarillo RF4 Amarillo RF5 Naranja RF1 Escarlata RF1 Rojo brillante RF1 Rojo RF2 Rojo RF3 Olivo RF1 Gris RF1 Café RF1 Azul brillante RF2 Azul RF7 Navy RF8 Negro RF1	Amarillo B1 Amarillo oro B2 Rojo B1 Rojo B2 Navy B1 Amarillo E1 Rojo E1 Azul Royal E1 Azul E2 Negro E1 Rojo A1 Rojo A2 Rojo A3 Rojo A4 Rojo A5 Azul A1 Navy A1 Negro A1	Amarillo AR1 Amarillo AR2 Naranja AR1 Rojo AR1 Rojo AR2 Azul AR1 Negro AR1 Amarillo AC1 Amarillo AC2 Rojo AC1 Rojo AC2 Rojo AC3 Violeta AC1 Azul AC1 Azul AC2 Navy AC1

Continuación de la tabla IV.

AUXILIARES DE TINTURA	Dispersante Reductor de fricción Sal Soda ash Soda cáustica	Dispersante Reductor de fricción Antirreductor (Según colorante) Solución buffer ácido	Acelerante de penetración Reductor de fricción Regulador de pH Cloruro de calcio Soda cáustica Soda Ash
JABONADO	Agente de lavado (Según corresponda)	No aplica	No aplica
LAVADO REDUCTIVO	No aplica	Soda cáustica (50%) Hidrosulfito de sodio Agente de lavado	No aplica
NEUTRALIZADO	Ácido acético	Ácido acético	-
FIJACIÓN	No aplica	No aplica	Agente fijador e igualador del color
OTROS REACTIVOS (TRATAMIENTO DE EQUIPO)	Hidrosulfito de sodio Soda cáustica en escamas Agentes de limpieza de equipo		

Fuente: elaboración propia.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

A continuación se describe el tipo de técnica utilizada en cada una de las etapas de evaluación de los resultados.

3.5.1. Construcción de la curva colorimétrica característica para cada colorante

Se evaluó la intensidad lumínica de referencia (RD) de las muestras teñidas por agotamiento en función de distintas concentraciones de colorante. Para determinar la validez de los resultados se verificó la tendencia de la curva; si la misma cumple con la establecida, el resultado se considera aceptable y se

registra en la base de datos de ambos software (Helios 31 y Datacolor Match Textile). La técnica utilizada en esta sección es enteramente cualitativa.

3.5.2. Evaluación de los resultados mediante escala de color CIE LAB

Se evalúan los resultados obtenidos mediante las recetas de tintura que los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile proveen en el proceso de igualación de un estándar de color, considerando los parámetros de CIELAB en cuestión (dL , da , db , dC , dH , ΔE_{CMC}) y de la intensidad lumínica relativa (Rtd) con un iluminante específico. Se determina cuantitativamente si el resultado es válido según los márgenes establecidos.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información obtenida se clasifica según el tipo de fibra teñida, evaluando dos parámetros principales: la intensidad lumínica de referencia y la intensidad lumínica relativa.

3.6.1. Tintura por agotamiento

En esta sección se describe el método de tintura utilizado según el tipo de fibra y colorante. Al final, se adjunta un diagrama de flujo que especifica las variaciones y condiciones del proceso realizado para cada fibra.

3.6.1.1. Algodón

- Realizar un lavado reductivo para limpiar las bombas de tintura e identificarlas.

- Realizar los cálculos estequiométricos correspondientes a la cantidad de auxiliares químicos, sal y álcali a añadir según el porcentaje de colorante y la relación de baño determinada.
- Preparar solución de auxiliares de tintura.
- Preparar soluciones de colorante en diluciones 1/50 o 1/100.
- Pesar muestras de 5 gramos de tela e identificarlas.
- Añadir el colorante, auxiliares y sal en las bombas en las proporciones requeridas.
- Añadir la cantidad de álcali y soda ash requerida en los compartimentos de inyección de cada bomba.
- Humedecer y añadir la tela.
- Cerrar bombas y colocar en máquina.
- Elegir en la máquina el programa a ejecutar según el tipo de tintura. Si no existe programa, editar de acuerdo a las condiciones del proceso.
- Dosificar álcali y soda ash cuando sea requerido.
- Esperar que se cumpla el tiempo de fijación del colorante.
- Habiendo finalizado el período de fijación, sacar muestras y lavar con agua a 60 °C.
- Lavar brevemente con agua a 60 °C.
- Neutralizar muestras con ácido acético.
- Preparar solución de lavado y lavar muestras a 90 °C por 10 min.
- Lavar brevemente con agua a temperatura ambiente.
- Eliminar el exceso de agua en las muestras utilizando una centrifugadora.
- Secar muestras en horno de convección a 60 °C por 15 min.
- Dejar ambientar por 45 min.

3.6.1.2. Poliéster

- Realizar un lavado reductivo para limpiar las bombas de tintura e identificarlas.
- Realizar los cálculos correspondientes a la cantidad de auxiliares químicos a añadir según el porcentaje de colorante y la relación de baño determinada.
- Preparar solución de auxiliares de tintura.
- Preparar soluciones de colorante en diluciones 1/50 ó 1/100.
- Pesar muestras de 5 gramos de tela e identificarlas.
- Añadir el colorante y auxiliares de tintura en las bombas en las proporciones requeridas.
- Humedecer y añadir la tela.
- Cerrar bombas y colocar en máquina.
- Elegir en la máquina el programa a ejecutar según el tipo de tintura. Si no existe programa, editar de acuerdo a las condiciones del proceso.
- Esperar que se cumpla el tiempo definido.
- Habiendo finalizado, sacar muestras y lavar con agua a 40 °C.
- Preparar solución de lavado reductivo y lavar muestras a 80 °C por 20 min.
- Neutralizar muestras con ácido acético.
- Lavar brevemente con agua a temperatura ambiente.
- Eliminar el exceso de agua en las muestras utilizando una centrifugadora.
- Secar muestras en rama a 140 °C por 1 min.
- Dejar ambientar por 45 min.

3.6.1.3. Poliamida

- Realizar un lavado reductivo para limpiar las bombas de tintura e identificarlas.
- Realizar los cálculos correspondientes a la cantidad de auxiliares de tintura a añadir según el porcentaje de colorante y la relación de baño determinada.
- Preparar solución de auxiliares químicos.
- Preparar soluciones de colorante en diluciones 1/50 o 1/100.
- Pesar muestras de 5 gramos de tela e identificarlas.
- Añadir el colorante y auxiliares de tintura en las bombas en las proporciones requeridas.
- Añadir la cantidad de cloruro de calcio requerida (según corresponda) en los compartimentos de inyección de cada bomba.
- Humedecer y añadir la tela.
- Cerrar bombas y colocar en máquina.
- Elegir en la máquina el programa a ejecutar según el tipo de tintura. Si no existe programa, editar de acuerdo a las condiciones del proceso
- Dosificar cloruro de calcio cuando se active la alarma.
- Esperar que se cumpla el tiempo definido.
- Habiendo finalizado, sacar muestras y lavar con agua a 40 °C.
- Preparar solución de fijación y lavar muestras a 75 °C por 20 min.
- Según corresponda, realizar un segundo lavado utilizando soda ash a 90 °C por 20 min.
- Neutralizar muestras con ácido acético.
- Lavar brevemente con agua a temperatura ambiente.
- Eliminar el exceso de agua en las muestras utilizando una centrifugadora.

- Secar muestras en rama a 140 °C por 40 seg.
- Dejar ambientar por 45 min.

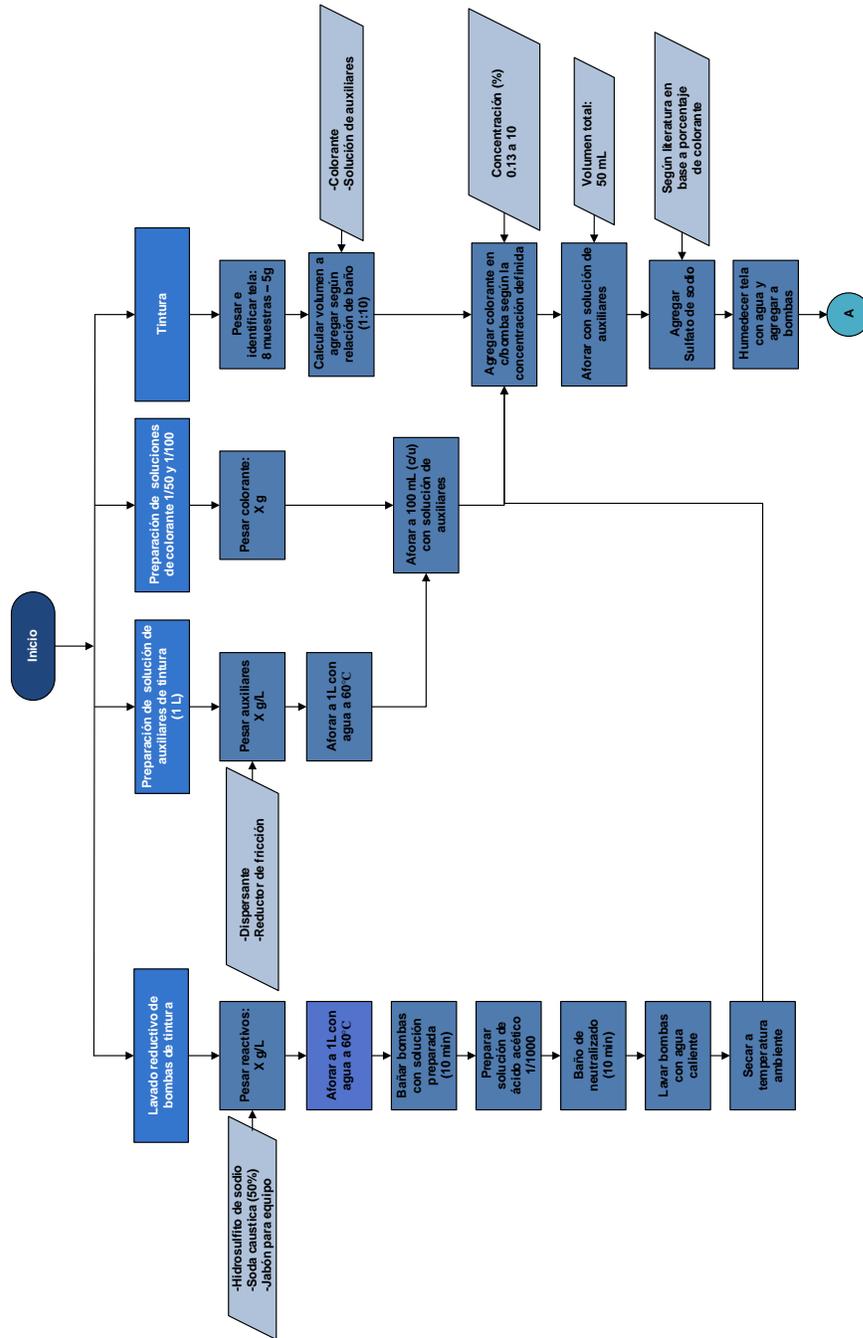
Los diagramas de flujo mostrados en las figuras 19 a la 24, detallan el proceso descrito anteriormente, utilizando la siguiente clasificación de color según el tipo de fibra teñida para una mejor identificación:

Tabla V. **Clasificación de color según tipo de fibra**

	Tintura CO
	Tintura PES
	Tintura PA

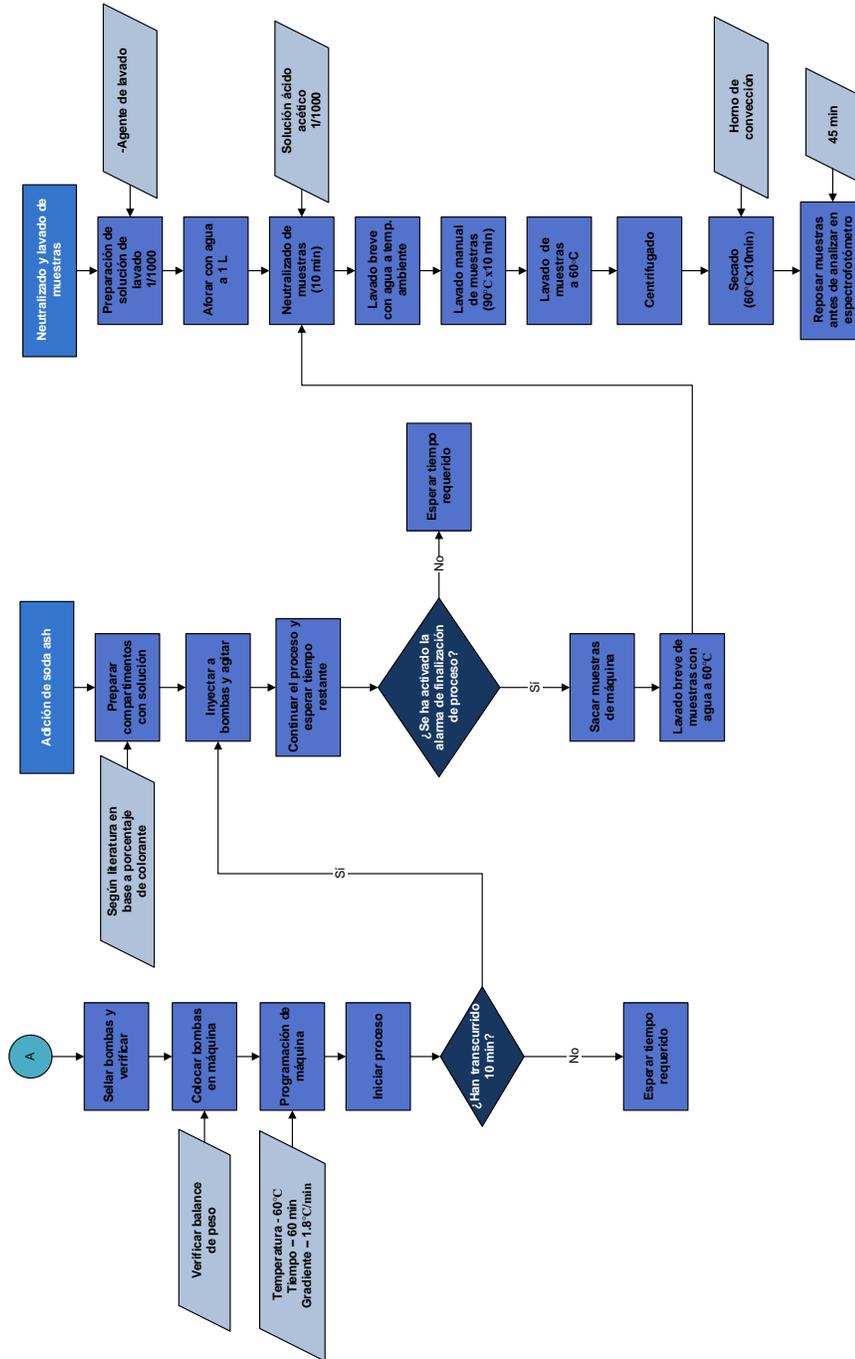
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Tintura por agotamiento de algodón 1



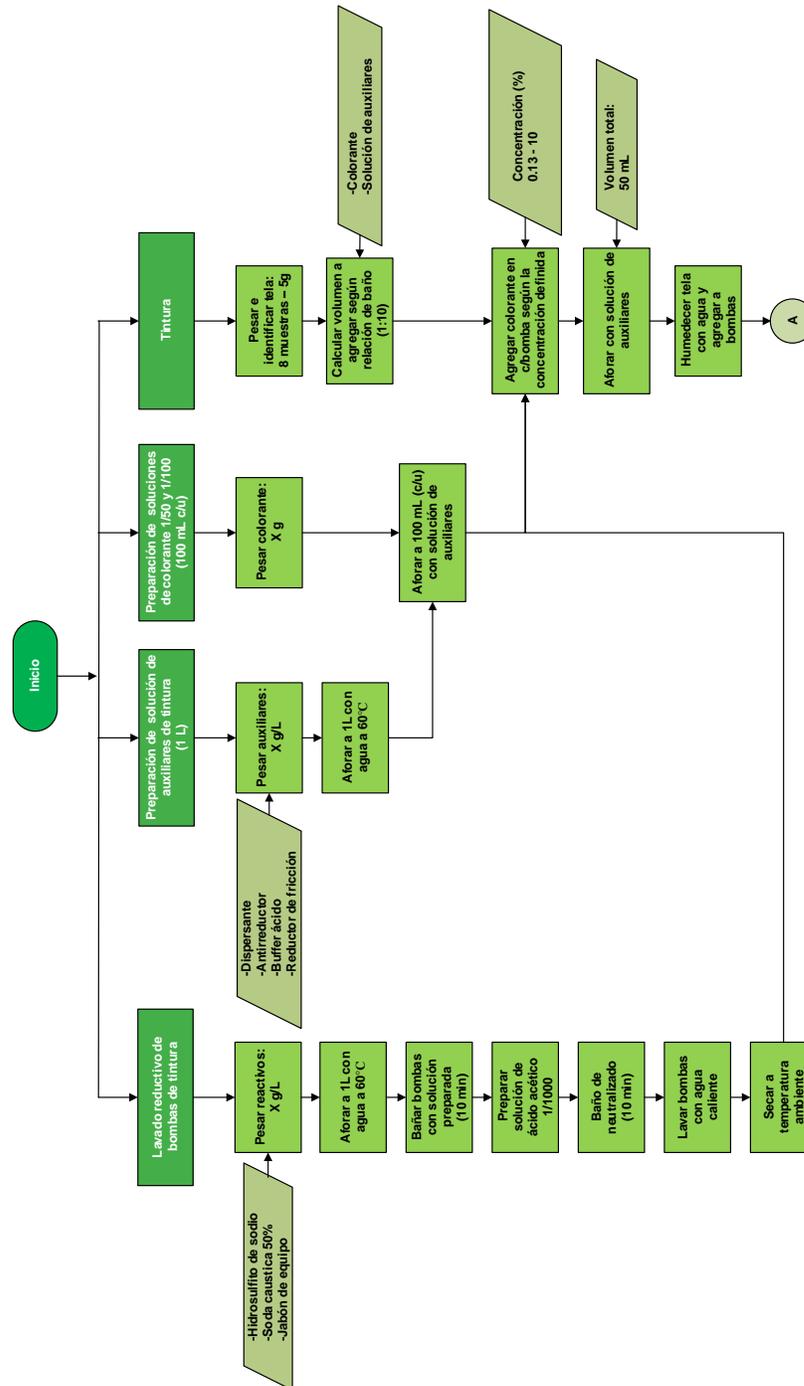
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Tintura por agotamiento de algodón 2



