

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TESIS

Reúso de baños de teñido disperso, optimizando el consumo de agua e insumos, sin mermar la calidad del textil teñido

Para obtener el título profesional de Ingeniera Textil

Elaborado por

Jessica Judit Alvarez Alayo

 [0000-0002-8935-6585](https://orcid.org/0000-0002-8935-6585)

Asesora

Mag. Ing. Carmen Luisa Uribe Valenzuela

 [0000-0001-5772-6038](https://orcid.org/0000-0001-5772-6038)

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Alvarez Alayo [1]
Referencia/Reference	[1] J. Alvarez Alayo “Reúso de baños de teñido disperso, optimizando el consumo de agua e insumos, sin mermar la calidad del textil teñido” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style:	
IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Alvarez, 2023)
Referencia/Reference	Alvarez, J. (2023). “Reúso de baños de teñido disperso, optimizando el consumo de agua e insumos, sin mermar la calidad del textil teñido” [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style:	
APA (7ma. Ed.)	

Dedicatoria

*A mis amados padres **SILVIA ALAYO SEGURA, FERNANDO ALVAREZ MIRANDA** y hermanos, quienes constantemente, me apoyaron, confiaron e impulsaron en cada paso que daba para lograr mis metas.*

Agradecimientos

A Dios, por sentir siempre su presencia y grandeza en todo mi camino recorrido para poder lograr cada meta trazada.

A mi esposo Melchor Lopez Roldan e hijo Mateo Lopez Alvarez, por su apoyo constante, por ser mi razón, motivación e impulso cada día de mi vida.

A mi Asesora, maestra, mentora y amiga Carme Uribe Valenzuela, por todas sus enseñanzas, por sus consejos a nivel profesional y personal, por mostrarme siempre el camino y nunca rendirse conmigo.

A la Facultad de Ciencias (FC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Laboratorio de Materiales Funcionales, Energías Renovables y Eficiencia Energética (MaFERE) por permitirme usar sus equipos y máquinas para realizar el proceso de teñido disperso.

Resumen

Baños residuales provenientes de la tintura de tejidos de poliéster con colorantes dispersos, fueron reutilizados de manera directa en nuevas tinturas con el método de agotamiento a una relación de baño de 1/10. Para el teñido inicial se seleccionaron tres gamas de colores claro, medio y oscuro, las cuales fueron denominadas baño madre. Se recuperó el 60% y se almacenó cada uno de ellos. Posteriormente se realizó la reconstrucción del baño para alcanzar el 100% utilizando 40% de agua limpia y 50% de auxiliares de teñido y se procedió a la tintura del primer reuso, esto se repitió y se continuó con los siguientes reusos sucesivos. Para evaluar la calidad de las muestras teñidas se midió la diferencia de color $DE_{CMC(2:1)}$ con valores de 0,67, 0,43 y 0,32 para el color claro, medio y oscuro respectivamente, siendo estos resultados aceptables en la industria textil. Asimismo, los resultados de solidez a la sublimación con el método AATCC TM117 a la temperatura de 150°C, dieron valores de 4 a 4-5 en cambio de color y de 4-5 a 5 en transferencia de color, a 180 °C valores de 3-4 a 4 en cambio de color y de 3-4 a 4-5 en transferencia de color. Para la solidez al lavado con el método ISO 105-C06 - B1M y frote con el método AATCC TM8 los valores fueron superiores a 4-5. Finalmente, se demostró que los tejidos obtenidos con baños de reuso no merman la calidad del textil teñido y ahorran agua e insumos.

Palabras clave – Colorantes dispersos, reuso, tintura de poliéster, tintura disperso

Abstract

Residual baths resulting from dyeing polyester fabrics with dispersed dyes were directly reused in new dyeing processes using the exhaustion method at a bath ratio of 1/10. For the initial dyeing, three color ranges (light, medium, and dark) were selected and referred to as the initial bath. 60% of each bath was recovered and stored. Subsequently, bath reconstruction was carried out to reach 100%, using 40% clean water and 50% dyeing auxiliaries, and the first reuse dyeing was performed. This process was repeated, and subsequent reuses were continued. To assess the quality of the dyed samples, the $DE_{CMC(2:1)}$ color difference was measured, resulting in values of 0,67, 0,43, and 0,32 for light, medium, and dark colors, respectively, which are acceptable in the textile industry. Furthermore, the results of sublimation fastness with the AATCC TM117 method at 150°C showed color change values ranging from 4 to 4-5 and color staining values from 4-5 to 5. At 180°C, color change values ranged from 3-4 to 4, and color staining values ranged from 3-4 to 4-5. For washing fastness with the ISO 105-C06 - B1M method and rubbing fastness with the AATCC TM8 method, the values were higher than 4-5. Finally, it was demonstrated that fabrics obtained from reused baths did not compromise the quality of the dyed textile and saved water and resources.

Keywords – Disperse dyeing, reuse, polyester dyeing, disperse dyeing,

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Antecedentes Referenciales	1
1.1.1. Antecedentes Internacionales.....	1
1.1.2. Antecedentes Nacionales	2
1.2. Planteamiento de la Realidad Problemática.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. Hipótesis General	4
1.4.2. Hipótesis Específicas.....	5
Capítulo II. Marco Teórico.....	6
2.1. Fibra de Poliéster.....	6
2.1.1. Historia del Poliéster	6
2.1.2. Propiedades	7
2.2. Colorantes Dispersos.....	7
2.2.1. Estructura Química	7
2.2.2. Propiedades	9
2.2.3. Clasificación	9
2.3. Método de Tintura Disperso por Agotamiento.....	10
2.3.1. Mecanismo de Tintura	10
2.3.2. Primera Ley de Fick – Coeficiente de Difusión.....	11
2.3.3. Parámetros que Influyen en la Tintura	11
2.4. Reúso de Baños de Teñido.....	12
2.4.1. Reutilización de Baño con Almacenaje	13
2.5. Control del Color.....	14

2.5.1. Color.....	14
2.5.2. Colorimetría	15
2.5.3. Control Instrumental de Color	15
2.5.4. Reproducibilidad del color.....	20
2.6. Solideces	22
2.6.1. Solidez a la Sublimación.....	22
2.6.2. Solidez al Lavado	23
2.6.3. Solidez Al Frote	23
Capítulo III. Procedimiento Experimental	25
3.1. Reúso de Baños de Teñido.....	27
3.1.1. Preparación de Muestras Textiles.....	27
3.1.2. Preparación de Soluciones:	27
3.1.3. Teñido Disperso y Proceso Posterior	29
3.2. Medición instrumental del color.....	34
3.3. Pruebas de Solideces	36
3.3.1. Solidez al lavado.....	37
3.3.2. Solidez al frote	39
3.3.3. Solidez a la sublimación	40
Capitulo IV. Resultados y Discusión de Resultados	42
4.1. Ahorro en el consumo de agua	42
4.2. Ahorro de productos de teñido disperso.....	43
4.3. Diferencia de color de las muestras teñidas.....	43
4.4. Exactitud, precisión y consistencia del color de las muestras teñidas	52
4.5. Comparación de solideces de las muestras teñidas	54
4.5.1. Solidez al lavado.....	54
4.5.2. Solidez al frote	58
4.5.3. Solidez a la sublimación	61
4.6. Escalamiento a planta.....	72
Contrastación de Hipótesis	74
Análisis de Costos	76
Conclusiones	78