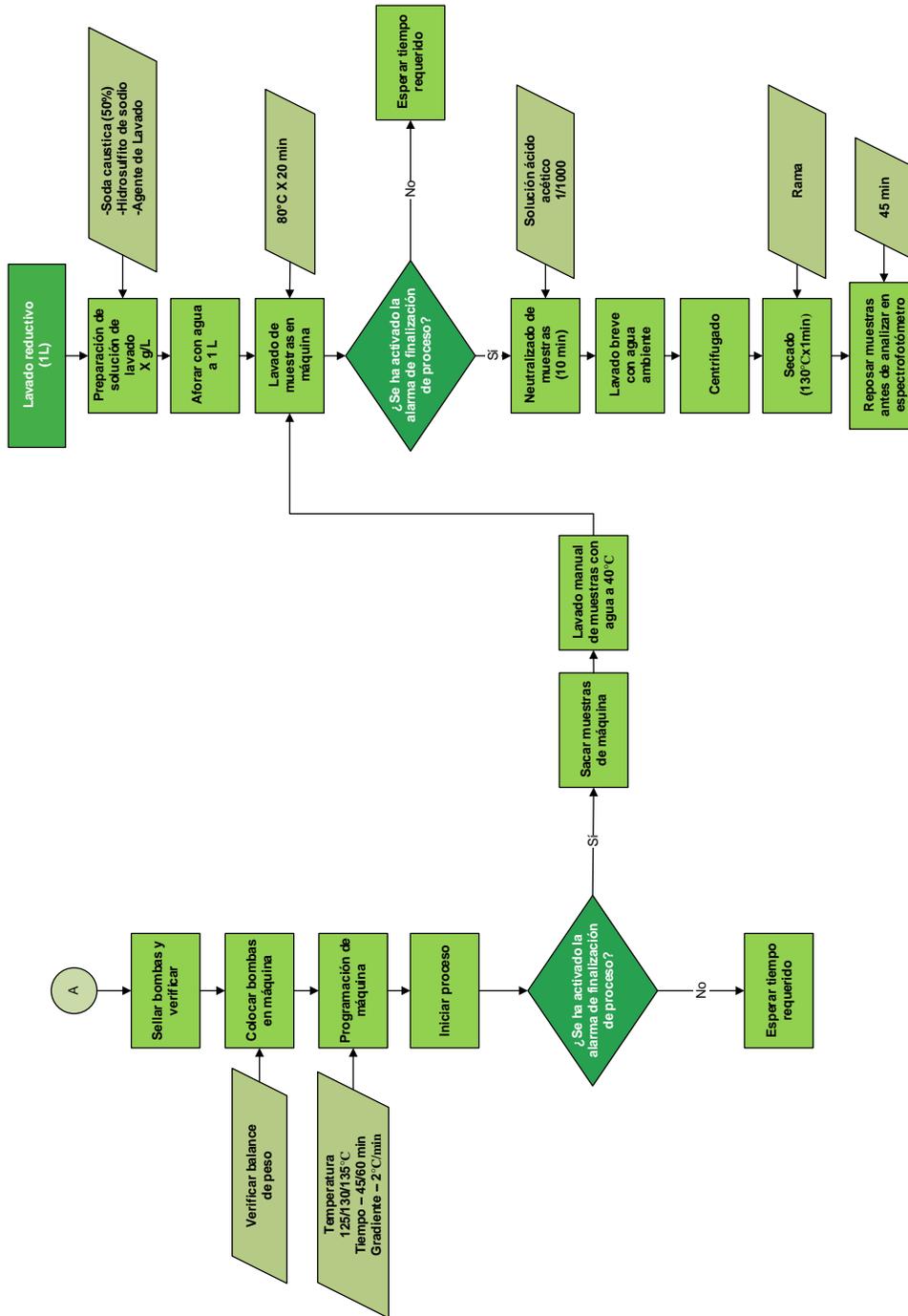
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Tintura por agotamiento de poliéster 1



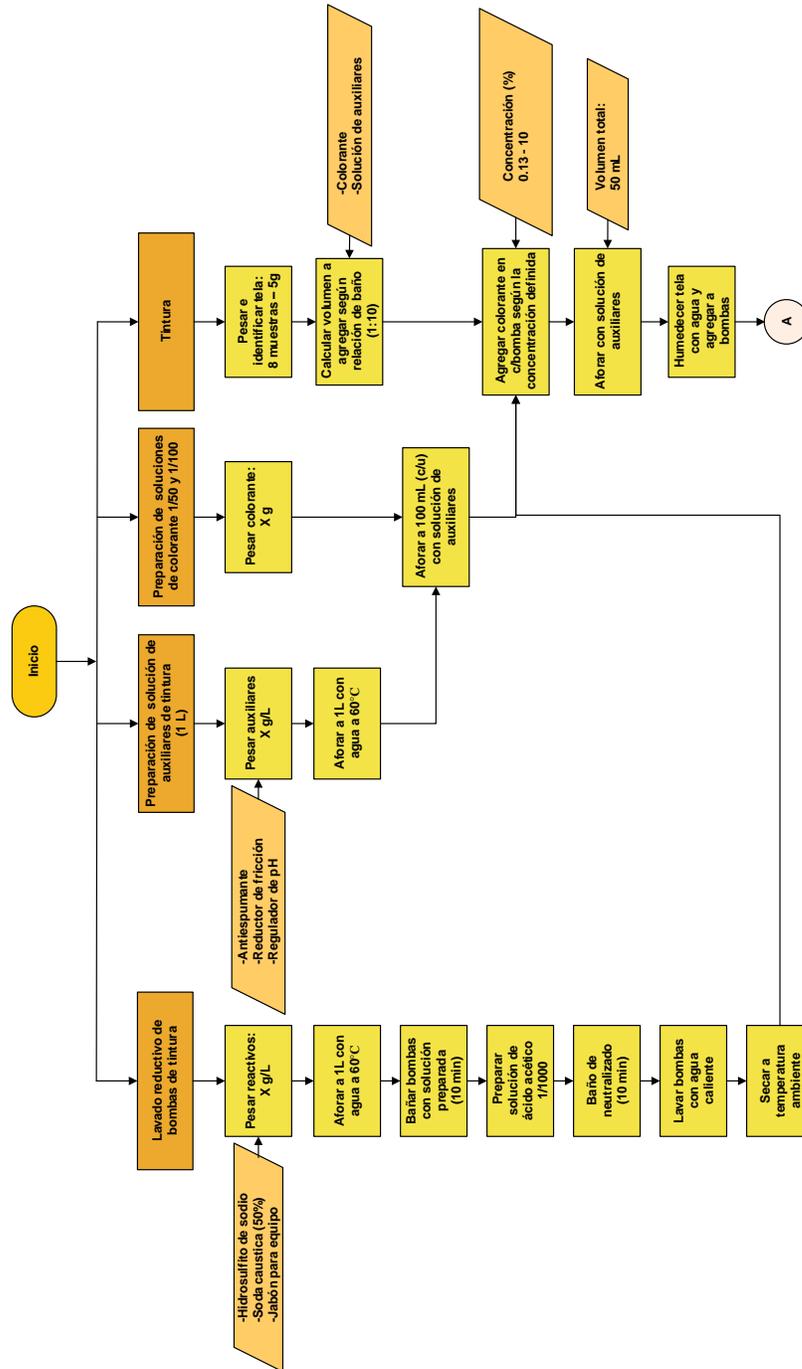
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Tintura por agotamiento de poliéster 2



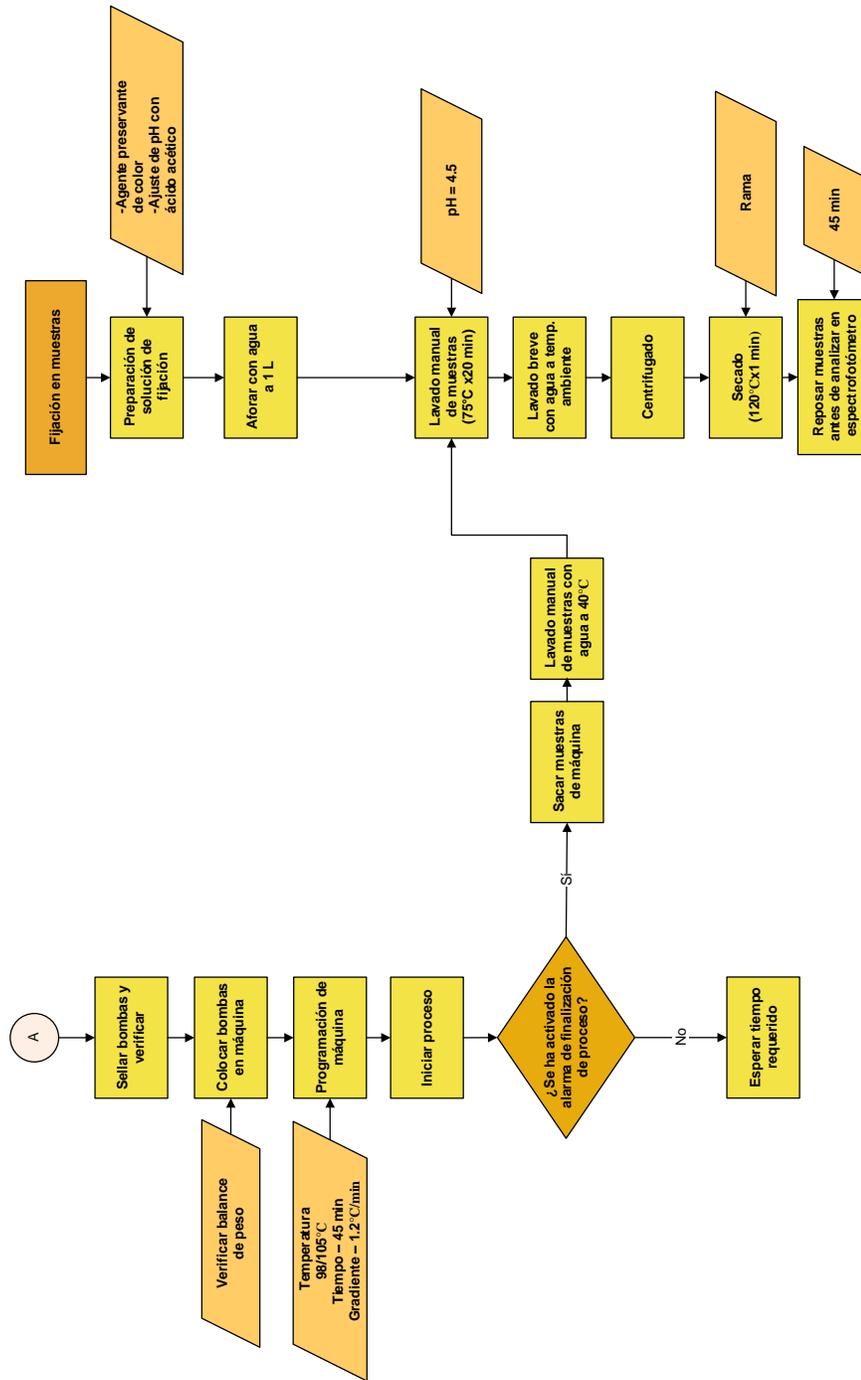
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Tintura por agotamiento de poliéster 3



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Tintura por agotamiento de poliéster 4



Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Medición de muestras en espectrofotómetro colorimétrico

Para realizar las mediciones colorimétricas correspondientes, el espectrofotómetro debe configurarse según los siguientes parámetros:

- Apertura del lente de 30 mm
- Promedio de 3 mediciones por muestra
- Activar filtro UV
- Excluir especular

La metodología de medición toma como referencia las Normas ASTM E 1345, ASTM D 1776 y SAE J1545.

3.6.3. Obtener la curva de intensidad lumínica de referencia del colorante (RD)

Utilizando las mediciones obtenidas según el inciso anterior, se calcula mediante Helios 31 la curva de intensidad lumínica de referencia para cada colorante y se analiza la tendencia.

3.6.3.1. Intensidad lumínica de referencia (RD)

A continuación se describe brevemente la forma en que el software Helios 31 realiza el cálculo de los valores RD:

$$RD = \sum_{400}^{700} \left(\frac{K}{S} \right)_{\lambda} * f_{\lambda}$$

Donde:

RD = intensidad lumínica de referencia

K/S = ecuación Kubelka-Munk

λ = longitud de onda (nm)

f λ = función desconocida

3.6.3.1.1. Ecuación Kubelka – Munk

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - \beta)^2}{2 * \beta}$$

Donde:

K = adsorción

S = sustrato

β = reflectancia (%)

3.6.4. Implementación de los resultados en la base de datos de los softwares usados

Si la curva de construcción colorimétrica del colorante cumple con la tendencia asintótica esperada, se agrega la caracterización colorimétrica del colorante a la base de datos de Helios 31 y Datacolor Match Textile.

3.6.5. Evaluación de la predicción de recetas de tintura a partir de la nueva base de datos

La evaluación realizada se desglosa en cuatro pasos:

3.6.5.1. Determinación de estándares de color

Se determinaron tres estándares de color con el propósito de igualar sus parámetros colorimétricos en distintos tipos de fibra, utilizando la base de datos incorporada y ambos softwares en cuestión.

3.6.5.2. Predicción de recetas de tintura mediante Helios 31 y Datacolor Match Textile

Se obtuvo recetas de tintura para cada estándar, utilizando la nueva base de datos y se desarrollaron los procesos de tintura correspondientes, evaluando comparativamente los resultados obtenidos a partir de la base de datos ya existente.

3.6.5.3. Determinación de la intensidad lumínica relativa (Rtd)

Se calcula de la misma forma que la intensidad lumínica de referencia, pero se expresa en unidades de porcentaje, considerando que la intensidad lumínica del estándar igualado representa el 100 por ciento.

$$Rtd = (RD) * 100$$

Rtd = intensidad lumínica relativa por ciento

RD = intensidad lumínica de referencia No pude quitar mayúscula

3.6.5.3.1. Margen de exactitud ($E_{\%}$)

Constituye el margen de error existente entre la intensidad lumínica relativa de las muestras obtenidas y los estándares igualados. Debe ser menor al 40 por ciento para cumplir con la hipótesis planteada.

$$\Delta E_{\%} = 100 - Rtd$$

3.6.6. Determinación de parámetros colorimétricos mediante sistema CIE LAB y diferencia de color total ΔE_{CMC}

Para cada una de las muestras resultantes, se calcularon los parámetros colorimétricos establecidos por CIE LAB en comparación al estándar de color igualado. Todos los parámetros fueron obtenidos automáticamente por ambos softwares.

3.6.6.1. Parámetros CIELAB

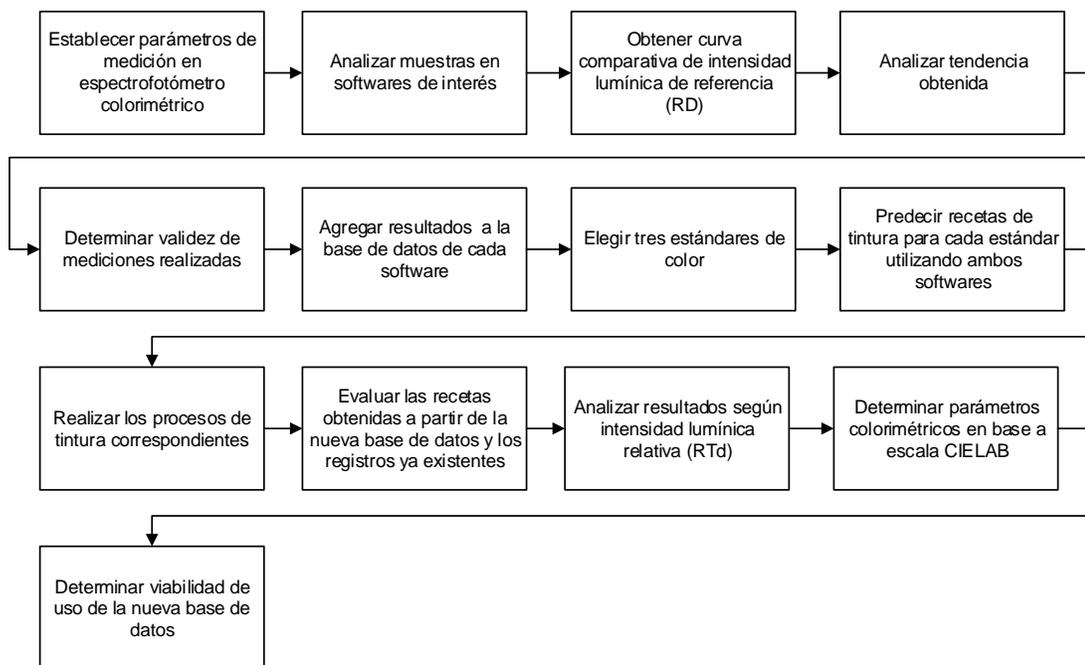
Son evaluados conforme el método 173-2009 Calculation of Small Color Differences for Acceptability (CMC) establecido en el Manual Técnico de Normas de la AATCC. En el apéndice se describe brevemente la metodología de cálculo de cada uno.

3.6.6.2. Diferencia de color ΔE_{CMC}

Este parámetro, también es obtenido automáticamente por ambos softwares colorimétricos como se describe en la sección correspondiente del marco teórico.

En el diagrama que se adjunta a continuación se resume la información anteriormente planteada.

Figura 25. **Obtención y evaluación de resultados**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información recolectada fue tabulada, ordenada y procesada automáticamente, en su mayoría, por los software colorimétricos en cuestión.

3.7.1. Elaboración de recetas

Cada una de las tinturas fue desarrollada con base a las recetas que se tabulan como se observa en la figura siguiente. En la misma se especifican los

auxiliares de tintura a usar, el volumen a agregar de cada uno, las condiciones del proceso de tintura, entre otros detalles de utilidad (lote, recomendaciones, entre otros).

Figura 26. Elaboración de recetas de tintura para cada colorante

PRUEBA DE LABORATORIO										HUNTSMAN Creating breakthroughs together		
Cliente: _____	Fecha: Guatemala, _____ de _____ de _____			COLORANTES:								
Luz: _____	Temperatura: _____ °C	Tiempo: _____		Pick Up: _____ %		Blanqueado: <input type="checkbox"/> Blanqueo Óptico <input type="checkbox"/> Crudo <input type="checkbox"/> Sulfonado: _____						
Ref. de Baño: _____	País: _____			Descolorido: <input type="checkbox"/> Marcetizado: <input type="checkbox"/> Demergido: <input type="checkbox"/> Proceso: _____								
① Yellow NC	%	0.13	0.25	0.5	1.0	2.0	3.5	5.5	7.5			Std. 08711MC7
② Grey NC	%	0.13	0.25	0.5	1.0	2.0	3.5	5.5	7.5			Std. 088006911
③ Olive NC	%	0.13	0.25	0.5	1.0	2.0	3.5	5.5	7.5			Std. 088000210
④ Brown NC	%	0.13	0.25	0.5	1.0	2.0	3.5	5.5	7.5			Std. 08811MC7
ALBATEX DBS	g/l	2	2	2	2	2	2	2	2			
ALBAFWID C	g/l	1	1	1	1	1	1	1	1			
Sulf. de Sodio	g/l	30	30	40	50	60	85	100	100			
Soda Ash	g/l	0 ⁴	8 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴			
NaOH 30°Be	g/l	-	-	0.67	1.34	1.67	2.34	3.34	3.34			
Neutraliz. Ac. ac	ml/L	16	45	46	44	42	38	32	27			
Neutraliz. Ac. ac	ml/L	1	1	1	1	1	1	1	1			
10 min												
EPICROM R Lta	ml/L	1	1	1	1	1	1	1	1			
90°C x 10 min												

100g

Los datos contenidos en nuestra documentación se basan en nuestros conocimientos actuales y en los resultados de los ensayos realizados con un constante afán de objetividad. Form de adaptación a cada caso particular y por lo tanto, no implica responsabilidad alguna para nosotros.

EFECTUADO POR: _____

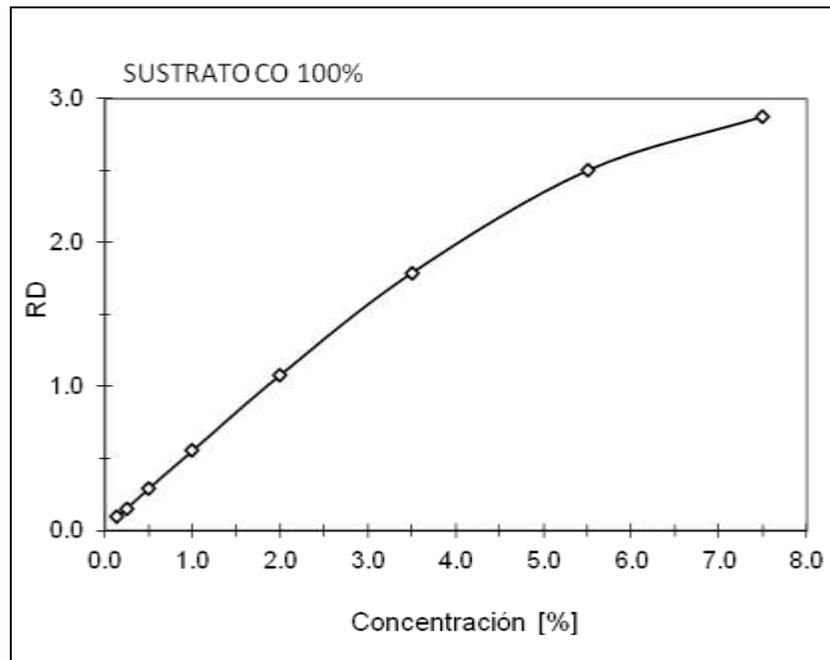
Fuente: Huntsman Textile Effects (Guatemala) Ltda.

3.7.2. Obtención de curvas intensidad lumínica de referencia

Las mediciones colorimétricas obtenidas para cada muestra mediante el espectrofotómetro fueron almacenadas automáticamente en la base de datos de los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile.

Un ejemplo descriptivo de las curvas de intensidad lumínica de referencia (RD), se desglosa a continuación. A partir de Helios 31, los gráficos y cálculos son obtenidos mediante Microsoft Excel.

Figura 27. **Curvas de intensidad lumínica de referencia (RD)**



Fuente: Helios 31, Reference depth graph, Naranja RF1, grupo 708.

3.7.3. Análisis comparativo de resultados obtenidos

El análisis comparativo de los resultados se realizará con base a la predicción de recetas de tintura de tres estándares de color, con ambos software en cuestión.

- Primero se evaluará el margen de exactitud de la intensidad lumínica relativa ($\Delta E_{\%}$) en los resultados a partir de las recetas de tintura

generadas utilizando la nueva base de datos y los software Helios 31 y Datacolor Match Textile.

- Se concluirá si los resultados sobrepasan el margen de exactitud esperado (40 %).
- Luego se evaluará el margen de exactitud comparando la nueva base de datos y los registros ya existentes utilizando Helios 31. Se determinará si es viable el uso de la nueva base de datos en sustitución de los registros ya existentes.

A continuación se muestra un ejemplo del ordenamiento y tabulación de los datos correspondientes a esta sección.

Figura 28. **Predicción automática de recetas mediante softwares**

Estándar No.2			
CO 100 %	Colorantes RF		
Iluminante: D65	Recetas		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Amarillo RF2	0,0080	0,0091	0,0091
Rojo brillante RF1	0,0320	0,0339	0,0291
Azul brillante RF2	0,4220	0,4090	0,3600
Total	0,4620	0,4520	0,3980

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- R-1 Receta obtenida a partir de Datacolor Match Textile usando nueva base de datos.

- R-2 Receta obtenida a partir de Helios 31 usando nueva base de datos.
- R-3 Receta obtenida a partir de Helios 31 usando base de datos ya existente.

Figura 29. **Diferencias de color en igualación de estándares**

Estándar No.2			
CO 100 %	Colorantes RF		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	65	65	59
Luminosidad (dL)	5,41	5,28	6,77
Eje rojo – verde (da)	0,18	0.51	0,06
Eje azul – amarillo (db)	2,86	4.06	4,42
Croma (dC)	-2,79	-4.04	-4,24
Saturación (dH)	-0,65	-0.67	-1,25
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	2,89	3.21	3,89
Margen de exactitud (%)	35	35	35
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- M-1 Muestra obtenida usando R-1
- M-2 Muestra obtenida usando R-2
- M-3 Muestra obtenida usando R-3

3.7.4. Software utilizado para análisis de datos

Hay una gran variedad de software con los que se pueden trabajar pero en esta ocasión solo se utilizarán dos.

3.7.4.1. Software colorimétricos

- DATACOLOR MATCH TEXTILE
- HELIOS 31

3.7.4.2. Otros

- DATACOLOR TOOLS PLUS
- MICROSOFT EXCEL 2010
- MICROSOFT WORD 2010

3.8. Análisis estadístico

Se realizó un muestreo de aceptación tomando como referencia el procedimiento establecido en la Norma ISO 2859-1 Sampling procedures for inspection by attributes, y con base a los parámetros definidos por la escala de color CIE LAB, debido al alto costo de realizar una inspección al 100 por ciento de los colorantes evaluados.

Se definió una probabilidad de aceptación del 90 por ciento y se evaluó el nivel de calidad aceptable (AQL) requerido mediante distribución binomial (a continuación, la función detallada).

$$P_a = \sum_{c=0}^i \frac{(nP_o)^c * e^{-nP_o}}{c!}$$

Donde:

P_a = *probabilidad de aceptación*

n = *muestra*

c = *parámetros de aceptación*

P_o = *proporción de colorantes no aceptados*

Los cálculos fueron realizados en Microsoft Excel definiendo los factores:

$$P_a = 0.90, n = 3, c = 0.$$

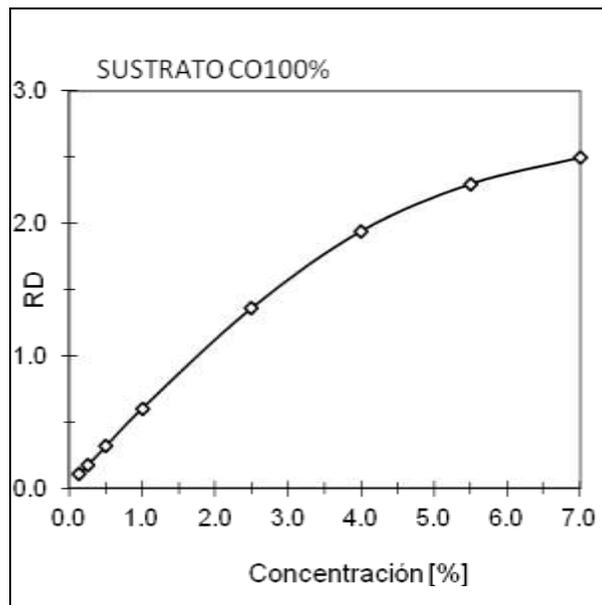
Finalmente se definió un nivel de calidad aceptable del 3 por ciento. Es decir, existe una probabilidad de 0,90 que los colorantes evaluados en cada gama cumplan con las expectativas esperadas, permitiendo obtener recetas de tintura con un margen de error menor al 40 por ciento.

4. RESULTADOS

4.1. Curvas de intensidad lumínica de referencia (RD) para cada colorante

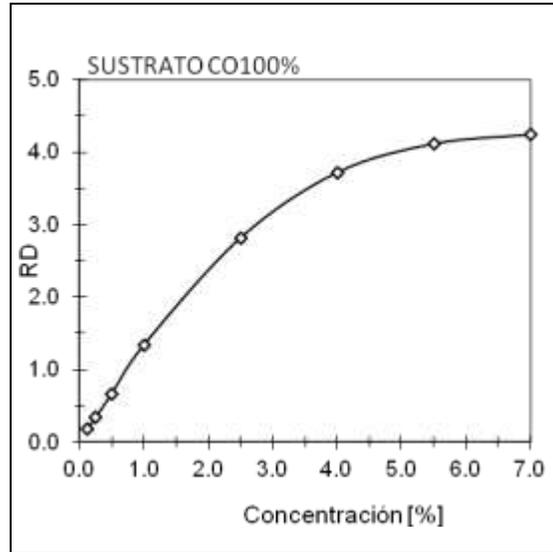
A continuación se muestran las curvas de intensidad para cada colorante en base a la concentración de cada uno.

Figura 30. **Amarillo eco**



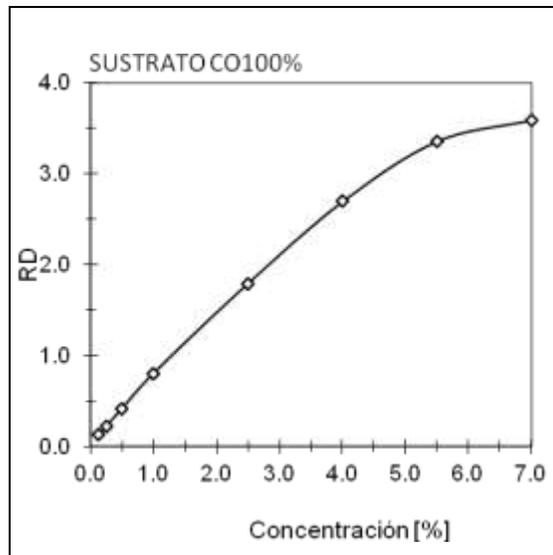
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Naranja eco**



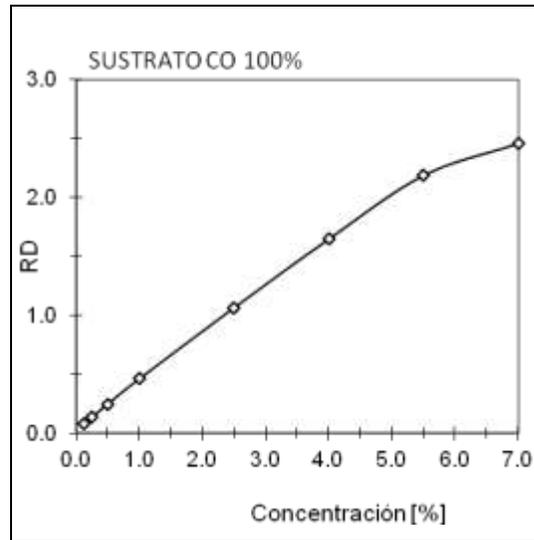
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Rosa eco**



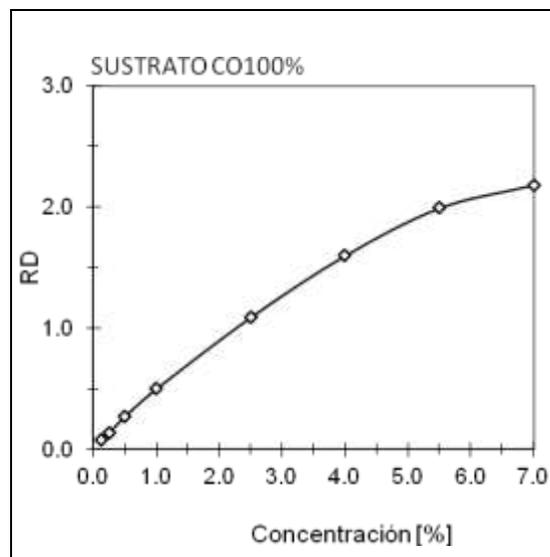
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Rojo claro eco**



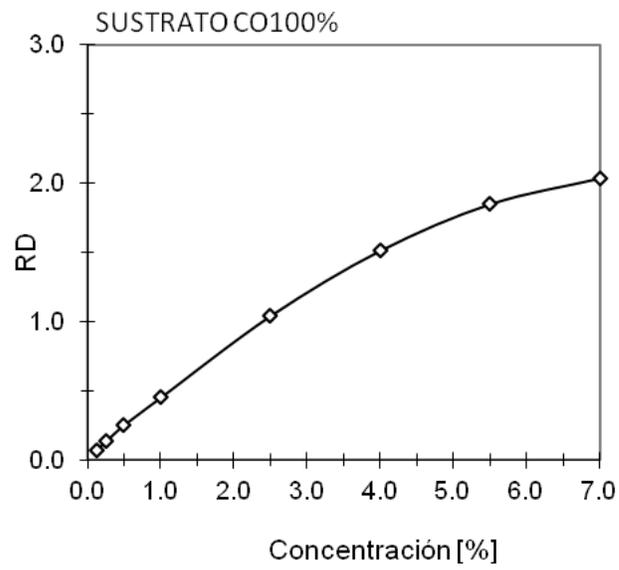
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Rojo eco**



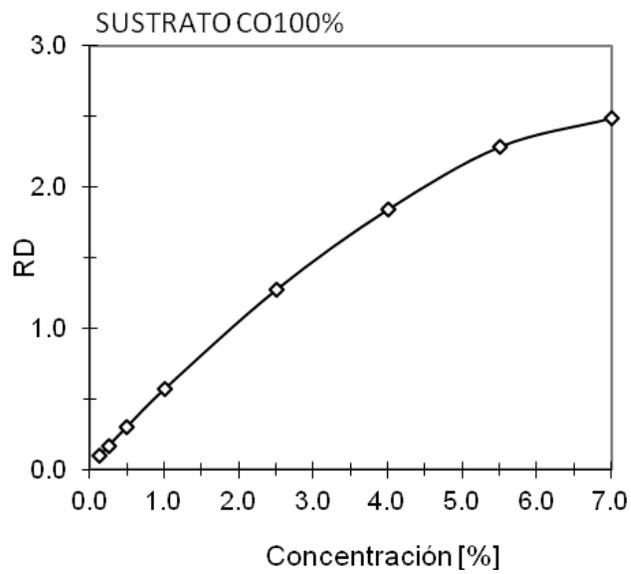
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Azul claro eco**



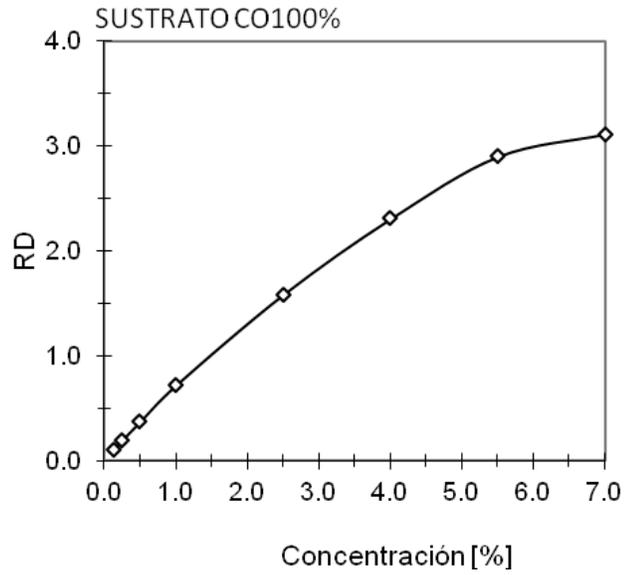
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Azul eco**



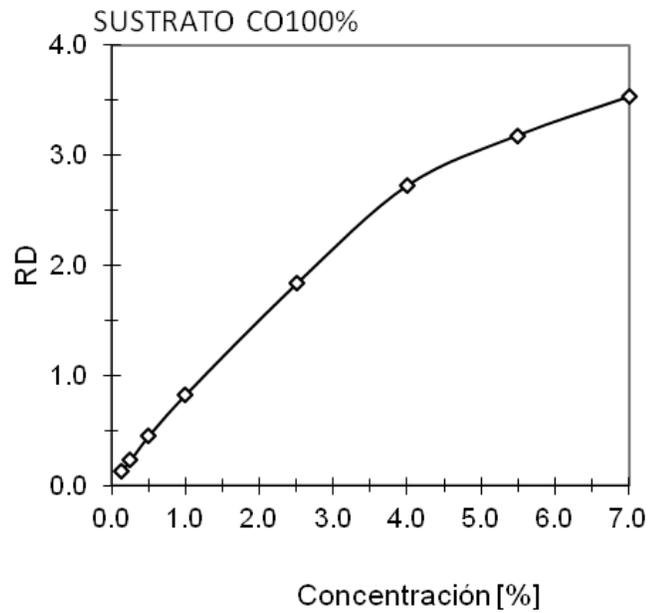
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Azul oscuro eco**



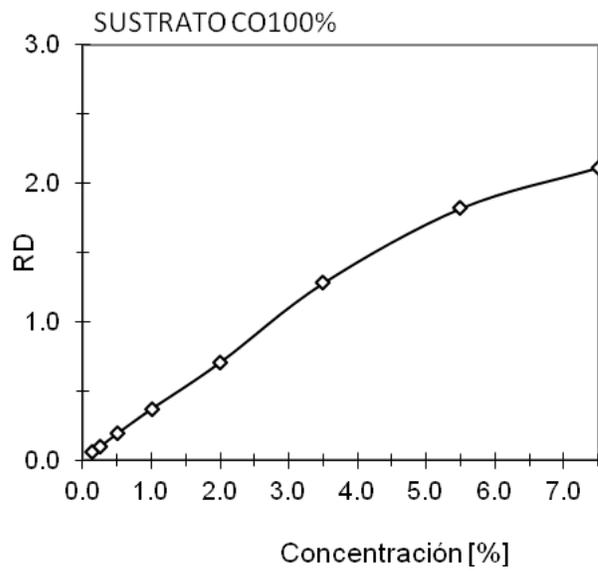
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Navy eco**