Recomendaciones	79
Referencias bibliográficas	80
Anexos	83

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1 Propiedades de la fibra de poliéster.....	7
Tabla 2 Iluminantes	16
Tabla 3 Valoración según el grado de solidez	22
Tabla 4 Descripción de equipos utilizados	25
Tabla 5 Dilución de colorante, auxiliares y químicos.....	29
Tabla 6 Receta de teñido disperso y proceso posterior	30
Tabla 7 Dispensado de teñido disperso y lavado reductivo	32
Tabla 8 Desviación estándar de las lecturas promedio por muestra	35
Tabla 9 Ahorro de agua por reúso de baño de teñido disperso	42
Tabla 10 Ahorro en auxiliares de teñido color claro, medio y oscuro	43
Tabla 11 Valores de diferencias de color para el color claro.....	44
Tabla 12 Valores de diferencias de color para el color medio.....	45
Tabla 13 Valores de diferencias de color para el color oscuro.....	45
Tabla 14 Resultados estadísticos	52
Tabla 15 Resultados numéricos de solidez al lavado, color claro	55
Tabla 16 Resultados numéricos de solidez al lavado, color medio	55
Tabla 17 Resultados numéricos de solidez al lavado, color oscuro	56
Tabla 18 Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color claro.....	58
Tabla 19 Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color medio.....	59
Tabla 20 Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color oscuro.....	59
Tabla 21 Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color claro a 150°C	62
Tabla 22 Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color medio a 150°C	62
Tabla 23 Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color oscuro a 150°C	63
Tabla 24 Resultados de solidez a la sublimación, color claro a 180°C	67
Tabla 25 Resultados de solidez a la sublimación, color medio a 180°C	68
Tabla 26 Resultados de solidez a la sublimación, color oscuro a 180°C	68
Tabla 27 Comparación de costos de receta color claro	76
Tabla 28 Comparación de costos de receta color medio	76
Tabla 29 Comparación de costos de receta color oscuro	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Síntesis de poliéster (PET).....	6
Figura 2 Estructuras de un colorante AZO (- N=N).....	8
Figura 3 Estructuras típicas de colorantes dispersos	8
Figura 4 Clasificación de los colorantes según su comportamiento térmico	10
Figura 5 Mecanismo de tintura del colorante disperso	11
Figura 6 Representación gráfica del reúso de baño con almacenaje	13
Figura 7 Espectro electromagnético.....	14
Figura 8 Funcionamiento del Espectrofotómetro Datacolor	16
Figura 9 Curva espectral de reflectancia de un textil de color rojo.....	17
Figura 10 Sistema de coordenadas CIELAB	18
Figura 11 Diagramas que muestran la diferencia entre exactitud y precisión	21
Figura 12 Representación del reúso de baño en teñido disperso.....	26
Figura 13 Diagrama del control de calidad de las muestras	27
Figura 14 Agitación de las diluciones de colorante.....	28
Figura 15 Baño agotado del teñido con baño madre y último baño de reúso	31
Figura 16 Curva de teñido disperso y procesos posteriores	33
Figura 17 Representación de cada cuadrante leído de cada muestra teñida	35
Figura 18 Escala de grises cambio de color	36
Figura 19 Escala de grises transferencia de color.....	36
Figura 20 Método de ensayo de Solidez al lavado de las muestras teñidas.....	38
Figura 21 Curva de proceso para la Solidez al Lavado	38
Figura 22 Método de ensayo de Solidez al frote de las muestras teñidas	39
Figura 23 Método de ensayo de Solidez la sublimación de las muestras teñidas.....	41
Figura 24 Reducción del consumo de agua por el reúso de baños	42
Figura 25 Resultado de las muestras teñidas color claro, medio y oscuro	46
Figura 26 Curva de reflectancia color claro	47
Figura 27 Curva de reflectancia color medio	48
Figura 28 Curva de reflectancia color claro	48
Figura 29 Diagramas de tendencia color claro	49
Figura 30 Diagramas de tendencia color medio	50
Figura 31 Diagramas de tendencia color oscuro	51
Figura 32 Representación del diagrama DE cmc, color claro	53
Figura 33 Representación del diagrama DE cmc, color medio	53
Figura 34 Representación del diagrama DE cmc, color oscuro	54

Figura 35 Solidez al lavado color claro.....	56
Figura 36 Solidez al lavado color medio.....	57
Figura 37 Solidez al lavado color oscuro.....	57
Figura 38 Solidez al frote seco y húmedo color claro	60
Figura 39 Solidez al frote seco y húmedo color medio	60
Figura 40 Solidez al frote seco y húmedo color oscuro	61
Figura 41 Solidez a la sublimación a 150°C color claro.....	64
Figura 42 Solidez a la sublimación a 150°C color medio.....	65
Figura 43 Solidez a la sublimación a 150°C color medio.....	66
Figura 44 Solidez a la sublimación a 180°C color claro.....	69
Figura 45 Solidez a la sublimación a 180°C color medio.....	70
Figura 46 Solidez a la sublimación a 180°C color medio.....	71
Figura 47 Esquema del proceso de reúso de baño en Laboratorio vs. Planta.....	73

Glosario

AATCC: American Association of Textile Chemists and Colourists

ASTM: American Society for Testing and Materials.

ISO: International Organization for Standardization

INACAL: Instituto Nacional de la Calidad

C.I: Colour index, nombre y numeración designada a un colorante por el sistema internacional Colour index.

Multifibra DW: Material textil que contiene varias fibras e incluye acetato, algodón, poliamida, poliéster, acrílico y lana, utilizadas como testigos en ensayos textiles.

Natific: Empresa privada Suiza con años de experiencia en la creación de tecnología digital de color que trabaja con marcas reconocidas y otorga certificaciones internacionales a fábricas y proveedores de todo el mundo que responden a la implementación de las mejores prácticas en el manejo del ciclo de vida del color.

Capítulo I. Introducción

1.1. Antecedentes Referenciales

En las últimas décadas la palabra sostenibilidad ha tomado mayor fuerza en el sector Textil, por lo que cada vez más empresas buscan nuevas estrategias y acciones que los ayuden a ser responsables con la sociedad y el medio ambiente (Martínez, 2020).

Una de las estrategias que se planteó para la disminución del consumo de agua y disminución de la contaminación de efluentes en las tintorerías fue el uso de la tecnología de reutilización directa del baño de teñido (Öner et al., 2016).

1.1.1. Antecedentes Internacionales

Chakraborty y Sharma (2001) reutilizaron baños en el teñido de fibra de poliéster. Primero determinaron la concentración de colorante residual de los baños agotados y luego fueron reconstruidos y reutilizados. La concentración residual de colorante se determinó usando cromatografía en capa fina de alto rendimiento (HPTLC) y espectrofotometría UV- visible. La reproducibilidad del color, uniformidad y propiedades de solidez a la luz, lavado, frote, sublimación, y la transpiración fueron comparables a los alcanzados en el teñido convencional. Finalmente, obtuvieron un ahorro del 5-7% en colorante y un 65-75% de ahorro en auxiliares, logrando reducir el agua de descarga y la carga ambiental.

Agudelo et al., (2008) realizaron estudios de reúso de baños de tintura a escala piloto en tejidos de microfibras de poliéster. Usaron los colorantes dispersos: C.I Disperse Yellow 211, C.I Disperse Red 167, y C.I Disperse Blue 56, los cuales fueron teñidos individualmente a diferentes concentraciones y por cada uno se hicieron 25 reutilizaciones del baño madre. Se observó que las tinturas con C.I Disperse Yellow 211 y C.I Disperse Red 167 tuvieron una reproducibilidad aceptable, es decir, una diferencia de color menor que una unidad ($DE_{CMC(2:1)} < 1$), uniformidad y sin efectos desfavorables sobre las propiedades de los tejidos por lo que se concluyó la factibilidad del uso de estos colorantes satisfactoriamente en la reutilización de baño directa,. Por otro lado, para el colorante C.I

Disperse Blue 56, por su composición química de bajo peso molecular y alta difusión, no se tuvieron los resultados esperados de reproducibilidad de tono en las reutilizaciones de baño, se obtuvo un $DE_{CMC(2:1)}$ en el rango de 1,0 a 1,5.