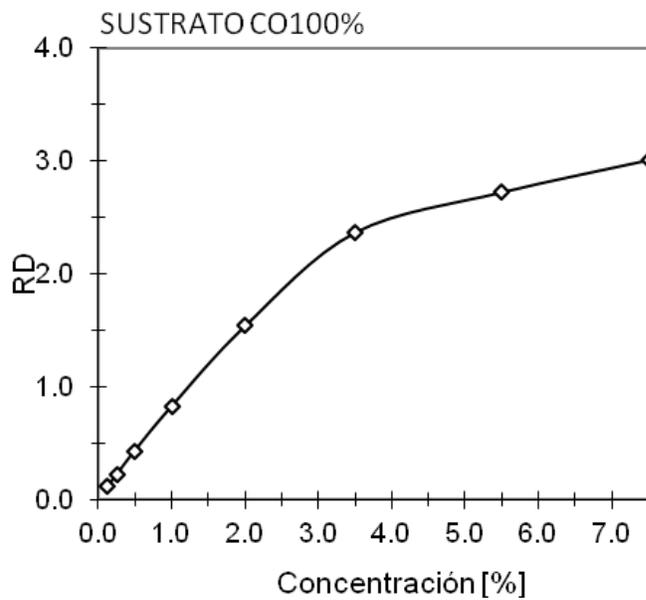
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Amarillo RF1**



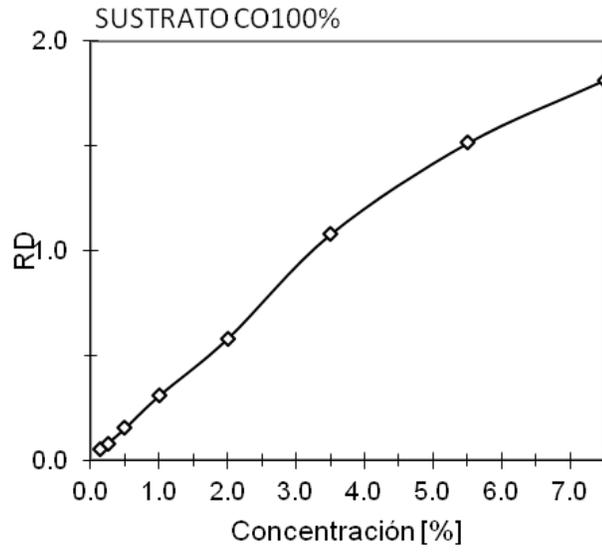
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Amarillo RF2**



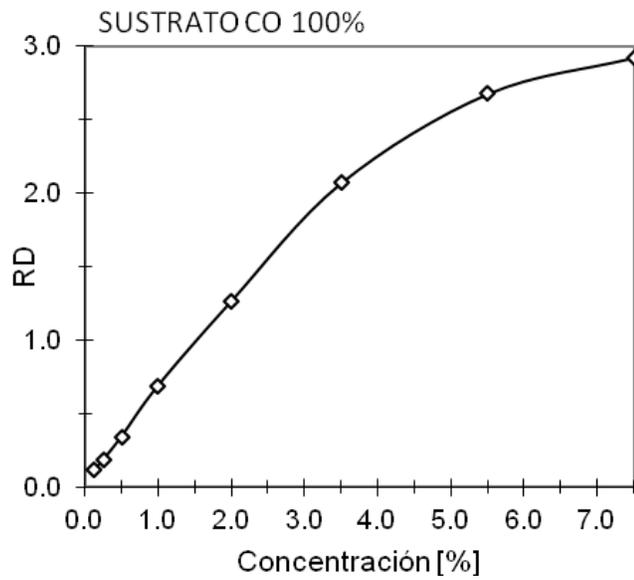
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Amarillo RF3**



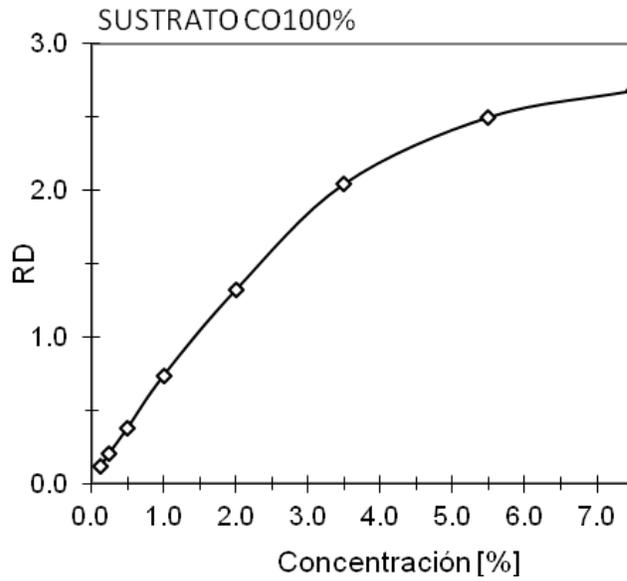
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Amarillo RF4**



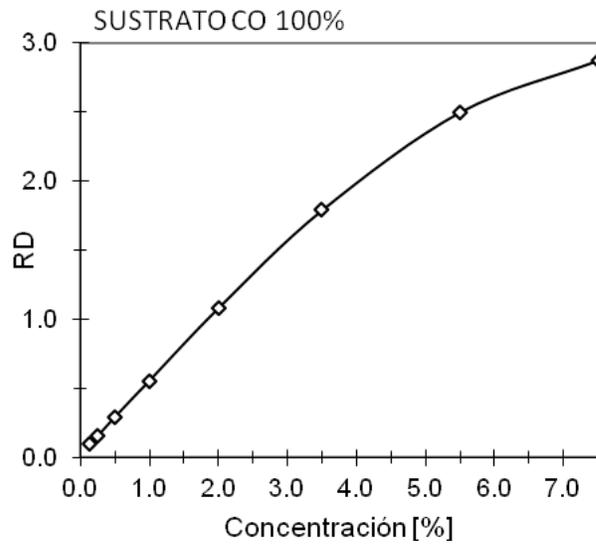
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Amarillo RF5**



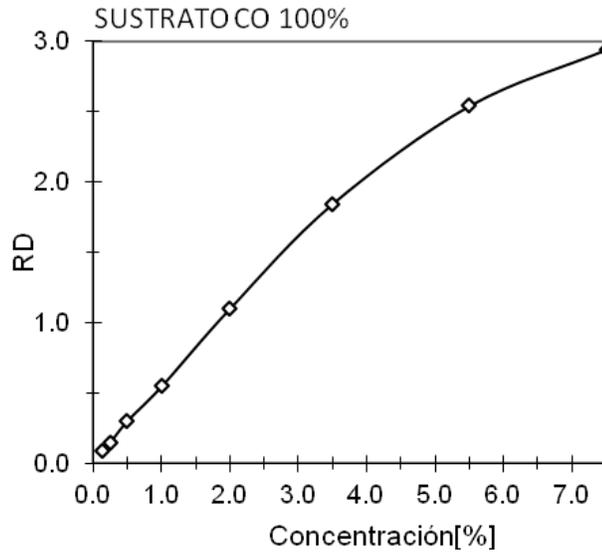
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Naranja RF1**



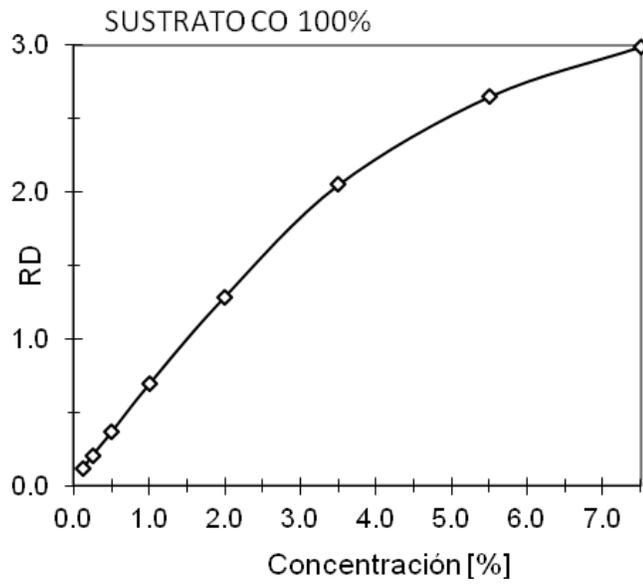
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Escarlata RF1**



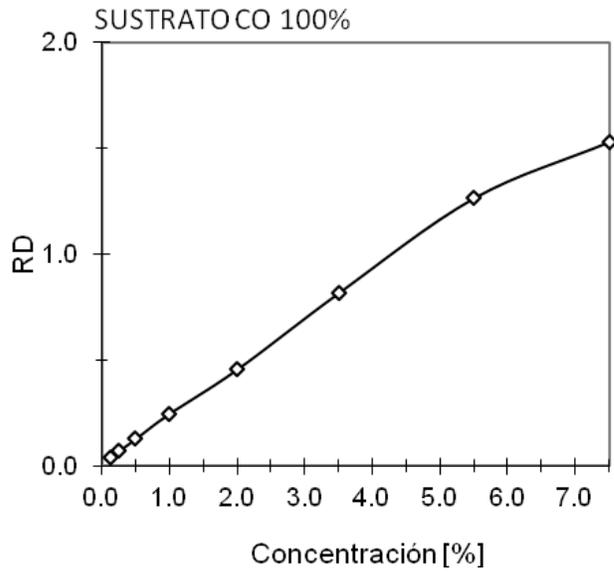
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Rojo brillante RF1**



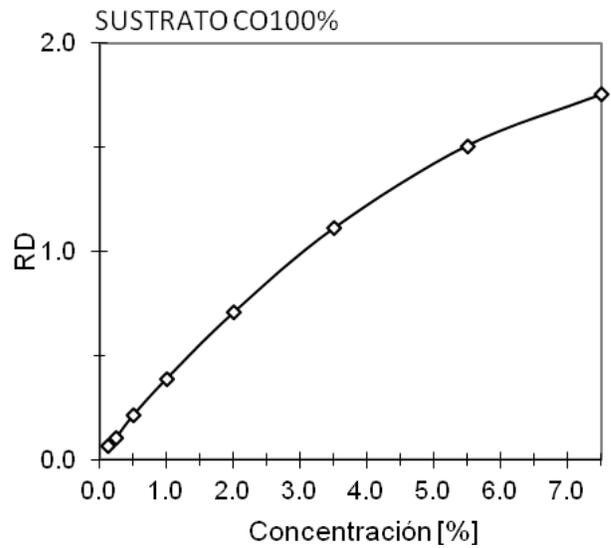
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Rojo RF2**



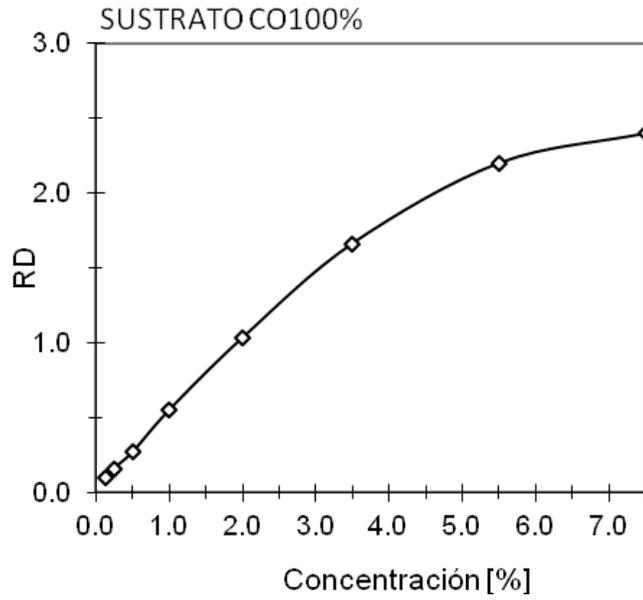
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Rojo RF3**



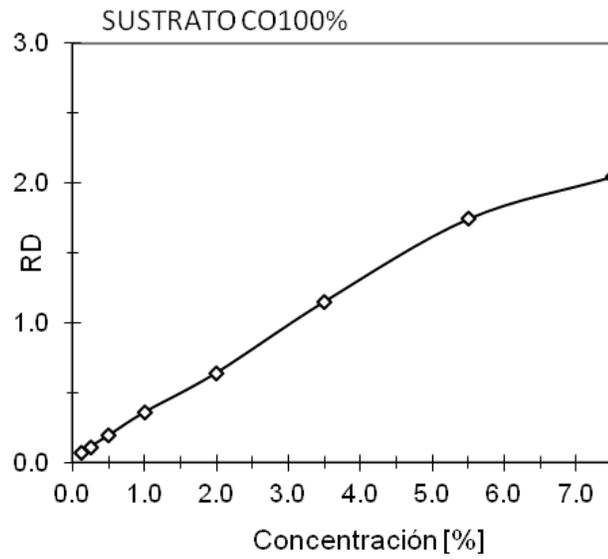
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Olivo RF1**



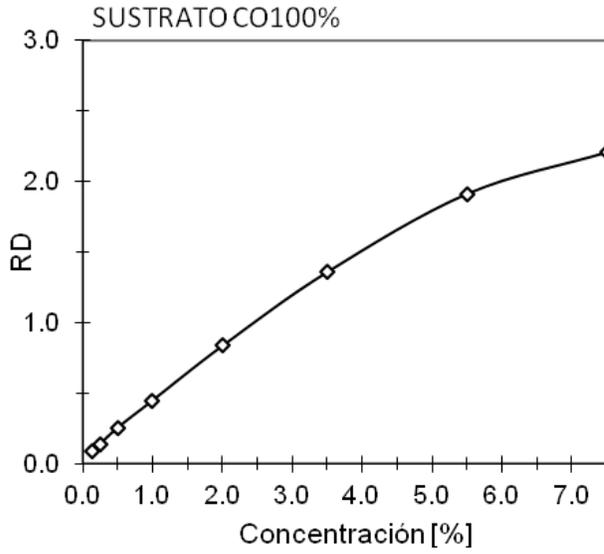
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Gris RF1**



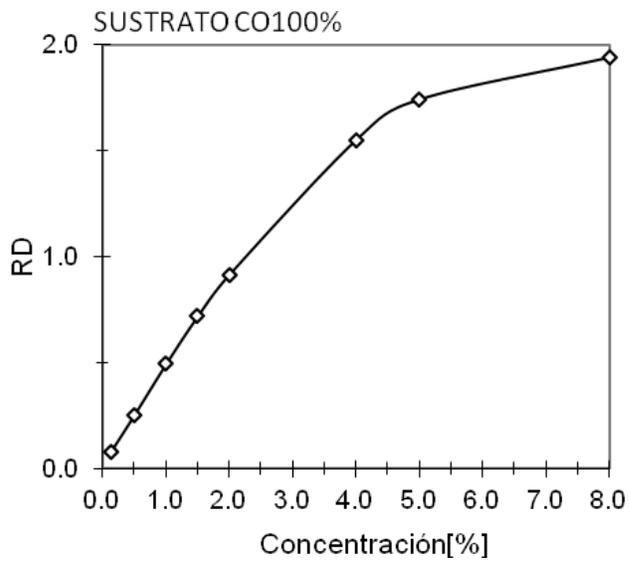
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Café RF1**



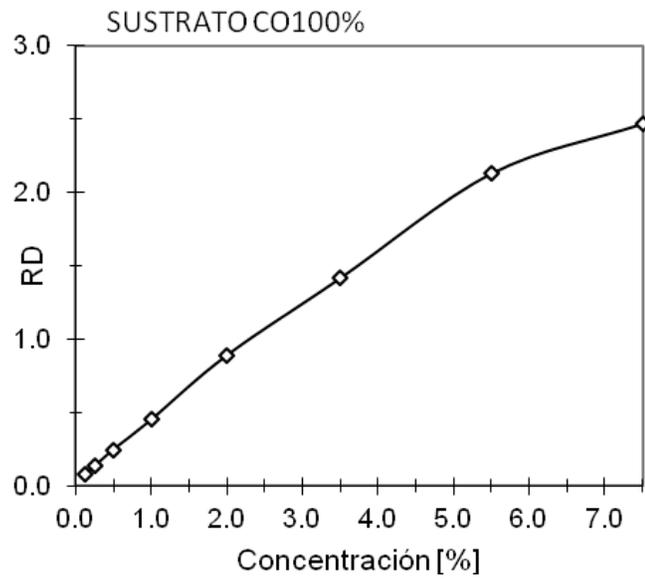
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Azul brillante RF2**



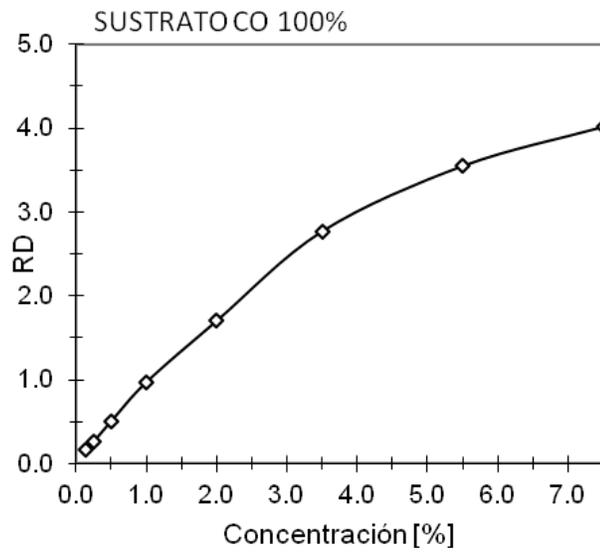
Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Azul RF7**



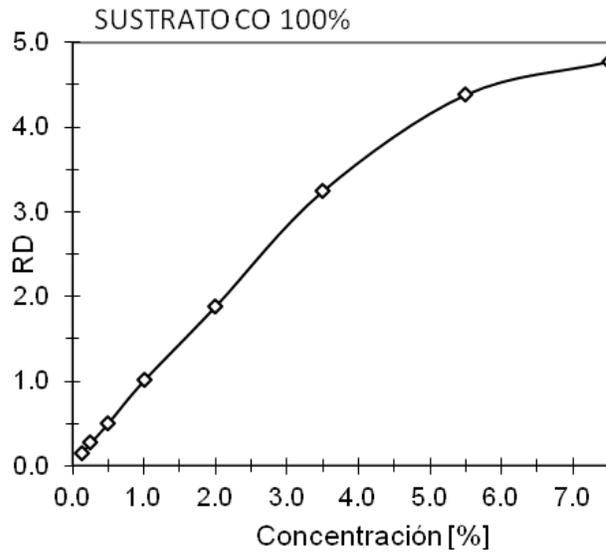
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Navy RF8**



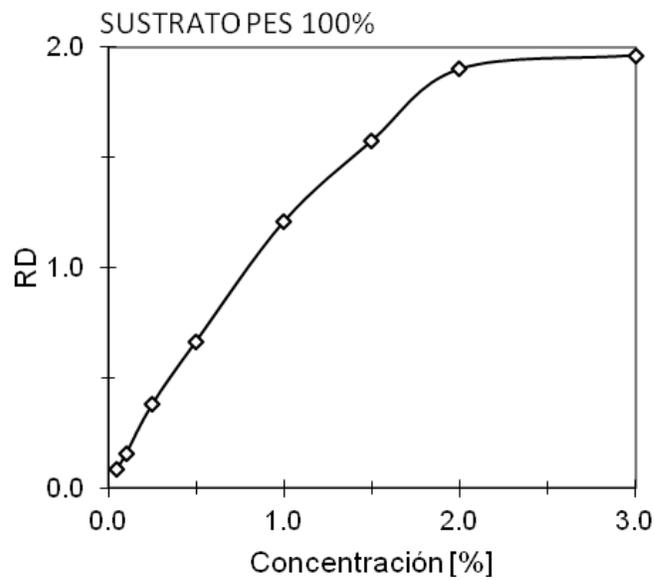
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Negro RF1**



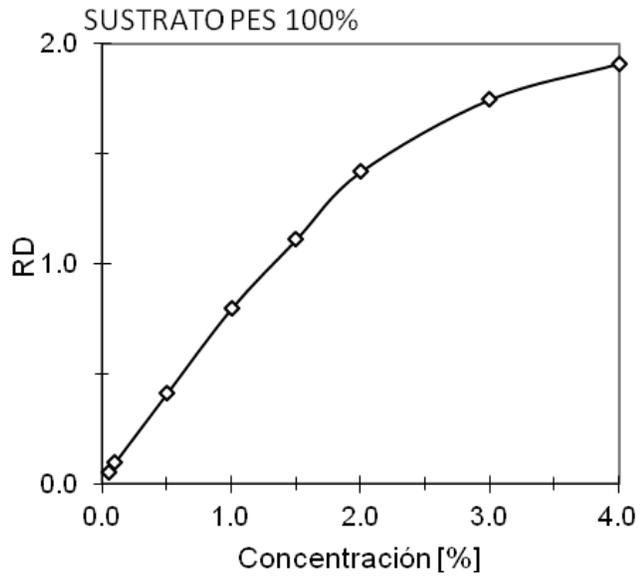
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Amarillo B1**



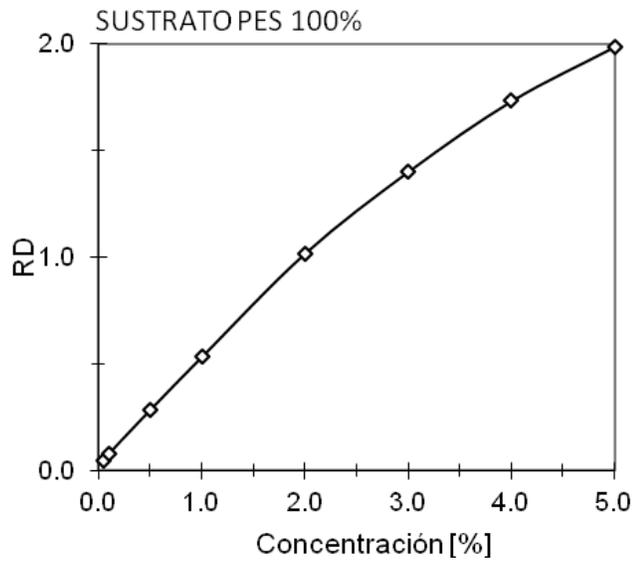
Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Amarillo oro B2**



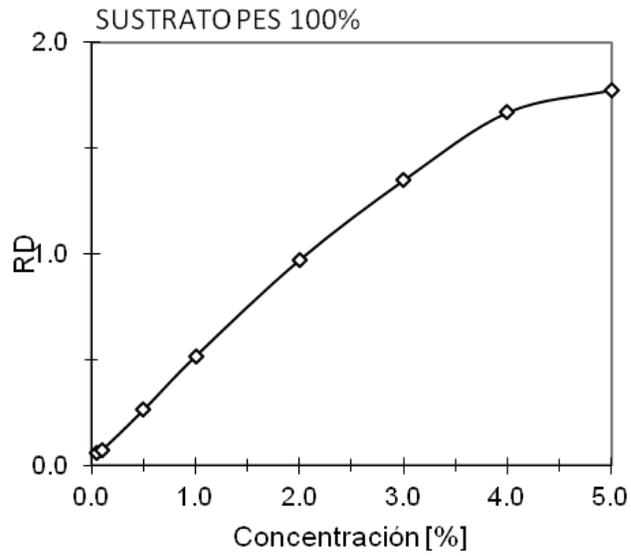
Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Rojo B1**



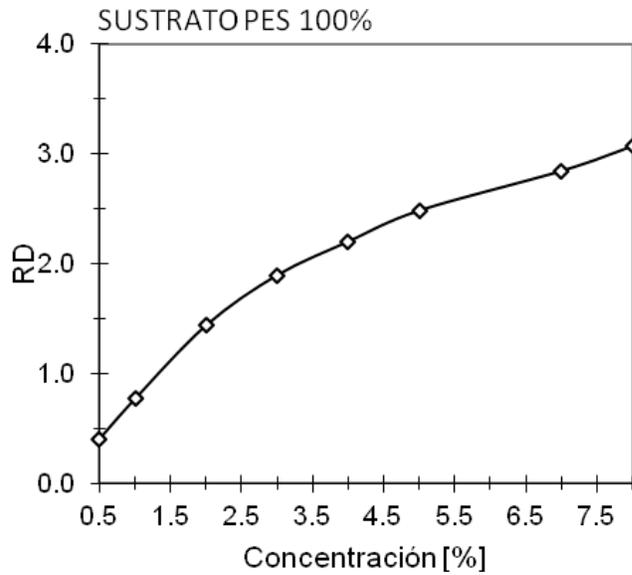
Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Rojo B2**



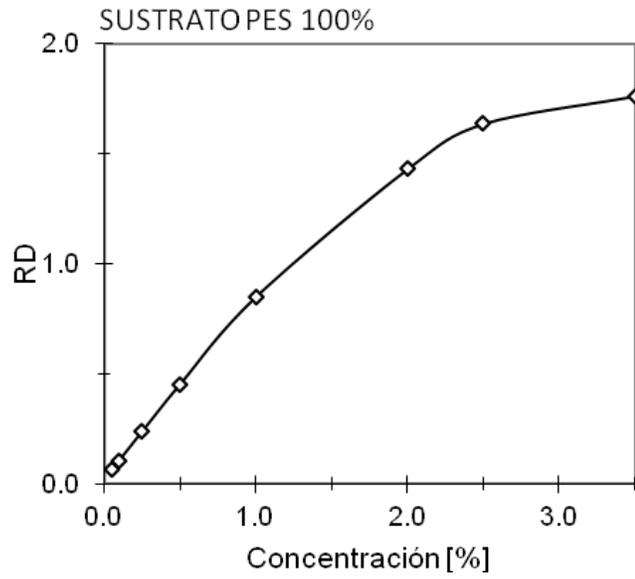
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Navy B1**



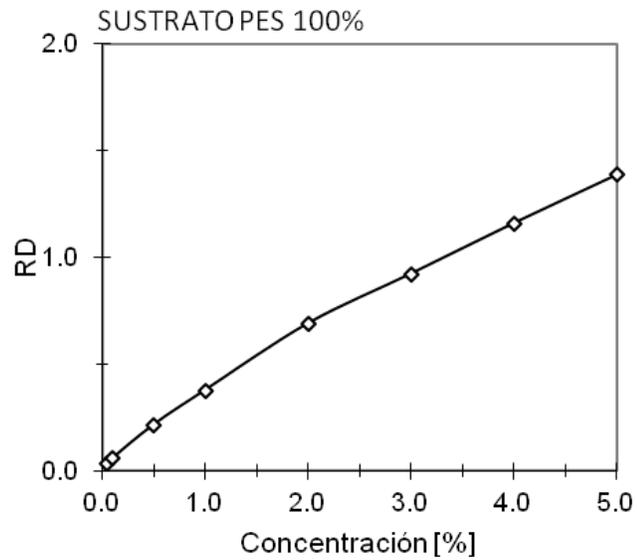
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Amarillo E1**



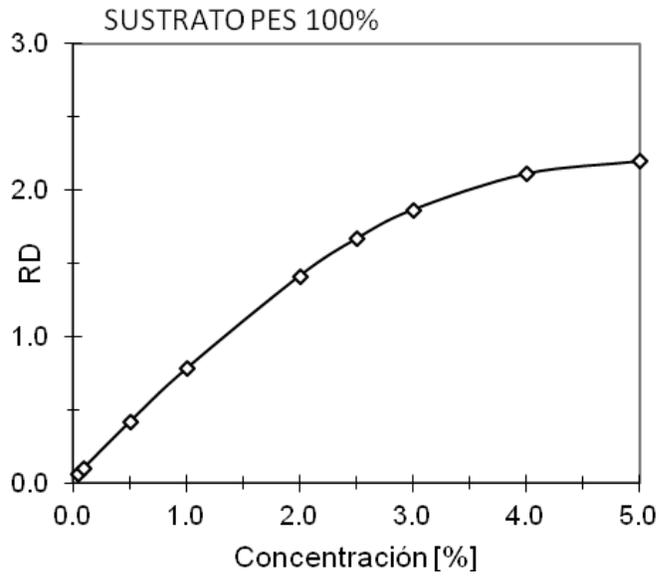
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Rojo E1**



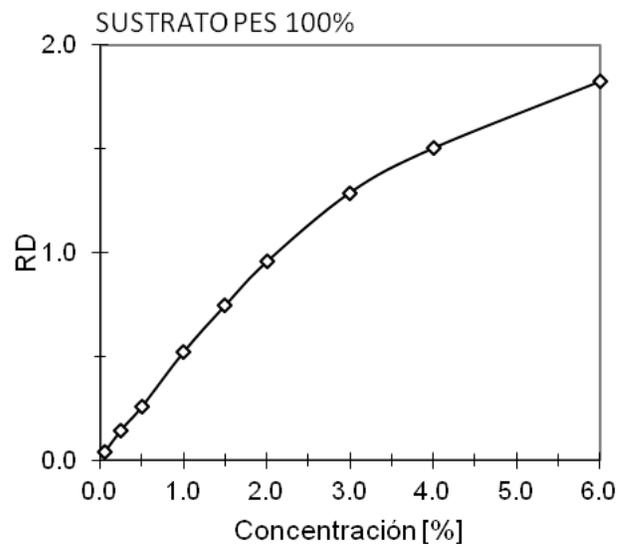
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Azul royal E1**



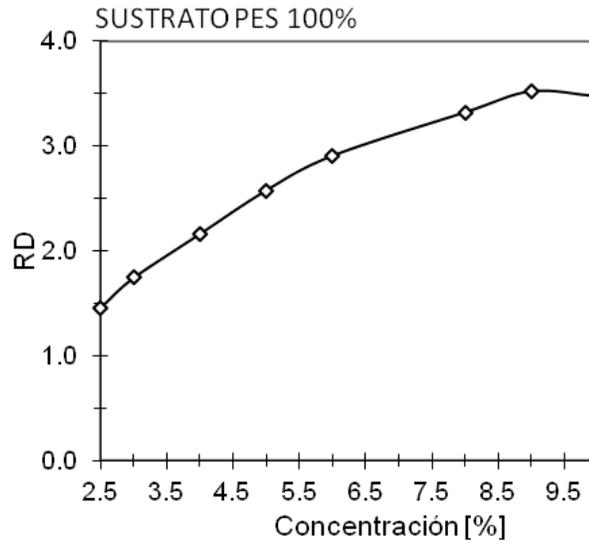
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Azul E2**



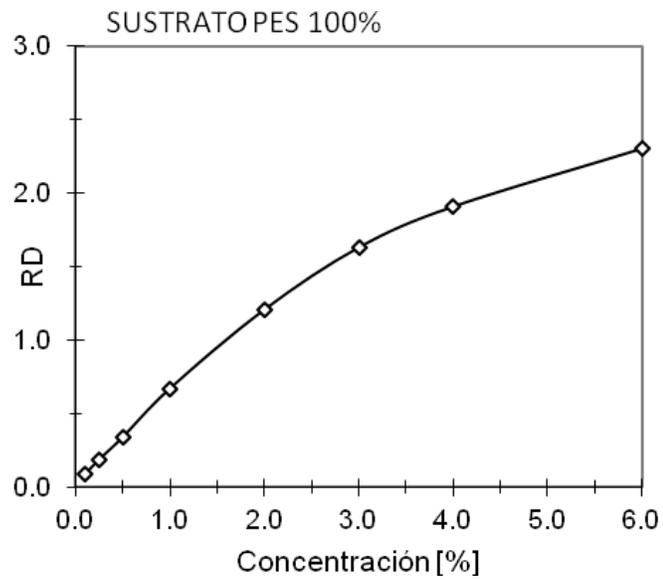
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Negro E1**



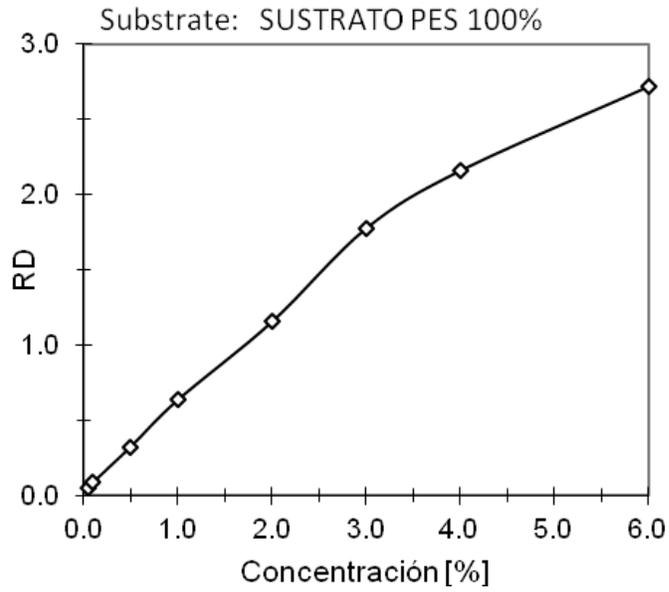
Fuente: elaboración propia.

Figura 66. **Rojo A1**



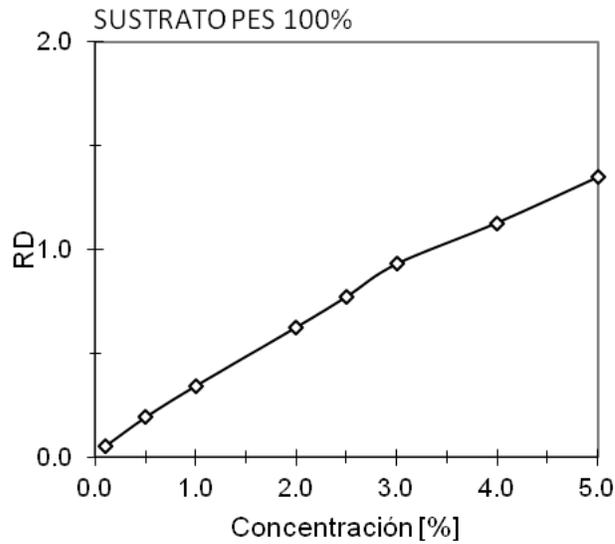
Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Rojo A2**



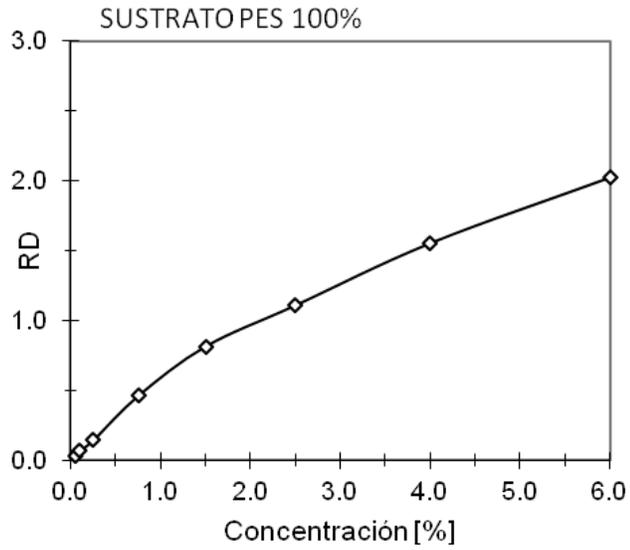
Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Rojo A3**



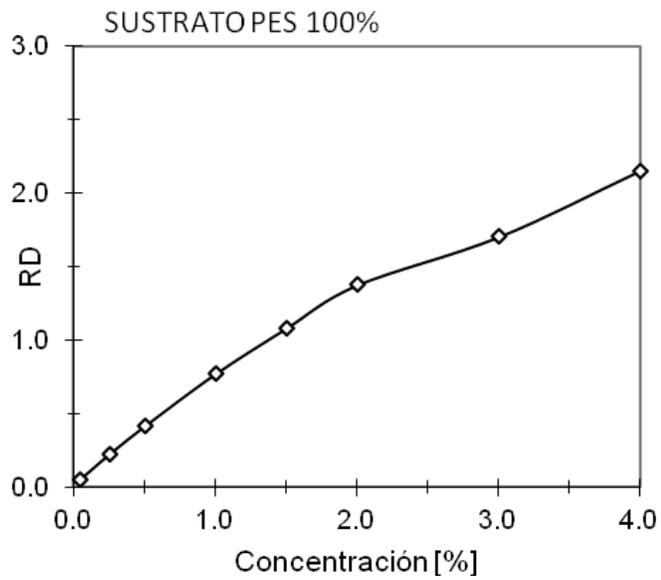
Fuente: elaboración propia.