Agudelo et al. (2009) continuó con su estudio del 2008 y los mismos colorantes fueron teñidos en bicromías y tricromías a los cuales se le realizaron 25 reutilizaciones de baño y se observó que el comportamiento fue similar cuando se tiño los colorantes individualmente, también se observó que a partir del décimo baño de reuso las diferencias de color fueron relativamente comparables con respecto al baño original, encontrándose estas diferencias cercanas en el espacio CIELAB. Las diferencias de color encontradas fueron $DE_{CMC(2:1)} \leq 1$ y $DE_{CMC(2:1)} \geq 1$, este comportamiento posiblemente fue a causa de la fenomenología del teñido como de las limitaciones del sistema experimental en las mediciones.

Salazar (2014) realizó reutilización de baño de teñido ácido sobre poliamida, en la cual se partió de un teñido inicial y se consiguió teñir dos baños de reuso para diferentes tricromías. Se calculó el porcentaje de colorante agotado y se definió el porcentaje de colorante de refuerzo en las siguientes reutilizaciones, no se adicionó auxiliares en las dos reutilizaciones esto debido a que los auxiliares colocados inicialmente fueron suficientes, los resultados de tono que se obtuvo con el baño madre de tintura, así como en el reuso 1 y reuso 2 fueron aceptables con una diferencia de $DE_{CMC(2:1)} \leq 0,5$, concluyó que el gasto de auxiliares, colorantes y agua que se emplea en el reuso de baño es mínimo en comparación al gasto de insumos en el baño madre.

1.1.2. Antecedentes Nacionales

Espejo & Gómez (2017) realizaron un trabajo en una empresa textil peruana donde se empleó el reuso de baño de teñido disperso, aplicando el sistema de producción más limpia a nivel de planta. Se logró una reducción en el uso de dispersante, ácido y agua de 215,12 kg/año, 179 kg/año y 405,06 m³/año respectivamente. Asimismo, se mostró claramente que la reutilización de insumos y productos químicos no solo resultó en una

mejora del impacto ambiental sino también en ahorro de costos por el uso de menor cantidad de insumos.

1.2. Planteamiento de la Realidad Problemática

En los últimos 15 años, se ha visto que producción de prendas de vestir se ha duplicado siendo uno de los factores el fenómeno de la moda rápida (fast fashion) con un cambio más rápido de nuevos estilos, mayor número de colecciones por año y bajos precios (Larios, 2019).

El ritmo de consumo hace que las marcas produzcan volúmenes proporcionales, en tiempos cortos y bajos precios por exigencia de la demanda, al mismo tiempo el cambio climático al pasar de los días toma un papel más importante en la sociedad haciendo que la sociedad se preocupe cada día más por las repercusiones que puede traer más adelante, todo esto se refleja en los sectores de la cadena productiva textil (Martínez, 2020).

Todos estos cambios obligan a las empresas a entregar su producción en menor plazo, con bajo costo y con la mejor calidad posible (Cáceres, 2017), todo esto sin perjudicar la sostenibilidad del medio ambiente.

La tintorería como parte de la cadena productiva textil siempre fue una de la más grande consumidora de energía y agua, produciendo efluentes que se caracterizan por una alta demanda química de oxígeno, sólidos disueltos, gran cantidad de químicos orgánicos, baja biodegradabilidad, fuerte color y salinidad (Öner et al., 2016).

El agua como insumo principal de los procesos tintoreros en una empresa textil, es consumida habitualmente en grandes cantidades, por diferentes motivos como, la geometría de la maquinaria utilizada, el tipo de material a procesar, el tipo de proceso a realizar entre otros factores que determinen la cantidad de agua a emplear en la tintura.

El uso de colorantes dispersos se incrementó desde el descubrimiento de las fibras sintéticas (Alya et al., 2012) y en la tintura con colorantes dispersos, que es el caso a tratar en esta investigación, se utilizan entre 100 y 150 litros de agua por kilogramo de producto (Ferrero, 2013).

En 2021, la fibra de poliéster representó el 54% de la producción mundial de fibras textiles, alcanzando aproximadamente 61 millones de toneladas en comparación con las 57 millones de toneladas registradas en 2020, se proyecta un continuo aumento, estimándose una producción de alrededor de 78 millones de toneladas para el año 2025 (Textile Exchange, 2022).

Problema general:

¿De qué manera es posible optimizar el consumo de agua e insumos de la tintura de poliéster con colorantes dispersos sin mermar la calidad del textil teñido?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Optimizar el consumo de agua e insumos mediante el reúso de baños de teñido disperso por agotamiento con colorantes dispersos sin mermar la calidad del textil teñido y con ahorros significativos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros del baño final del teñido disperso sobre fibra de poliéster de la tintura madre: pH, temperatura y volumen recuperado.
- Calcular la receta a usar del baño madre recuperado, reutilizar en nueva tintura y así proceder sucesivamente.
- Evaluar la reproducibilidad del color y la igualación de los tejidos teñidos usando las reutilizaciones sucesivas respecto a la tintura madre
- Evaluar las solideces al lavado, frote y sublimación de las muestras teñidas con baños reutilizados y la muestra madre.
- Calcular el consumo de agua, de insumos y el ahorro por el reúso de los baños.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

El reúso de baños de tintura de poliéster con colorantes dispersos permitirá optimizar el consumo de agua e insumos y obtener ahorros significativos sin mermar la calidad del producto final en color, solideces e igualación.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- La caracterización de los parámetros de pH, temperatura y volumen recuperado de los baños de tintura madre y reutilizados permitirá un proceso óptimo de teñido.
- El cálculo de la receta de la del baño madre recuperado permitirá el teñido con baños de reutilización sucesiva.
- Los colorantes dispersos de mediana energía empleados permitirán la reproducibilidad del color y la igualación de los tejidos teñidos en todas las reutilizaciones sucesivas.
- La determinación del grado de influencia de los parámetros de la tintura de colorantes dispersos permitirá una correcta reconstrucción de los baños y su reuso.
- La reutilización sucesiva permitirá un ahorro en el consumo de agua y de insumos.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1. Fibra de Poliéster

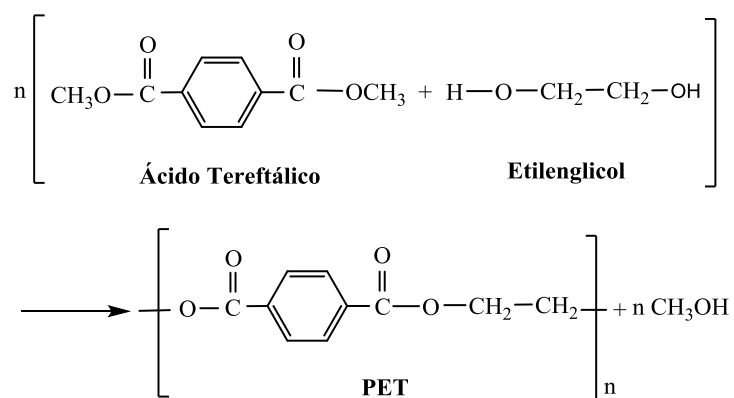
El poliéster dentro de la clasificación de fibras textiles se encuentra en el grupo de las fibras sintéticas o también llamada fibras químicas, debido a que este tipo de fibras, a diferencia de las fibras naturales, son obtenidas mediante un proceso de fabricación.