Figura 69. **Rojo A4**



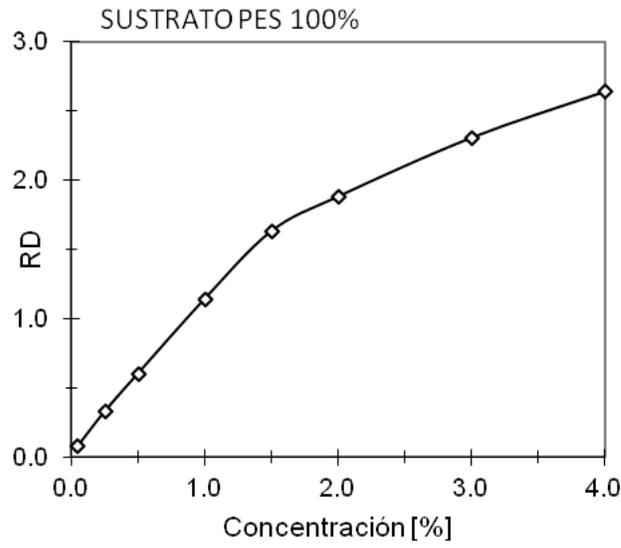
Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **Rojo A5**



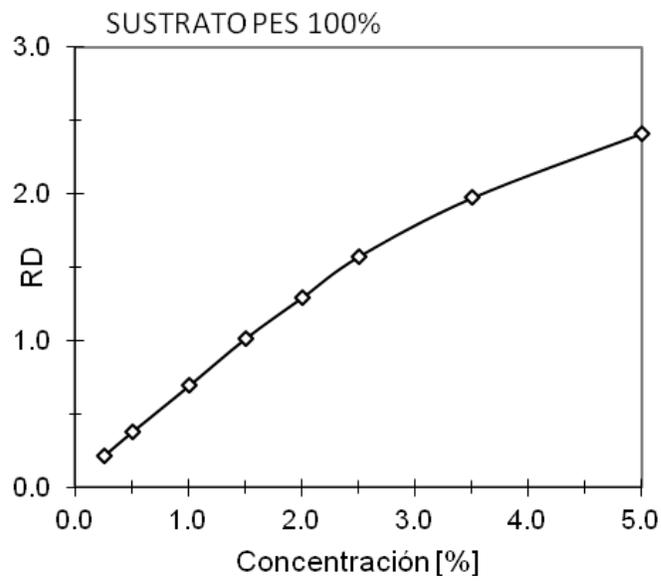
Fuente: elaboración propia.

Figura 71. **Azul A1**



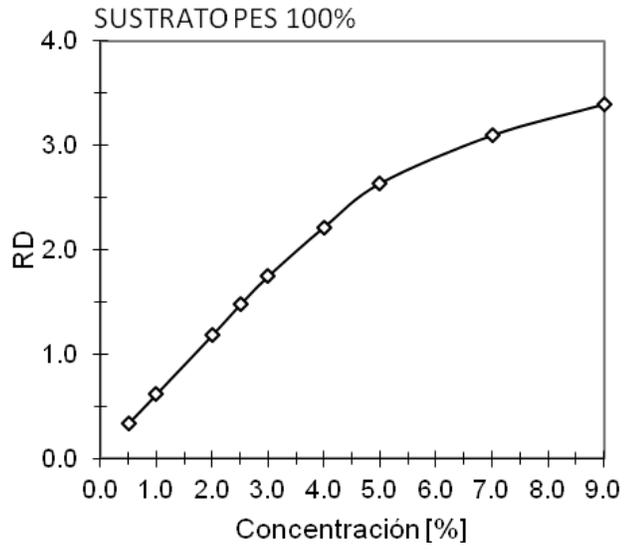
Fuente: elaboración propia.

Figura 72. **Navy A1**



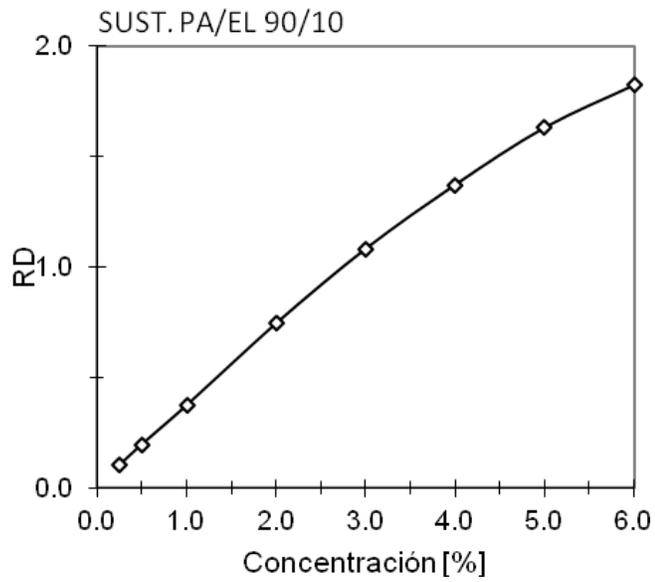
Fuente: elaboración propia.

Figura 73. **Negro A1**



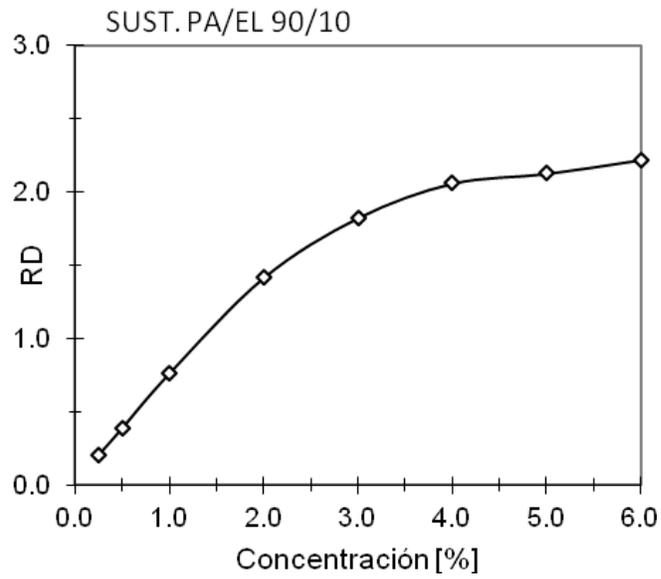
Fuente: elaboración propia.

Figura 74. **Amarillo AR1**



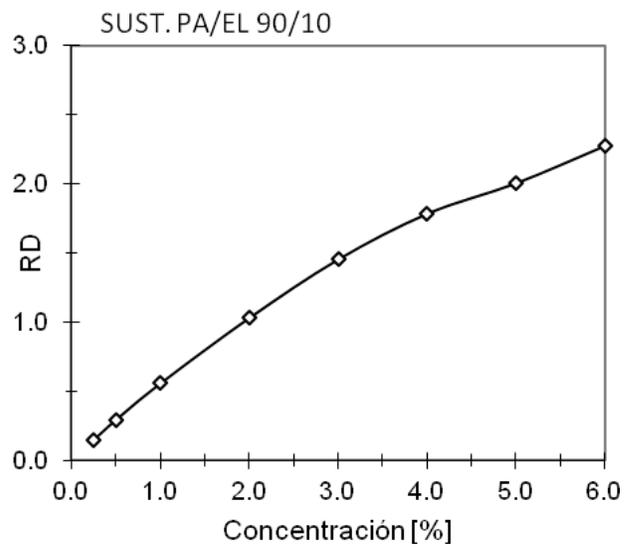
Fuente: elaboración propia.

Figura 75. **Amarillo AR2**



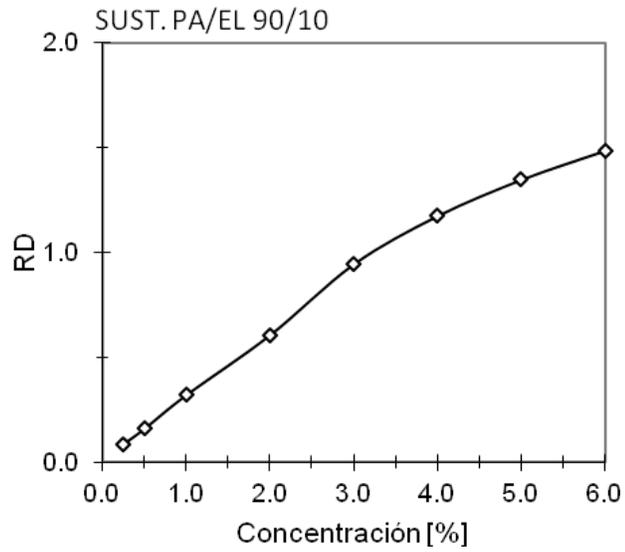
Fuente: elaboración propia.

Figura 76. **Naranja AR1**



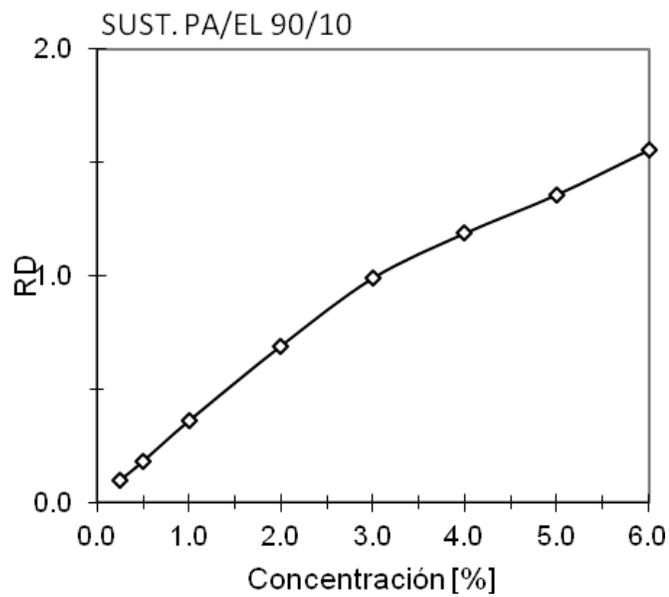
Fuente: elaboración propia.

Figura 77. **Rojo AR1**



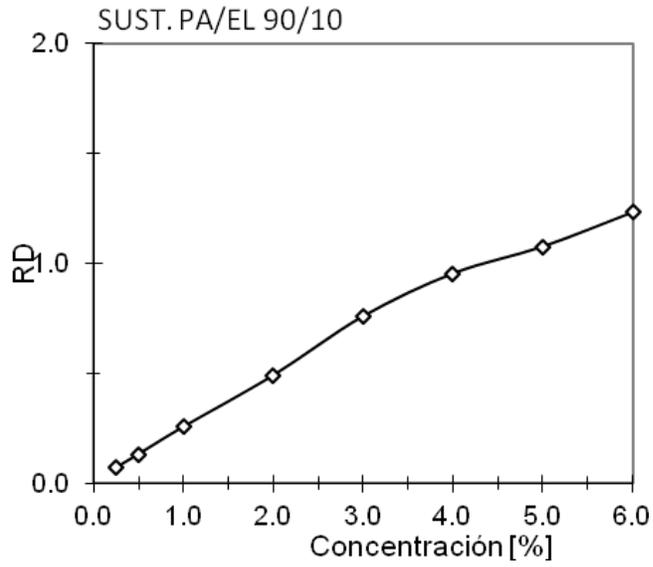
Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **Rojo AR2**



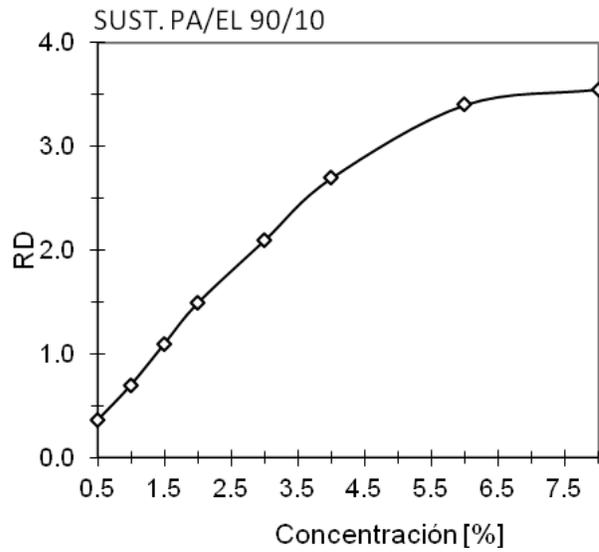
Fuente: elaboración propia.

Figura 79. **Azul AR1**



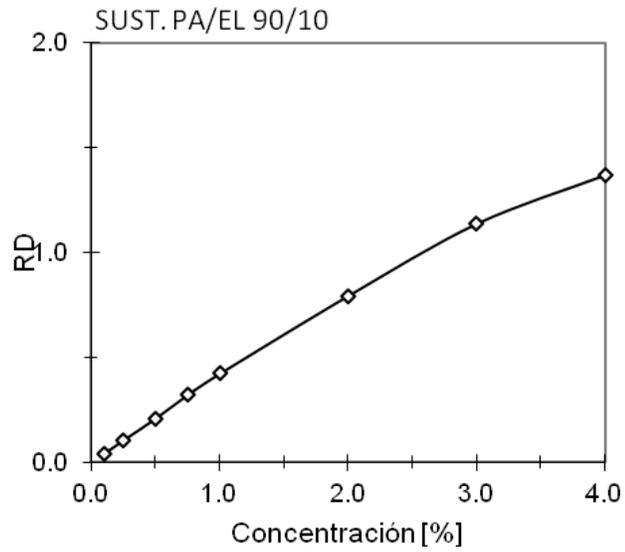
Fuente: elaboración propia.

Figura 80. **Negro AR1**



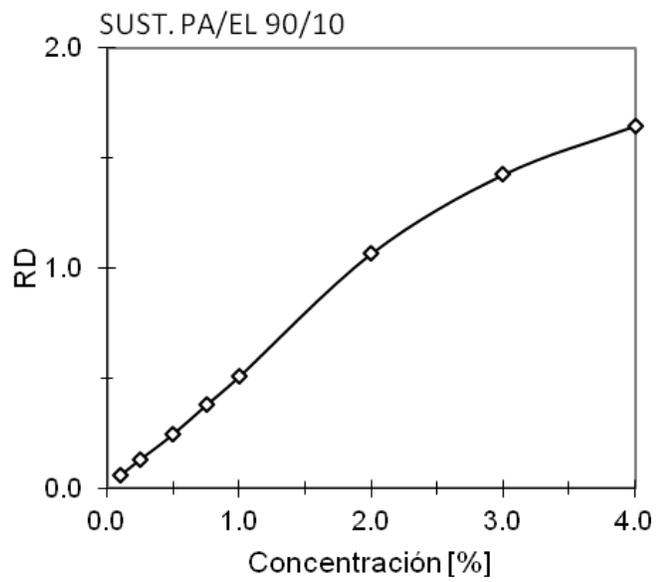
Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **Amarillo AC1**



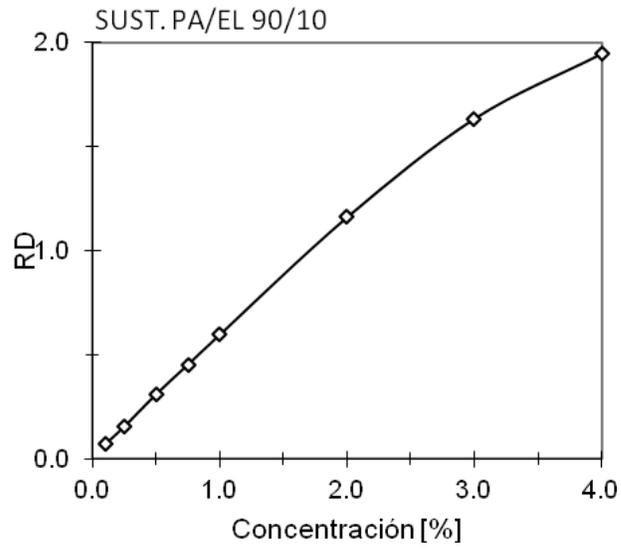
Fuente: elaboración propia.

Figura 82. **Amarillo AC2**



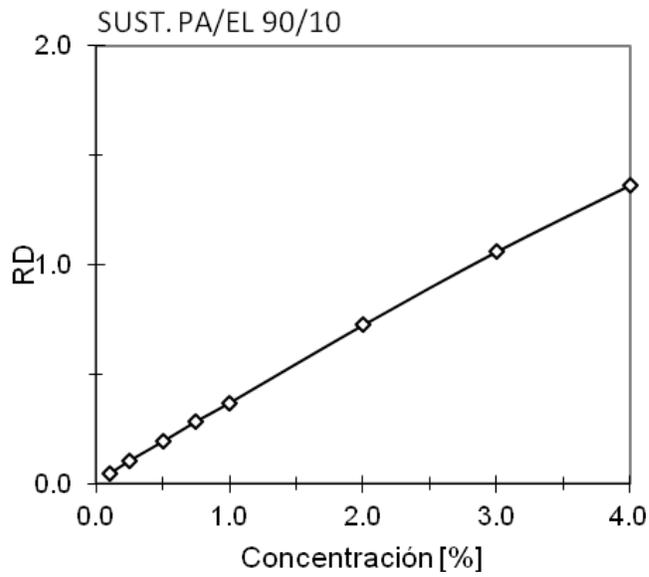
Fuente: elaboración propia.

Figura 83. **Rojo AC1**



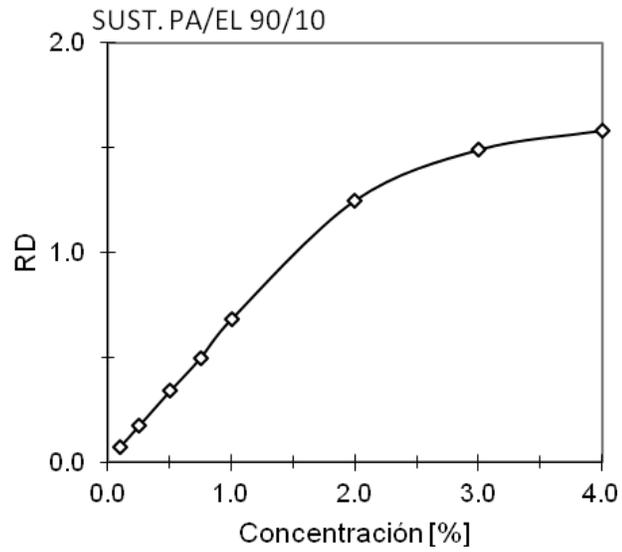
Fuente: elaboración propia.

Figura 84. **Rojo AC2**



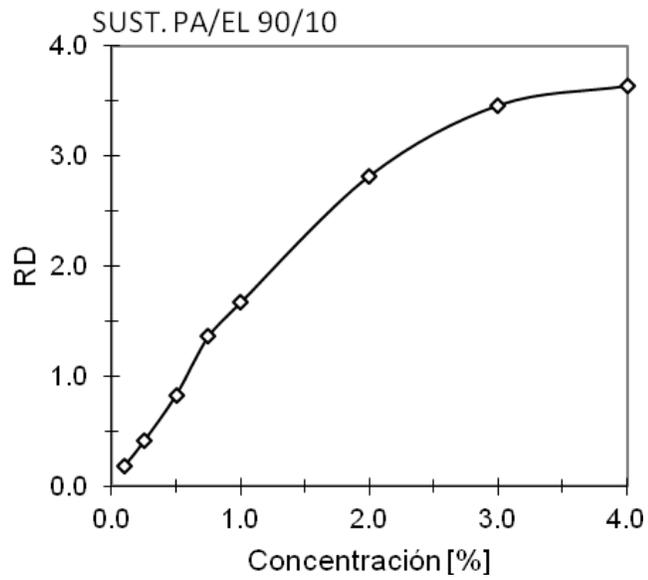
Fuente: elaboración propia.

Figura 85. **Rojo AC3**



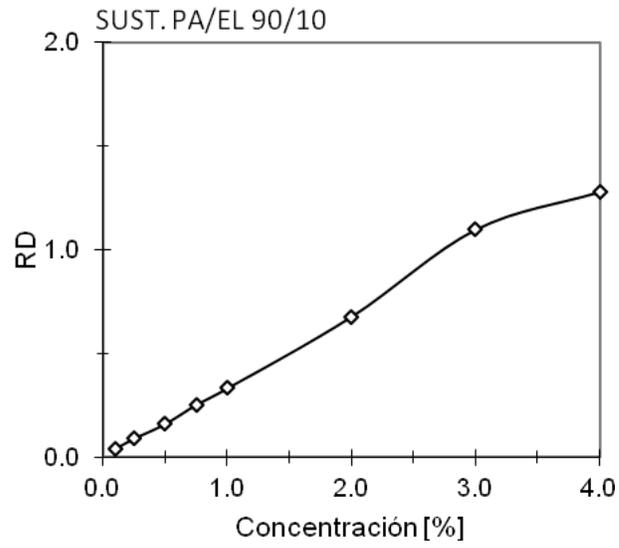
Fuente: elaboración propia.

Figura 86. **Violeta AC1**



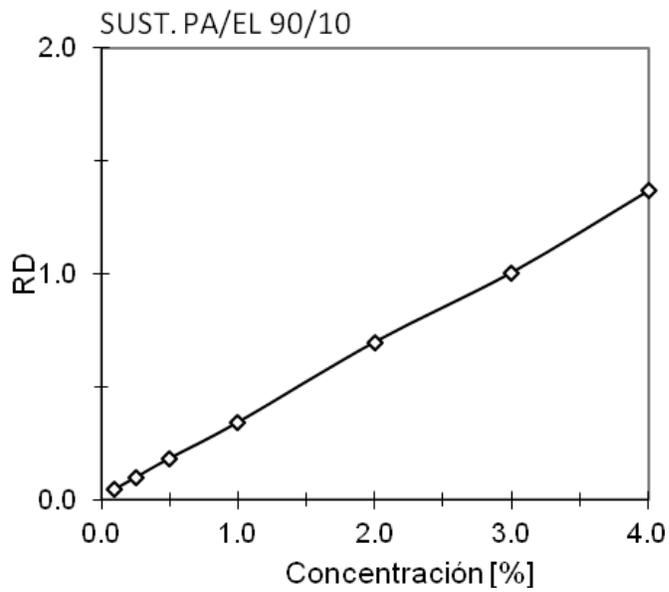
Fuente: elaboración propia.

Figura 87. **Azul AC1**



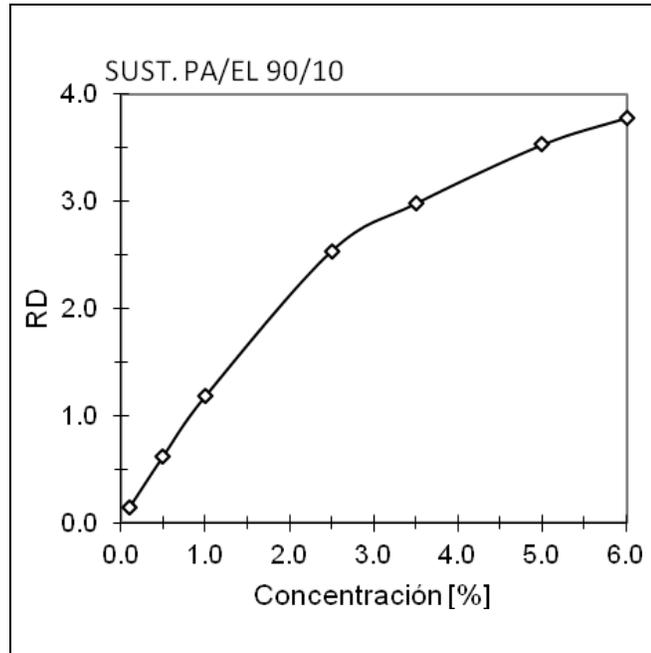
Fuente: elaboración propia.

Figura 88. **Azul AC2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 89. Navy AC1



Fuente: elaboración propia.

4.2. Parámetros colorimétricos de muestras

En esta sección se describe colorimétricamente cada una de las muestras resultantes definiendo el margen de exactitud y su aceptación a partir de la diferencia de color total de la escala CIE LAB.

Tabla VI. **Igualación en CO 100 % a partir de colorantes ECO**

Estándar No.1			
CO 100 %	Colorantes ECO		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	79	81	75
Luminosidad (dL)	3,48	2,90	3,15
Eje rojo-verde (da)	-1,41	-1,62	-0,69
Eje azul-amarillo (db)	-2,32	-2,45	-5,23
Croma (dC)	-2,16	-2,40	-2,38
Saturación (dH)	-1,64	-1,69	-4,71
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	2,24	2,11	3,91
Margen de exactitud (%)	21	19	25
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Igualación en CO 100 % a partir de colorantes RF**

Estándar No.2			
CO 100 %	Colorantes RF		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	65	65	59
Luminosidad (dL)	5,41	5,28	6,77
Eje rojo-verde (da)	0,18	0,51	0,06
Eje azul-amarillo (db)	2,86	4,06	4,42
Croma (dC)	-2,79	-4,04	-4,24
Saturación (dH)	-0,65	-0,67	-1,25
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	2,89	3,21	3,89
Margen de exactitud (%)	35	35	41
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Igualación en PES 100 % a partir de colorantes B

Estándar No.3			
PES100 %	Colorantes B		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	139	138	73
Luminosidad (dL)	-3,31	-3,24	4,57
Eje rojo-verde (da)	-2,16	-2,25	-4,35
Eje azul-amarillo (db)	1,49	1,48	-0,73
Croma (dC)	-2,62	-2,69	-2,91
Saturación (dH)	0,11	0,04	-3,32
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	3,14	3,13	5,21
Margen de exactitud (%)	39	38	27
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Igualación en PA/EL 90/10 a partir de colorantes AR

Estándar No.3			
PA/EL 90/10	Colorantes AR		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	97	101	49
Luminosidad (dL)	1,75	1,43	10,83
Eje rojo-verde (da)	0,84	0,42	-0,48
Eje azul-amarillo (db)	-1,36	-0,81	-2,63
Croma (dC)	1,46	0,80	1,20
Saturación (dH)	-0,66	-0,44	-2,39
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	1,81	1,70	8,14
Margen de exactitud (%)	3	1	51
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Rechazado

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Igualación en PA/EL 90/10 a partir de colorantes AC**

Estándar No.2			
PA/EL 90/10	Colorantes AC		
Iluminante: D65	Muestras obtenidas		
Variables	M-1	M-2	M-3
Intensidad lumínica relativa (%)	94	96	45
Luminosidad (dL)	1,81	1,37	11,30
Eje rojo-verde (da)	-2,02	-1,38	-0,78
Eje azul-amarillo (db)	-0,59	-0,74	2,83
Croma (dC)	1,18	1,11	-2,46
Saturación (dH)	-1,74	-1,10	-1,60
Diferencia de color total (ΔE_{CMC})	1,70	1,21	5,43
Margen de exactitud (%)	6	4	55
Aceptación	Aceptado	Aceptado	Rechazado

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El principal objetivo del proyecto realizado, constituye la obtención de 60 curvas colorimétricas patrón utilizadas como base para la predicción de recetas de tintura a partir de los softwares Helios 31 y Datacolor Match Textile. Todas las curvas obtenidas representan el comportamiento de una tintura por agotamiento. La intensidad lumínica de referencia (RD) alcanza un comportamiento asintótico a medida que la concentración del colorante aumenta. Esto se debe a que el equilibrio entre el colorante disuelto y adsorbido por la fibra es alcanzado, y por tanto, a medida que los grupos activos de la fibra son saturados, la cantidad de colorante adsorbido se hace cada vez menor. Los procesos de tintura por agotamiento se describen fisicoquímicamente mediante las isothermas de Langmuir, Freundlich y Nernst, dependiendo del tipo de colorante y fibra que interactúen.

Evaluar la desviación respecto al comportamiento ideal de los resultados obtenidos implica realizar un análisis exhaustivo, debido a la cantidad de muestras a evaluar. Por tanto, con el propósito de definir la confiabilidad y categorizar la calidad de los resultados obtenidos se realizó un análisis estadístico basado en un muestreo de aceptación a partir de la predicción de recetas de tintura, tomando como referencia un estándar de color y la nueva base de datos. Finalmente se definió que existe una probabilidad de 0,90 de que los colorantes evaluados en cada gama cumplan con las expectativas planteadas, es decir, menos del 3 por ciento no cumple con el comportamiento esperado. Este hecho no permite afirmar que, de acuerdo a lo planteado en la hipótesis, es posible obtener recetas de tintura con un margen de error menor al 40 por ciento respecto a la intensidad lumínica relativa.

Puede afirmarse que el uso de la nueva base de datos en el proceso de igualación de tonos, disminuye el margen de error un 24 por ciento en el caso del algodón y 94 por ciento en el caso de fibras sintéticas.

Los parámetros del sistema CIELAB permiten adquirir una idea con respecto a la variación entre una muestra y un estándar de color. Con el propósito de estandarizar las condiciones en la industria textil, se ha definido la unidad como el nivel superior aceptable. Observe que, para las recetas obtenidas a partir de la nueva base de datos, la diferencia de color total ΔE_{CMC} oscila entre 1,21 y 3,14, siendo el caso de la poliamida el de menor variabilidad respecto al tono.

Obsérvese que en el caso del poliéster, los resultados obtenidos a partir de la base de datos ya existente poseen un margen de exactitud mayor, respecto a la intensidad lumínica relativa, que el de los resultados obtenidos a partir de la nueva base de datos. Sin embargo, los valores de ΔE_{CMC} indican que respecto a la tonalidad del estándar, es más conveniente utilizar la nueva base de datos.

Puesto que la hipótesis planteada se cumplió en todos los casos analizados, las curvas obtenidas fueron incorporadas a la base de datos de calibración de ambos softwares, sustituyendo la base de datos existente, con el propósito de obtener recetas de tintura con un margen de error menor al actual.

6. LOGROS OBTENIDOS

Como parte de los objetivos planteados durante la realización del Ejercicio Profesional Supervisado, se realizó una descripción del comportamiento colorimétrico de sesenta colorantes mediante curvas de intensidad lumínica de referencia.

Durante el proceso se determinaron las condiciones que rigen el proceso de tintura por agotamiento en algodón, poliéster y poliamida, según el tipo de colorante usado y se crearon manuales de equipo y procedimiento.

Para el análisis de los resultados, se definieron los parámetros prioritarios en el análisis comparativo de una muestra y su respectivo estándar de color mediante la escala de color CIELAB.

Como resultado de las experimentaciones realizadas, se implementó una nueva base de datos de colorantes a los softwares Datacolor Match Textile y Helios 31.

CONCLUSIONES

1. Como resultado del proyecto se realizó una descripción colorimétrica de sesenta colorantes, representando el comportamiento de su intensidad lumínica de referencia.
2. Las curvas de intensidad lumínica de referencia obtenidas para cada colorante, cumplen con la tendencia asintótica esperada.
3. El uso de la nueva base de datos en el proceso de igualación de tonos disminuye el margen de error un 24 por ciento en el caso del algodón y 94 por ciento, en el caso de fibras sintéticas respecto a la intensidad lumínica.
4. Se afirma con una probabilidad de 0,90, que únicamente el 3 por ciento de los colorantes evaluados en cada gama no cumple con el comportamiento esperado, y por tanto, es posible obtener recetas de tintura con un margen de error menor al 40 por ciento.
5. La diferencia de color total ΔE_{CMC} oscila entre 1,21 y 3,14, siendo el caso de la poliamida el de menor variabilidad respecto al tono.
6. El uso de la nueva base de datos en el proceso de igualación de estándares de color permitirá obtener resultados con un margen de exactitud mayor en comparación a la base de datos existente.

RECOMENDACIONES

1. Definir los parámetros de calibración en espectrofotómetro tomando como referencia las condiciones establecidas en las Normas ASTM E 1345, ASTM D 1776 y SAE J1545 y medir todas las muestras bajo los mismos parámetros.
2. Para la obtención de curvas de calibración, debe utilizarse el mismo sustrato para la tintura de una misma gama de colorantes.
3. Controlar tiempo de secado en fibras sintéticas, específicamente en la poliamida, para evitar alteraciones en la superficie de la fibra debido a las altas temperaturas.
4. Realizar los métodos de pretratamiento respectivos al tipo de fibra a utilizar antes del proceso de tintura.
5. Evaluar la compatibilidad de los colorantes a utilizar en una receta de tintura a partir de su hoja técnica respectiva.
6. Utilizar la base de datos implementada para la predicción de recetas de tintura en el proceso de igualación de estándares de color.

BIBLIOGRAFÍA

1. AATCC. *AATCC evaluation procedures*. Método 173-2009, 6-2008. Comité RA36. EE.UU.: Volumen 85. 2010. 455 p.
2. ALVARADO GARCÍA, Juan Carlos. *Metodología de análisis y evaluación de las propiedades del color en fibras teñidas al 100% algodón como herramienta en la producción para la industria textil guatemalteca*. Director: Ing. José Rolando Chávez. Publicada en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2007.
3. BROADBENT, Arthur D. *Basic Principles of Textile Coloration*. Inglaterra: Society of Dyers and Colourists y Thanet Press Ltd, Kent, 2001. 568 p.
4. CLARK, M. *Handbook of textile and industrial dyeing- Volume 1: Principles, processes and types of dyes*. Hardcover: Newgen Publishing and Data Services. Woodhead Publishing Limited. 2011. 647 p. ISBN 978-1-84569-695-5.
5. ISO. *Sampling procedures for inspection by attributes 2a ed. ISO 2859-1:1999(E)* 1999.
6. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 6a ed. México: McGraw-Hill. 1992. 3,166 p.

7. *Técnicas de polimerización*. [en línea]. Chile. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr>. [Consulta: de de noviembre de 2013].

8. *Tutorial de espectroscopía*. [en línea]. Quiored. Universidad de Granada. Depto. Química Orgánica. Disponible en: <http://www.ugr.es/~quiorred/espec/espec.htm>. [Consulta: 2 de noviembre de 2013].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Datos calculados**

Receta ECO CO100 %

Estándar No.1			
CO 100 %	Colorantes ECO		
Iluminante: D65	CIELAB 1976/ DIN 6174		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Amarillo eco	0,305	0,298	0,230
Rojo claro eco	0,703	0,699	0,732
Azul claro eco	0,017	0,019	0,017
Total	1,025	1,016	0,979

Receta RF CO100 %

Estándar No.2			
CO 100 %	Colorantes RF		
Iluminante: D65	CIELAB 1976/ DIN 6174		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Amarillo RF2	0,008	0,009	0,009
Rojo Brillante RF1	0,032	0,034	0,029
Azul Brillante RF2	0,422	0,409	0,360
Total	0,462	0,452	0,398

Receta B PES100 %

Estándar No.3			
PES 100 %	Colorantes B		
Iluminante: D65	CIELAB 1976/ DIN 6174		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Amarillo B1	0,168	0,168	0,128
Rojo B1	1,721	1,700	0,506
Navy B1	0,827	0,825	0,448
Total	2,716	2,693	1,082

Receta AR PA/EL 90/10

Estándar No.3			
PA/EL 90/10	Colorantes AR		
Iluminante: D65	CIELAB 1976/ DIN 6174		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Amarillo AR2	0,778	0,770	0,350
Rojo AR1	2,515	2,510	1,100
Azul AR1	2,539	2,560	1,280
Total	5,832	5,840	2,730

Receta AC PA/EL 90/10

Estándar No.3			
PA/EL 90/10	Colorantes AC		
Iluminante: D65	CIELAB 1976/ DIN 6174		
Colorante (%)	R-1	R-2	R-3
Rojo AC1	0,036	0,0382	0,019
Azul AC2	0,434	0,424	0,186
Azul AC1	0,218	0,225	0,114
Total	0,688	0,687	0,319