2.1.1. Historia del Poliéster

En los Laboratorios de Calico Printers Association (Inglaterra) en 1941, J.T Dickson y J.R Whinfield desarrollaron el primer polímero de poliéster a partir de la condensación de etilenglicol (1,2-etanodiol) y ácido tereftálico (Ácido 1,4-bencenodicarboxílico) (Broadbent, 2001). En Figura 1 se observa la síntesis del poliéster.

Figura 1

Síntesis de poliéster (PET)



Nota. La síntesis se muestra partir de la condensación de ácido tereftálico y etilenglicol. Tomado y adaptado de *Implementación de mejoras en el proceso de teñido disperso sobre fibra poliéster* (p.5), por R.E. Velarde, 2013, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Este polímero presentó alto peso molecular y fundido a 264 °C les permitió estirarlo en frío para obtener la fibra de poliéster siendo esta cristalizable y resistente a la hidrólisis. El producto se patentó con el nombre de TERYLENE, por motivos de la guerra no se llegó a publicar la patente por los que años más tarde se llegó a un acuerdo con ICI para que esta sociedad explotase el desarrollo de la síntesis, producción del polímero y la fibra.

Independientemente du Pont Co. desarrollo un método práctico para preparar poli(etilentereftalato) (PET) a partir del dimetiltereftalato (DMT) y etilenglicol (EG) basada

en el trabajo realizado por Whinfield y Dickson adquiriendo la patente y registrándola a su nombre y llamando a su producto DACRON (Guillen, 1991).

2.1.2. *Propiedades*

Las fibras de poliéster, entre las fibras sintéticas, son las más utilizadas en el mercado ya que cuentan con propiedades que la hacen favorita. Estas propiedades se listan en la Tabla 1 según su clasificación química o física.

Tabla 1

Propiedades de la fibra de poliéster

Clasificación	Propiedades
Físicas	Densidad: 1,37 kg/m ³
	Resistencia a la tracción alta y alargamiento a la rotura
	Buena resistencia al frote
	Absorción de humedad y electricidad estática
	Alta resistencia al calor (arriba de 200 °C)
	Alto punto de fusión (250/260 °C)
	Buena estabilidad a la luz
Químicas	Lavado
	Buena resistencia a la acción de: Ácidos, Alcalis, Oxidantes y reductores
	Disolventes
	Cadena cristalina muy compacta y orientada dificulta la adsorción y difusión de los colorantes
	Teñible con colorantes dispersos sin grupos iónicos y aplicados en dispersiones

Nota. Propiedades físicas y químicas de la fibra de poliéster. Tomado y adaptado de *Fibras de poliéster (2ª Edición Ampliada)* (p.67), por J. G. Guillen, 1991.

2.2. **Colorantes Dispersos**

El teñido de poliéster se realiza con colorantes dispersos, conocidos así por formar dispersiones en el baño de tintura, debido a su baja solubilidad en agua.

2.2.1. *Estructura Química*

Los colorantes dispersos, inicialmente, fueron creados para la fibra de acetato de celulosa, primera fibra hidrofóbica que fue introducida en el mercado en la década de los 20, estos colorantes no tienen carácter iónico y son relativamente insolubles a temperatura ambiente, su solubilidad a alta temperatura es limitada sin embargo poseen sustantividad por las fibras hidrofóbicas como la poliamida y el poliéster.

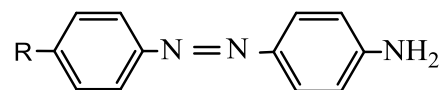
Este tipo de colorantes se presentan en el baño de tintura como una suspensión acuosa ante la presencia de un agente dispersante.

La mayoría de los colorantes dispersos son derivados de antraquinona y monoazo simples de bajo peso molecular (Broadbent, 2001).

Colorantes azoicos: Estos colorantes normalmente tienen uno o más grupos AZO en su molécula, según su estructura química mostrada en la Figura 2.

Figura 2

Estructuras de un colorante AZO (- N=N)

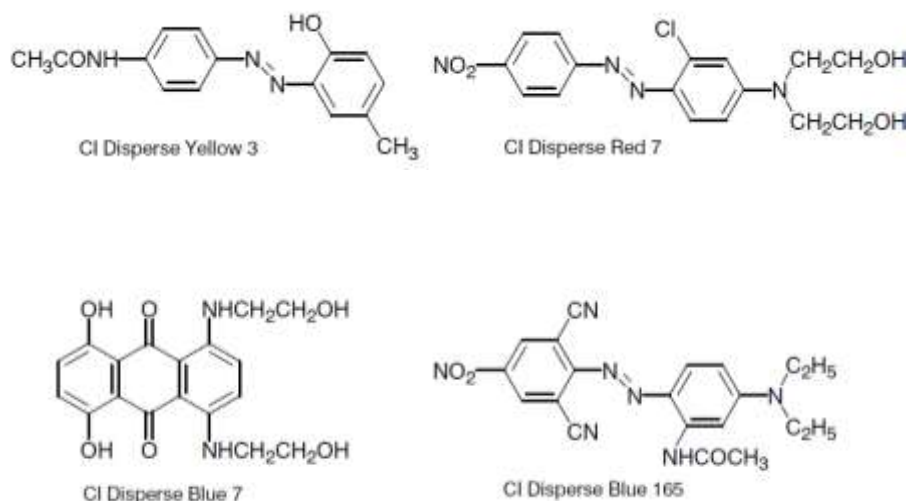


Nota. Tomado de *Implementación de mejoras en el proceso de teñido disperso sobre fibra poliéster (tesis de pregrado)*. (p.19), por R. E. Velarde, 2013, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Colorante antraquinónicos: Estos colorantes normalmente son derivados de 1-hidroxi o 1-amino, su estructura es más estable y sus moléculas más pequeñas como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Estructuras típicas de colorantes dispersos



Nota. Tomado de *Basic Principles of Textile Coloration*, por Broadbent (p, 309), A. D. Broadbent, 2001, Society of Dyers and Colourists.

2.2.2. Propiedades

Los colorantes dispersos presentan carga molecular no iónica cuya estructura química contienen a los grupos Azo o antraquinónicos, los cuales forman dispersiones en agua debido a su baja solubilidad. Los colorantes dispersos requieren de elevada energía de activación para su tintura, los cuales posteriormente a esta, pueden sublimarse en función a su estructura química.

2.2.3. Clasificación

Los colorantes dispersos se pueden clasificar de diferentes maneras, siendo una de ellas de acuerdo con su comportamiento térmico como se muestra en la Figura 4 (Costa, 1990).

Grupo A. Colorantes con tamaño de molécula muy pequeño y baja energía, en este grupo encontramos colorantes de baja solidez a la sublimación, de rápida difusión, buena migración, buena igualación y pueden ser teñido a temperaturas de ebullición, estos tipos de colorante son aceptados para el teñido de acetato y poliamida, pero no para poliéster.

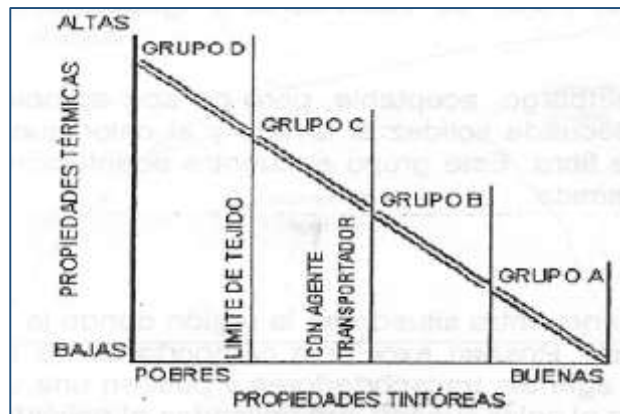
Grupo B. Colorantes con tamaño de molécula pequeño y baja energía, con moderada solidez a la sublimación, de rápida difusión, buen comportamiento tintóreo cuando se tiñen con un agente transportador, son recomendados para teñir poliéster texturizado por su excelente cubrimiento de irregularidades, son utilizados para teñir colores de intensidades claras y medias.

Grupo C. Colorantes con tamaño de molécula mediana y mediana energía, con moderada solidez a la sublimación, de mediana difusión, su migración es moderada y son utilizados para teñir colores medios y oscuros.

Grupo D. Colorantes con tamaño de molécula grande y alta energía, con muy buena solidez a la sublimación, baja migración y requieren alta temperaturas para agotar el colorante, generalmente son utilizados para teñir colores oscuros y no son recomendados para cubrir irregularidades del texturizado.

Figura 4

Clasificación de los colorantes según su comportamiento térmico



Nota. Tomado de *Las fibras textiles y su tintura* (vol. IV), por M. R. Costa, 1990

2.3. Método de Tintura Disperso por Agotamiento

Este método de teñido es un proceso donde el colorante que inicialmente está en el baño, en condiciones de tiempo y temperatura específicas, se traslada al textil proporcionándole color a este.

2.3.1. Mecanismo de Tintura

En todo proceso tintorero por agotamiento se pueden apreciar 4 etapas, como se muestra en la Figura 5, por las que pasa una molécula de colorantes (Cegarra, et al., 1981):

Difusión en el Baño. Desplazamiento molecular del colorante hacia la fibra.

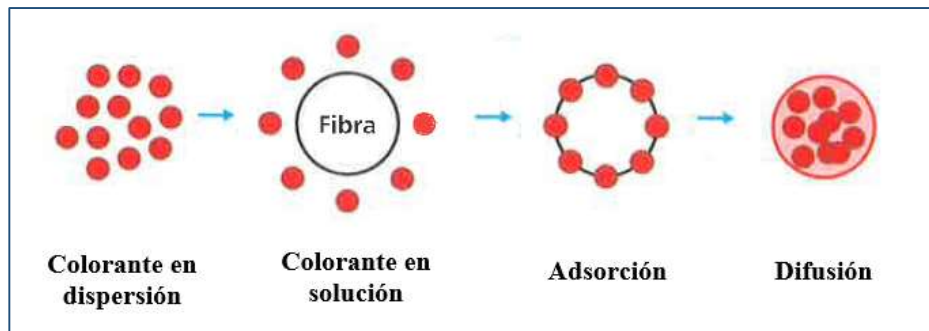
Adsorción. Es el pase de la fase líquida a la fibra, etapa en la que como resultado se observará la igualación y uniformidad de la tintura sobre el material textil.

Difusión en la Fibra. Es el colorante absorbido hacia el interior de la fibra.

Fijación. En este punto se puede considerar que el colorante ha teñido la fibra ya que se establece el enlace fibra-colorante.

Figura 5

Mecanismo de tintura del colorante disperso



Nota. Tomado de *Tingimiento Textil: Fibras, Conceitos e Tecnologias* (p.114), por V. Salem, 2010, Blucher: Golden Tecnología.

2.3.2. Primera Ley de Fick – Coeficiente de Difusión

La causa que origina que el colorante ingrese hasta el centro de la fibra es la existencia de un gradiente de concentración que es directamente proporcional al flujo de las moléculas de colorante y esto sucede seguidamente después que el colorante se encuentra distribuido de forma anular en la fibra (Cegarra, et al., 1981).

$$J_x = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

Donde:

J_x : Es el flujo que está dado por la cantidad de colorante, por unidad de área y tiempo “t”, que cruza una superficie.

$-D$: Coeficiente de difusión, el signo negativo representa el sentido de la concentración que es opuesta al flujo.

$\frac{\partial C}{\partial x}$: Gradiente de concentración.

2.3.3. Parámetros que Influyen en la Tintura

Se mencionan los siguientes parámetros:

Tamaño de la Molécula. El equilibrio de teñido influenciado por el tamaño de las partículas de colorante se da cuando el colorante dispersado en el baño de teñido es absorbido por la fibra.

pH. Puede influenciar de diferentes maneras en el teñido, sobre todo si no se llegan a los pH requeridos por tipo de colorante afectando al tono final del textil teñido. La mayoría de los colorantes son estables a pHs que se encuentran alrededor de 4.5.

Temperatura. La temperatura es proporcional al tamaño de molécula de los colorantes y su coeficiente de difusión.

Tiempo. El agotamiento del colorante en el textil se da por un determinado tiempo por lo que este debe ser el adecuado para los diferentes matices según los colorantes que se usan en la tintura.

Relación de Baño. Es la relación del volumen total de baño requerido para teñir un kilogramo de textil, la relación de baño va a depender la geometría de la máquina de teñido y el artículo a teñir.

Dispersión del Colorante en el Agua. El uso de agentes dispersantes es importante para evitar aglomeraciones de algunos colorantes de molécula grande y posibles precipitaciones. En la actualidad estos agentes dispersantes se encuentran formulados con otros auxiliares y químicos en agentes conocidos como compound.

2.4. Reúso de Baños de Teñido

El reúso de baño es un proceso que se ha convertido en una alternativa que permite reducir los costos de insumos, el consumo de agua y su contaminación, reduciendo la DQO y la BDO (Agudelo et al., 2006).

El reúso de baño se puede clasificar según las etapas del proceso: Con almacenaje o Por etapas.

Ambos procesos cuentan con procedimientos comunes que consisten en analizar el baño de teñido agotado y reconstruir el nuevo baño de tintura.

Análisis del Baño. Consiste determinar la cantidad de colorantes, auxiliares y químicos residuales que se encuentran en el baño de teñido agotado.

La concentración de los auxiliares y químicos mantienen su concentración en el baño de teñido por lo que las cantidades residuales pueden ser estimadas, a diferencia de

los colorantes que si presentan una gran variación de concentración y deben ser analizados para determinar la cantidad exacta en el baño de teñido agotado.

Reconstrucción del Baño. Es la adición necesaria de los colorantes, auxiliares, químicos y agua al baño agotado para reconstruirlo totalmente y luego proceder con el siguiente teñido. El agua que se adiciona es para reponer pérdidas por evaporación y retención del sustrato.

2.4.1. Reutilización de Baño con Almacenaje

Se realiza de la siguiente manera: Almacenamiento del baño agotado, luego su análisis y finalmente su reconstrucción y reuso para realizar el siguiente teñido.

Existen diferentes maneras para almacenar el baño de teñido agotado, una de ellas es en un tanque de almacenaje conectado a la máquina de teñido para su análisis y reconstrucción mientras paralelamente se realizan los procesos posteriores al textil para luego continuar con el segundo teñido con baño reconstruido como se muestra en la Figura 6, esto también puede conseguirse teniendo dos máquinas idénticas conectadas donde una se prepara para realizar el teñido con el baño agotado y la otra máquina va realizando el teñido, finalizado este, bombea el baño agotado a la primera máquina para que se realice el análisis y su respectiva reconstrucción, mientras esta segunda máquina realiza los procesos posteriores y paralelamente la primera inicia el nuevo teñido del material con baño reconstruido.

Figura 6

Representación gráfica del reuso de baño con almacenaje



Nota. Tomado de *Tintura en baños de reutilización directa: microfibras de poliéster con colorantes dispersos* (p.14), por C. A. Agudelo et al., 2006, Boletín Intexter (U.P.C.).

2.5. Control del Color

Es el proceso de evaluación que se le realiza a una muestra textil teñida o acabada y que se compara contra un estándar determinado para evaluar su diferencia de color.

2.5.1. Color

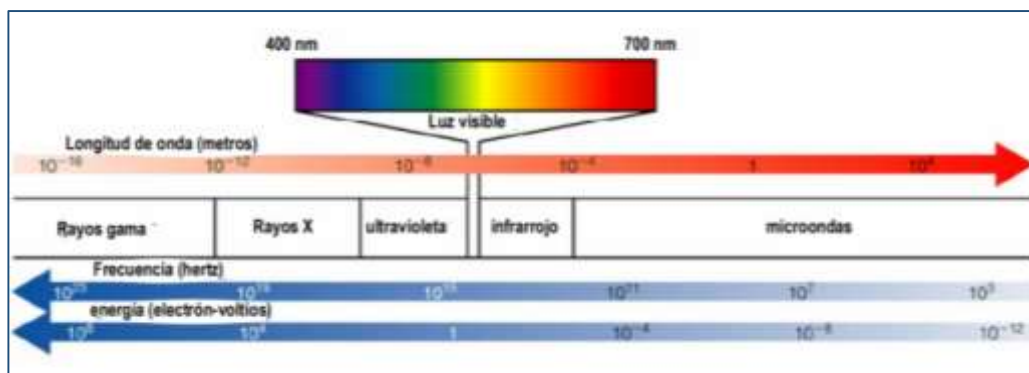
El color es una percepción subjetiva que es causada por cierta cantidad de luz o energía transmitida al ojo humano (Salem, 2010).

Para que exista la percepción del color necesariamente se requiere de tres elementos esenciales: Fuente de luz, Objeto y Observador.

Fuente de Luz. Es una onda electromagnética y puede ser detectada por el ojo humano, los rayos luminosos que forman parte del espectro constituyen el conjunto de radiaciones visibles y generan así, la percepción de color. Cada componente cuenta con diferente longitud de onda, los cuales se encuentran dentro de 400 a 700 nm. que constituyen la luz visible como se muestra en la Figura 7. Las radiaciones por debajo de los 400 nm. o por encima de los 700 nm ya no son visibles.

Figura 7

Espectro electromagnético



Nota. Tomado de *Espectrofotetría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas* (p.2), por N.A. Díaz et al., 2010.

Objeto. La luz reflejada sobre un objeto determina el color, debido a que este absorbe ciertos rayos y remiten los restantes, por ejemplo, cuando un sustrato es de color azul, es por qué, al incidir la luz blanca sobre el sustrato, refleja azul y absorbe el resto de

los componentes. Por tal motivo, cuando se tiñe un textil, lo que se hace es trabajar en la sustracción de colores para poder reflejar el color observado por el ojo humano.

Observador. El ojo humano y el cerebro funcionan como receptores, el proceso visual inicia cuando los rayos luminosos traspasan el cristalino llegando a la retina donde se ubican los terminales del nervio óptico y a través de estos se transmiten impulsos eléctricos que son procesadas finalmente por el cerebro.

2.5.2. Colorimetría

Se puede definir el objetivo de la colorimetría como la caracterización numérica del color de un objeto que puede estar aislado (colores no relacionados) o formando parte de una escena (colores relacionados), esta caracterización debe describir numéricamente el color percibido (Artigas, et al., 2002).

La colorimetría como técnica de medición del color que convierte la sensación subjetiva en datos objetivos expresados en números y la cual tiene su base en la teoría del color (fuente de luz, objeto y observador) (Salem, 2010).

Para lograr estas mediciones objetivas es necesario estandarizar las fuentes luminosas y hacer uso de herramientas como el espectrofotómetro.

2.5.3. Control Instrumental de Color

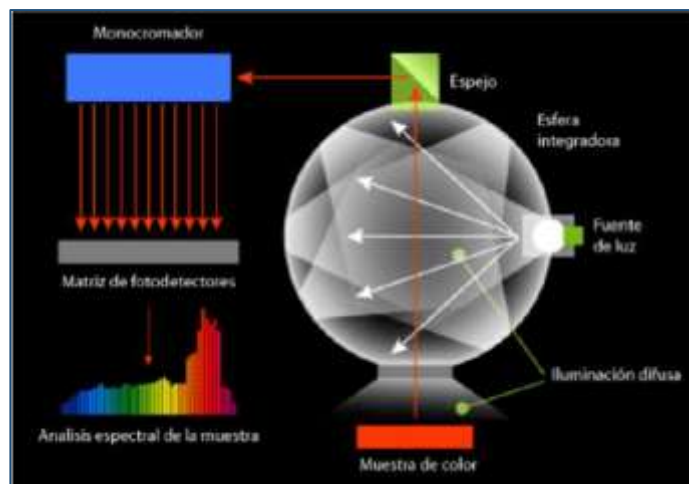
A continuación, se describen los conceptos básicos que se deben tener en cuenta al realizar el control instrumental del color.

Espectrofotómetro. Estos equipos miden una parte de luz incidente, reflejada o transmitida por un objeto en función a su longitud de onda.

La Figura 8 muestra como una cantidad de luz que refleja un objeto se mide en una serie de intervalos de longitud de onda con relación a una luz blanca de Xenón que originan casi un 100% de reflexión difusa. Estos intervalos de longitud de onda van entre los 380 y 750 nm, con una resolución de 10 nm (Broadbent, 2001).

Figura 8

Funcionamiento del Espectrofotómetro Datacolor



Nota. Adaptado de *Obtención de tricromías estándar con colorantes dispersos en poliéster 100% (tesis de pregrado)* (p.17), por A.M. Haro, 2018, Universidad central del Ecuador.

Las fuentes de luz utilizadas en el espectrofotómetro son iluminantes normalizados, como se muestra en la Tabla 2, con especificaciones potenciales que hacen referencia a una determinada temperatura absoluta de un cuerpo negro, expresada en grados Kelvin.

Tabla 2

Iluminantes

Iluminante	Descripción	Temperatura de color (°K)	Uso
D65	Luz de Día promedio cielo norte	6500	Textiles, plástico y papel
D50	Luz de día al mediodía	5000	Artes Gráficas
D75	Luz de día cielo norte	7500	Autos, algodón, pinturas y otras industrias
A	Luz incandescente o lámpara de tungsteno	2856	Hogares y tiendas
CWF	Luz Blanca Fluorescente Fría de banda ancha	4150	Oficinas y tiendas de USA
TL84	Luz fluorescente de banda angosta	4100	Oficinas y tiendas de Europa y Asia

Nota. Descripción de iluminantes según su temperatura absoluta. Tomado del *Curso de Control de Calidad Textil III - Colorimetría*, por C. L. Uribe, 2009, Universidad Nacional de Ingeniería.

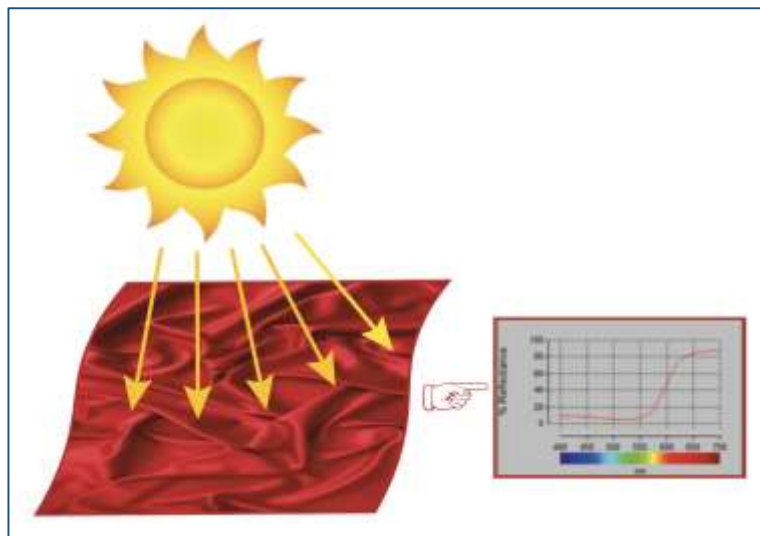
El espectrofotómetro permite realizar diferentes actividades como, la formulación de colores y correcciones de receta, evaluación de solidez, control de calidad de teñidos y colorantes; y determinación de grado de blancura.

Curvas Espectrales. Son la representación gráfica de la fracción de radiación reflejada en cada zona del espectro electromagnético en otros términos es la relación que existe entre energía emitida y longitud de onda, para textiles se trabaja con curvas de reflectancia. La Figura 9 muestra la curva de reflectancia de cierto objeto color rojo.

Las propiedades espectrales de los objetos o sustratos coloridos son únicas y no dependen de la fuente luminosa.

Figura 9

Curva espectral de reflectancia de un textil de color rojo.



Nota. Elaboración propia, con gráficos de internet.

Diferencia de Color. La evaluación visual es subjetiva y solo puede dar referencia a hacia donde se direcciona el matiz de una muestra respecto a un estándar mas no puede cuantificar esa diferencia (Uribe, 2009).

La colorimetría usa mediciones de color instrumental en espectrofotómetro para cuantificar numéricamente la diferencia de color, estas diferencias de color se representan con el símbolo de ΔE o DE y son usadas en las industrias relacionadas al color.

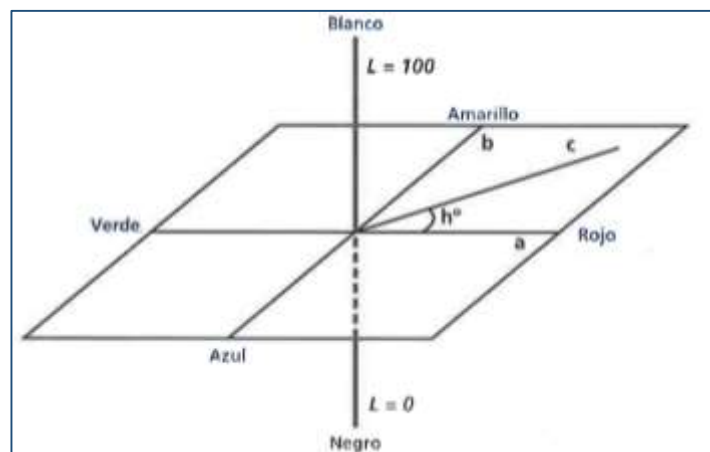
En el control de calidad de textiles, las diferencias de color son de gran ayuda en las formulaciones, correcciones de color, evaluaciones de solidez, grado de blanco y diferencia entre 2 colores).

Existen numerosas ecuaciones matemáticas para evaluar la diferencia de color entre estas se tiene DE CMC que utiliza valores del sistema CIELAB $L^*C^*h^*$ y es la más utilizada en textiles.

Sistema CIELAB. Es un sistema de coordenadas definidos en espacios equidistantes como se muestra en la Figura 10, el sistema CIELAB se trata de un sistema de coordenadas rectangulares o sistema cartesiano cuyos ejes se encuentran definidos por coordenadas colorimétricas L^* , a^* , b^* , h^* y C^* . (Salem, 2010)

Figura 10

Sistema de coordenadas CIELAB



Nota. Tomado de *Tingimiento Textil: Fibras, Conceitos e Tecnologias* (p.26), por V. Salem, 2010, Blucher: Golden Tecnologia.

donde:

L^* : Intensidad o Luminosidad del color, eje vertical, siendo el punto más alto correspondiente al blanco y el más bajo al negro.

a^* : Eje rojo (a)/verde (-a).

b^* : Eje amarillo (b)/azul (-b).

Ángulo h^* : Hue o tonalidad.

C^* : Chroma indica la pureza o limpieza del color.

Diferencia de Color CMC. La sociedad de tintoreros y coloristas de Inglaterra desarrollaron ecuaciones con las cuales se puede calcular la diferencia de total del color realizando un amplio estudio de aceptabilidad visual que abarcaba todas las zonas del espacio de color y se fundamenta en la diferencia de color de los valores DL^* , DC^* y DH^* siendo estos valores proporcionados por el espectrofotómetro finalizado las lecturas de las muestras textiles (Broadbent, 2001).

La ecuación de diferencia de color está dada por:

$$DE_{cmc(2:1)} = \left[\left(\frac{DL^*}{lxS_L} \right)^2 + \left(\frac{DC^*}{cxS_C} \right)^2 + \left(\frac{DH^*}{S_H} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

Longitudes de Semi-Ejes:

DL^* : Dirección $L^* = ISL$

DC^* : Dirección $C^* = cSC$

DH^* : Dirección $H^* = SH$

Valores de diferencia de color de cada componente:

$\frac{DL^*}{lxS_L}$: DLcmc

$\frac{DC^*}{cxS_C}$: DCcmc

$\frac{DH^*}{S_H}$: DHcmc

La ecuación usada y recomendada para evaluar los colores de muestras textiles es (2:1) siendo los valores de $l = 2$ y $c = 1$.

Las diferencias de color CMC permite la evaluación de diferentes muestras evaluadas contra un estándar, estableciendo controles de tolerancias de color en todas las gamas. Según los resultados obtenidos de la diferencia de color se pueden obtener dos decisiones de aprobación de color, cuando el matiz de la muestra está muy cercano al

estándar y el resultado de $DE_{cmc(2:1)} < 1$, se dice que el color PASA y cuando el matiz está alejado y el resultado de $DE_{cmc(2:1)} > 1$. Se dice que el color FALLA.

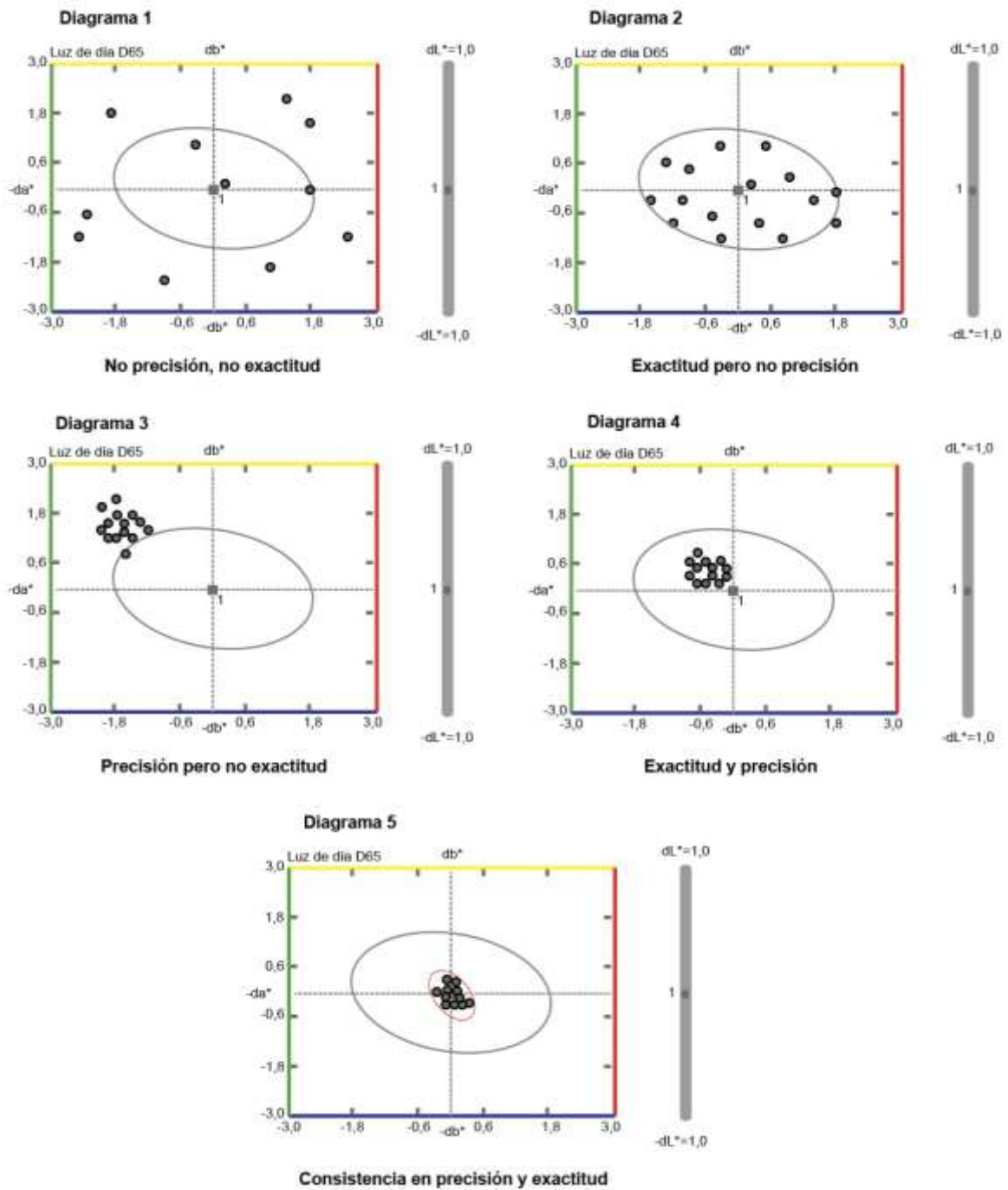
2.5.4. Reproducibilidad del color

La reproducibilidad del color es el comportamiento del tono resultante de un mismo color en diferentes lotes de teñido con respecto a su estándar inicial, estos resultados pueden ser buenos o malos la cual depende de algunos factores en los procesos de tintura a nivel laboratorio o planta, como; dispensado homogéneo de la receta de colorantes, control de parámetros, procesos previos de la muestra textil, entre otros que dependiendo de la dificultad del color estos pueden afectar en mayor o menor grado al tono del color. Asimismo, es importante mencionar, previamente, la definición de las palabras precisión y exactitud. La Dirección de Metrología (INACAL, 2012) define la precisión como; el grado de concordancia entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas y la exactitud como; el grado de concordancia entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

Los diferentes resultados de la reproducibilidad del color se pueden observar en la Figura 11 a través de cinco diagramas donde se muestra la diferencia entre exactitud y precisión. Diagrama 1 no muestra precisión ni exactitud, siendo este el peor de los casos con muy mala reproducibilidad del color. El diagrama 2 no muestra precisión, pero si exactitud, este caso tampoco es deseable. El diagrama 3 muestra precisión, pero no exactitud y este caso tampoco es deseable porque se encuentra sesgado hacia una tonalidad. El diagrama 4 muestra tanto precisión como exactitud siendo un resultado deseado y buscado, sin embargo, existe un quinto diagrama que es el 5 lo cual muestra además de la precisión y la exactitud, la consistencia del color que es lo finalmente buscado para toda reproducibilidad del color, donde todos y cada uno de los lotes de teñido coinciden con la media aritmética de los lotes anteriores con una desviación estándar máxima no mayor que $0,5 DE_{CMC(2:1)}$ (Naticic, 2015).

Figura 11

Diagramas que muestran la diferencia entre exactitud y precisión



Nota. Adaptado de *How to control and improve your color range*, por Natic news, 2015.

2.6. Solideces

Resistencia de un material a cambiar cualesquiera de sus características de color, a transferir su o sus colorantes a materiales adyacentes, o a ambos, como resultado de la exposición del material a cualquier ambiente que pueda existir durante el procesamiento, prueba, almacenamiento o uso del material (American Association of Textile Chemists and Colorists [AATCC], 2010).

Para la valoración de las solideces, según la Tabla 3, se utiliza: Escala de grises cambio de color, para evaluar el cambio de color de una muestra y escala de grises transferencia de color, para evaluar el manchado del color de una muestra hacia un testigo.

Tabla 3

Valoración según el grado de solidez

Grado	Diferencia total de color CIELAB	
	Cambio de color	Transferencia de color
5	0,0	0,0
4-5	0,8	2,2
4	1,7	4,3
3-4	2,5	6,0
3	3,4	8,5
2-3	4,8	12,0
2	6,8	16,9
1-2	9,6	24,0
1	13,6	34,1

Nota. Tomado y adaptado de *Manual Técnico AATCC*, por la Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles (AATCC, 2010).

2.6.1. Solidez a la Sublimación

La solidez a la sublimación evaluada con el método AATCC TM117, solidez del color al calor: seco (sin prensar), simula la resistencia del color de los textiles a la acción del calor seco a diferentes temperaturas, excluido el prensado y que evalúa los cambios de color y manchado en los procesos de teñido, estampado y acabado (American Association of Textile Chemists and Colorists [AATCC], 2010).

El método se realiza en un dispositivo que proporciona calor uniforme a temperaturas controladas de 150 ± 2 ° C, 180 ± 2 ° C, 210 ± 2 ° C por 30 s y a una presión de 4 ± 1 kPa a la que se expone la muestra textil con dos testigos, un testigo del mismo material que la muestra y el otro testigo la multifibra DW.

Finalmente se evalúa el cambio y transferencia de color.

2.6.2. Solidez al Lavado

La solidez al lavado evaluada con el método ISO 105-C06 - B1M, Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte C06: Solidez del color al lavado doméstico o comercial, simula la resistencia del color al lavado frecuente, en la cual se obtiene la pérdida del color como resultado de la acción abrasiva de cinco lavados domésticos, con o sin cloro (International Standar Organization [ISO], 2010).

Este ensayo se realiza en un equipo llamado Launderómetro a la temperatura de 50 °C, en la cual ingresa la muestra textil con un testigo, multifibra DW, y con un baño de 150 ml que contiene 4 g/l de detergente estandarizado WOB.

Finalmente se evalúa el cambio y transferencia de color.

2.6.3. Solidez Al Frote

La solidez al frote evaluada con el método AATCC TM 8, Solidez del color al frote: método Crockmeter, determina cierta cantidad transferida del color de la superficie del tejido, teñidos o estampados, hacia otras superficies por frotamiento. Existen dos procedimientos, prueba de solidez al frote en seco y húmedo (American Association of Textile Chemists and Colorists [AATCC], 2010).

Prueba de frote en seco

Se coloca la muestra a analizar con dimensiones de 5 x 13 cm. de manera oblicua al sentido de los hilos en la base del crockmeter sobre un paño abrasivo (lija), en el dedo ubicado en el brazo deslizante del crockmeter se coloca el testigo blanco de 5 x 5 cm, hilo peinado sujetado por un clip, seguidamente se procede a colocarlo sobre la muestra en el

extremo inicial para deslizar por 10 vueltas completas a 1 vuelta/s., adelante y atrás 20 veces.

Finalizada las 10 vueltas completas se retira el testigo y se evalúa el grado de manchado, el testigo debe estar previamente acondicionado y sin ningún rastro de contaminación.

Prueba de frote en húmedo

La prueba se realiza con el testigo húmedo a 65% de absorción de humedad, para este fin se usa agua destilada y se adiciona de manera uniforme con una jeringa o pipeta en el testigo los mililitros necesarios. Antes que se inicie la prueba se evita en todo momento que el testigo pierda evaporación del contenido de humedad. Seguidamente se procede con la prueba siguiendo los mismos pasos que la prueba de frote seco.

Capítulo III. Procedimiento