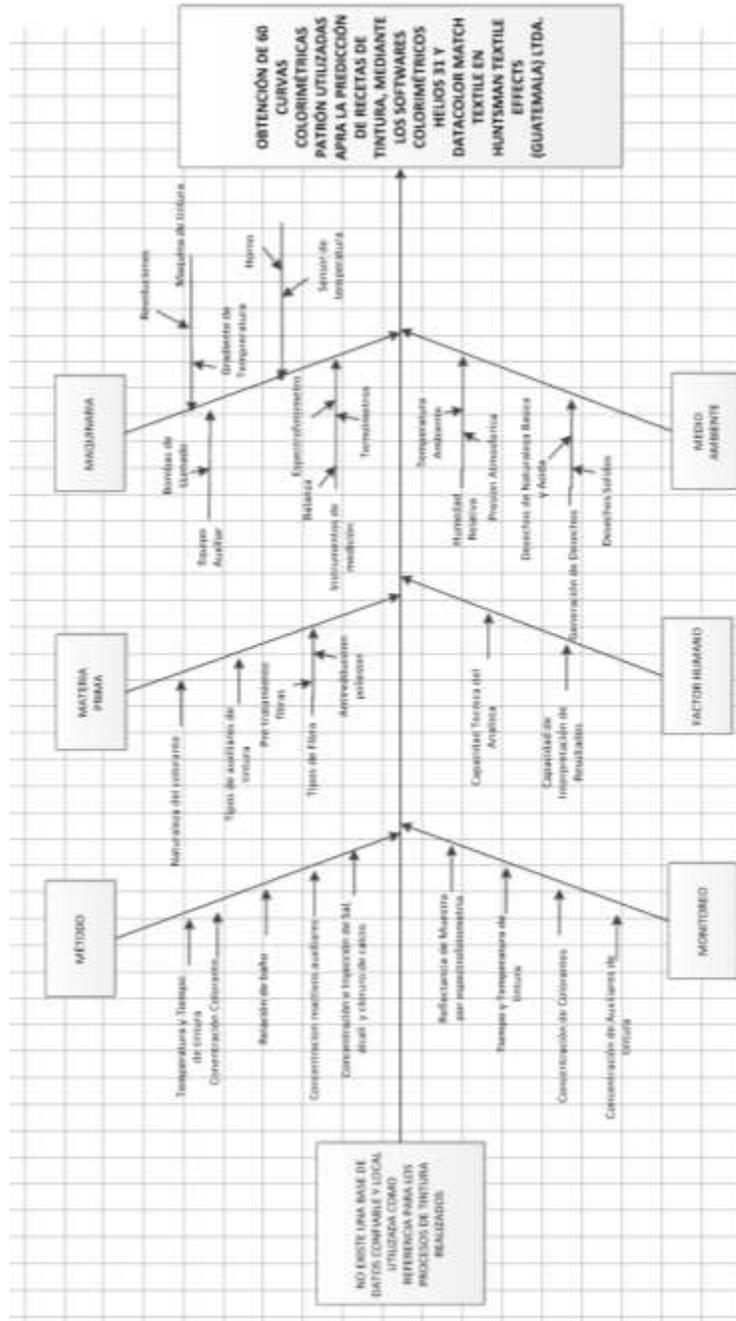
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tabla de requisitos académicos**

Área	Cursos	Temas
Química	<ul style="list-style-type: none"> • Química 3 • Análisis cuantitativo • Química Orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de cristalería y equipo de laboratorio • Preparación de soluciones a diferentes concentraciones. • Manejo de datos estadísticos en el laboratorio • Proceso de tintura
Fisicoquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Fisicoquímica 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Espectrofotometría • Isotermas de adsorción
Operaciones unitarias	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de Masa (IQ-4) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentos de transferencia de masa
Complementaria	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de desviación muestral

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Método AATCC 173-2009

AATCC Test Method 173-2009

CMC: Calculation of Small Color Differences for Acceptability

Developed by AATCC Committee RA36 in 1989; reaffirmed 1990; editorially revised and reaffirmed 1991, 2005; revised and reaffirmed 1992; revised 1998, 2009; editorially revised 2006. Partly related to ISO 105-J03.

1. Purpose and Scope

1.1 The CMC ($\ell:c$) formula is a modification of the corresponding CIELAB color-difference formula. It has color-difference symbol ΔE_{cmc} . Even though use of the CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (CIELAB) equation provides industry with a 'standard' means of calculating and communicating color differences of trials from their standards (see 8.1), it is recognized that CIELAB color-difference values (ΔE^*) correlate poorly with visual assessment. The lack of correlation is caused by the non-uniformity of CIELAB color space (see Fig. 1). Significantly improved correlation between visual assessments and instrumentally measured color differences is given by the CMC ($\ell:c$) color-difference formula (see 7.1 to 7.3). The improvement in correlation between visual and instrumental color-difference reports yielded by the CMC ($\ell:c$) equation will usually permit the adoption of a single-number tolerance for judging the ac-

ceptibility of a color match in most situations, regardless of both the color of the standard and the direction of the color difference of any trial from it. Another equation, CIE94 has been considered, but it has not shown any significant improvement over CMC (see 8.2).

1.2 The CMC ($\ell:c$) formula retains, in modified form, the partitioning of overall color difference into differences in lightness, chroma, and hue components (see Fig. 2) which is present in the CIELAB color-difference formula. Using the ellipsoidal semi-axes (ℓS_L , cS_C , and S_H) makes the CMC ($\ell:c$) equation suitable for a wide range of uses.

2. Principle

2.1 The CMC ($\ell:c$) modification to CIELAB provides a unit of measurement for the acceptance volume about a standard color. This volume takes the shape of an ellipsoid whose semi-axes are ℓS_L , cS_C , and S_H in the directions of lightness, chroma, and hue differences, respectively, in CIELAB color space. The CMC ($\ell:c$) formula varies the ratio of the lengths of these three semi-axes systematically throughout CIELAB color space according to equality of lengths with visually equal color differences, regardless of both the color of the standard and direc-

tion of difference of any trial from it. Around any given standard color, the ratio $S_L:S_C:S_H$ is fixed regardless of the end use of the trials.

3. Terminology

3.1 CIE 1976 $L^*a^*b^*$ equation, n —a commonly used equation which transforms CIE tristimulus values into a three-dimensional opposed color space. Generally abbreviated as CIELAB (see 8.1).

3.2 CMC unit, n —in color difference evaluation, a measure of acceptability expressed in terms of the boundary for the CMC acceptability ellipsoid of $\Delta E_{cmc} = 1.0$.

3.2.1 CMC is an acronym for the Colour Measurement Committee of The Society of Dyers and Colourists which was largely responsible for the development of the CMC ($\ell:c$) equation.

3.3 commercial factor (cf), n —in color difference evaluation, a tolerance (specified in terms of ΔE_{cmc} units) which adjusts all axes of the unit CMC volume equally to create a volume of acceptance for commercial use.

3.4 ΔE_{cmc} , n —in color difference evaluation, a single number defining the total color difference in CMC units of a trial from a standard.

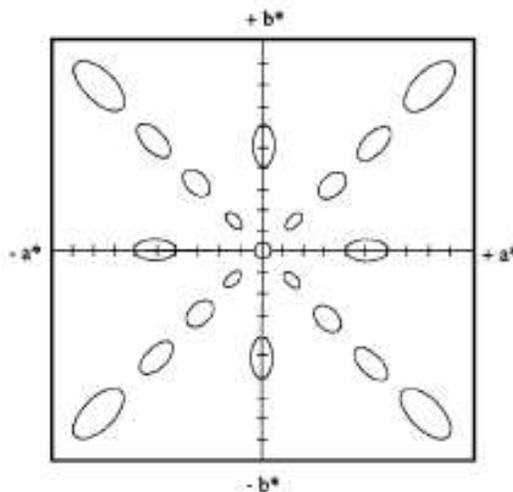


Fig. 1—CMC(1:1) Unit ellipsoid cross sections in CIELAB a^*b^* diagram.

If CIELAB were uniform, these sections would be equal-sized circles.

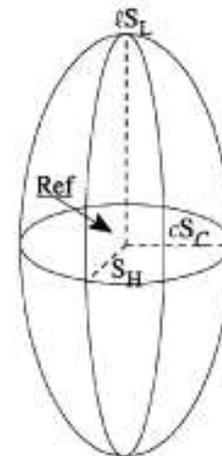


Fig. 2—Unit volume of acceptance.

Distance from standard to surface is one CMC($\ell:c$) unit.

Continuación del anexo 1.

3.5 semi-axis (ℓS_L , cS_C , and S_B), n —*in color difference evaluation*, individual dimensions of the CMC volume which are used to calculate a ΔE_{cmc} value.

3.6 volume of acceptability, n —*in color difference evaluation*, the volume of the ellipsoid obtained when each semi-axis (ℓS_L , cS_C , and S_B) is multiplied by cf —creating an agreed upon volume describing the limits of commercial acceptability for the color difference about a standard.

4. Procedure of Calculation

4.1 Calculation of CIELAB values.

4.1.1 Calculate the CIELAB L^* , a^* , b^* , and h_a values from the CIE tristimulus values X , Y , Z of each specimen using equations 1, 2, 3 and 4:

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (1)$$

if $Y/Y_n > 0.008856$
but

$$L^* = 903.3 (Y/Y_n) \quad (2)$$

if $Y/Y_n \leq 0.008856$
 $a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$
 $b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$

where $f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3}$

if $X/X_n > 0.008856$
but $f(X/X_n) = 7.787(X/X_n) + 16/116$

if $X/X_n \leq 0.008856$
 $f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3}$

if $Y/Y_n > 0.008856$
but $f(Y/Y_n) = 7.787(Y/Y_n) + 16/116$

if $Y/Y_n \leq 0.008856$
 $f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3}$

if $Z/Z_n > 0.008856$
but $f(Z/Z_n) = 7.787(Z/Z_n) + 16/116$

if $Z/Z_n \leq 0.008856$
 $C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3)$

$$h_a = \arctan b^*/a^* \quad (4)$$

expressed on a 0-360° scale with the a^* + axis being 0° and the b^* axis at 90°.

4.1.2 For these equations, X_n , Y_n , and Z_n are the CIE tristimulus values for the chosen illuminant and observer. The preferred combination is CIE standard illuminant D_{65} and the CIE 1964 supplementary standard (10°) observer. Values for this combination and for some others are given in Table I. Values for combinations not in Table I should be obtained by referring to ASTM E 308 (see §.3) or,

Table I—Tristimulus Values for Four Illuminant-Observer Combinations

Illuminant-Observer Combinations	Tristimulus Value		
	X_n	Y_n	Z_n
$D_{65}/10^\circ$	94.811	100.000	107.304
$D_{65}/2^\circ$	95.047	100.000	108.883
D^*10°	97.285	100.000	116.145
D^*2°	98.074	100.000	118.232

only if the required combination is not therein, CIE 15.2 (see §.1).

4.2 Calculation of CIELAB color difference values.

4.2.1 Calculate the CIELAB ΔL^* , ΔC^*_{ab} , and ΔH^*_{ab} color difference values as follows, where subscripts S and R refer to the specimen and reference CIELAB values:

$$\Delta L^* = L^*_S - L^*_R$$

$$\Delta a^* = a^*_S - a^*_R$$

$$\Delta b^* = b^*_S - b^*_R$$

$$\Delta C^*_{ab} = C^*_{ab,S} - C^*_{ab,R}$$

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta H^*_{ab} = pq[\Delta E^*_{ab}]^p - (\Delta L^*)^q - (\Delta C^*_{ab})^q$$

where $p = 1$ if $m \geq 0$ or $p = -1$ if $m < 0$ and $q = 1$ if $|m| \leq 180$ or $q = -1$ if $|m| > 180$ where $m = h_{a,S} - h_{a,R}$ in which [...] indicates that the positive value is to be used regardless of the sign of the expression between the two lines.

4.2.2 An equivalent method of calculating ΔH^*_{ab} is to use Eq. 5:

$$\Delta H^*_{ab} = t \left[\frac{2(C^*_{ab,S} C^*_{ab,R} - a^*_S a^*_R - b^*_S b^*_R)}{b^*_S b^*_R} \right]^{1/2} \quad (5)$$

where $t = 1$ if $a^*_S b^*_R \leq a^*_R b^*_S$ or $t = -1$ if $a^*_S b^*_R > a^*_R b^*_S$

4.3 Calculation of ΔE_{cmc}

4.3.1 Calculate the color difference in CMC ($\ell:c$) units using Eq. 6:

$$\Delta E_{cmc} = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{cS_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*_{ab}}{S_B} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

where for the standard:

$$\text{for } L^*_S > 16 \quad S_L = \frac{0.040975L^*_S}{1 + 0.01765L^*_S}$$

$$\text{for } L^*_S \leq 16 \quad S_L = 0.511$$

$$S_C = \frac{0.0638C^*_{ab}}{1 + 0.0131C^*_{ab}} + 0.638$$

$$S_B = (FY + 1 - F)S_C$$

$$\text{where } F = \left[\frac{(C^*_{ab})^4}{(C^*_{ab})^4 + 1900} \right]^{1/2}$$

and

$$F = 0.36 + ah_s [0.4 \cos(35 + h_{a,S})]$$

unless $h_{a,S}$ is between 164° and 345° then

$$F = 0.56 + ah_s [0.2 \cos(168 + h_{a,S})]$$

For the last two equations, 'ahs' indicates the absolute—i.e., positive value—of the term inside the square brackets.

Note: If required, the components of CMC ($\ell:c$) color difference (ΔL^*_{cmc} , $\Delta C^*_{ab,cmc}$, and $\Delta H^*_{ab,cmc}$) may be calculated using the terms in the round brackets in the first line of the above equation, namely:

$$\Delta L^*_{cmc} = \frac{\Delta L^*}{S_L}$$

$$\Delta C^*_{ab,cmc} = \frac{\Delta C^*_{ab}}{cS_C}$$

$$\Delta H^*_{ab,cmc} = \frac{\Delta H^*_{ab}}{S_B}$$

4.3.1.1 When $\ell = 2.0$ this equation fixes the ratio of the three terms ($S_L:S_C:S_B$) to correlate with visual assessment of typical textile samples. Other values of ℓ may be required in cases where the surface characteristics are significantly different. For example, other values may be required when measuring very dark trials, but the user should assume an ℓ value of 2.0 until actual results indicate a need for adjustment. In practice, "c" is always set to unity and it may be omitted from the equation.

4.3.2 Concept of unit volume/tolerance. The equation for $\Delta E_{cmc} \leq 1.0$ describes an ellipsoidal volume, with axes in the direction of lightness, chroma and hue centered about a standard. Ellipsoidal semi-axis lengths of ℓS_L , cS_C , and S_B calculated for a given standard describe a unit volume of acceptance within which all samples are less than 1.0 ΔE_{cmc} unit from the standard.

NOTE: Size and orientation of the diagram shown in Fig. 2 varies considerably depending on location of standard in color space and is used here as a means of conceptualizing the semi-axis.

4.3.2.1 This volume—and the size and ratio of its semi-axes—become the basis for the establishment of an appropriately sized volume of acceptability for a given commercial situation by the application of a commercial factor (cf) to all dimensions.

4.3.2.2 The Volume of Acceptance is defined by $\Delta E_{cmc} \leq cf$.

4.4 Reporting of results. The use of illuminant D_{65} and 10° observer calculations and ($\ell:c$) ratio of 2:1 are recommended as the standard for calculating ΔE_{cmc} values. If other illuminants, observers or CMC ($\ell:c$) ratios are used they must be specified as part of the value

Continuación del anexo 1.

(i.e., $\Delta E_{cmc(1.37:1)} = 1.56$ would denote using a 1.37:1 $L^*a^*b^*$ ratio, with CIELAB values calculated for illuminant C/2° observer).

5. Interpretation of Results

5.1 ΔE_{cmc} is a single number which represents the number of CMC color difference units of a trial from a standard. Any trial which is compared to its standard will fall into one of three categories:

5.1.1 If ΔE_{cmc} is less than the agreed commercial factor, the trial is acceptable.

5.1.2 If ΔE_{cmc} is close to the agreed commercial factor, the trial is borderline.

5.1.3 If ΔE_{cmc} is greater than the agreed commercial factor, the trial is unacceptable.

5.2 The semi-axes L_S , a_S , and b_S provide a means of describing the "acceptability" of each dimension of color difference (lightness, chroma, hue) in terms of CMC units in each dimension.

5.2.1 In applications which require rating within or about a critical tolerance, multiple levels consisting of ellipsoidal volumes representing various levels of

color difference may be generated. This will result in a set of concentric volumes/tolerances which provide a uniform grading system when correlated to and are associated with a predefined set of terms.

6. Precision and Bias

6.1 Precision and Bias statements are not applicable because data are not generated by this test method.

7. References

7.1 BS6923:1988, British Standard Method for Calculation of Small Colour Difference. Available from British Standards Institution, 2 Park Street, London W1A 2BS, England; web site: www.bsigroup.com.

7.2 Clarke, F. J. J., R. McDonald and B. Rigg, Modification to the JPC79 Colour-Difference Formula. *Journal of The Society of Dyers and Colourists*, Vol. 100, 1984, p128-132 and p281-282.

7.3 McDonald, R., Acceptability and Perceptibility Decisions Using the CMC Colour Difference Formula. *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 20, No. 6,

1988, p31-37, and Errata, Vol. 20, No. 8, 1988, p10.

8. Notes

8.1 CIE Publication No 15.2, Colorimetry; Second Edition, 1986. Available from U.S. National Committee, CIE c/o Mr. Robert A. McCully, Philips Lighting Co., P.O. Box 6800, Somerset NJ 08875-6800.

8.2 McDonald, Roderick and Kenneth J. Smith, "CIE94—A New Colour Difference Formula." *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, Vol. 111, No. 12, Dec. 1995, p376.

8.3 ASTM E 308, Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System, available from ASTM, 100 Barr Harbor, West Conshohocken PA 19428, web site: www.astm.org.

8.4 Simon, F.T., *die Farbe*, Vol. 10, 1961, p225.

8.5 Harold, R. W., *Textile Chemist and Colorist*, Vol. 19, No. 12, 1987, p23.

8.6 The value of 1.0 for the constant c in the formula is mandatory in AATCC Method 173. It is also recommended in the corresponding ISO test method 105-303 but is given in a note and thereby not mandatory. AATCC has petitioned ISO to make it also mandatory. If and when this happens the two methods can again be considered technically equivalent.

Anexo 2. Código de letras según tamaño de muestra

Lot size	Special inspection levels				General inspection levels		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 to 8	A	A	A	A	A	A	B
9 to 15	A	A	A	A	A	B	C
16 to 25	A	A	B	B	B	C	D
26 to 50	A	B	B	C	C	D	E
51 to 90	B	B	C	C	C	E	F
91 to 150	B	B	C	D	D	F	G
151 to 280	B	C	D	E	E	G	H
281 to 500	B	C	D	E	F	H	J
501 to 1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201 to 3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201 to 10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001 to 35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001 to 150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001 to 500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

Fuente: ISO 2859-1:2009, *Sampling procedures for inspection by attributes*, p.19

Anexo 3. Plan de muestreo simple por inspección normal

Sample size code letter	Acceptance quality limit, AQL, in percent nonconforming items and nonconformities per 100 items (normal inspection)																					
	0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000	
	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
A	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
B	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
C	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
D	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
E	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
F	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
G	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
H	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
J	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
K	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
L	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
M	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
N	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
P	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
Q	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
R	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

↔ = Use the first sampling plan below the arrow. If sample size equals, or exceeds, lot size, carry out 100 % inspection.

↔ = Use the first sampling plan above the arrow.

Ac = Acceptance number

Re = Rejection number

Fuente: ISO 2859-1:2009, Sampling procedures for inspection by attributes, p.20

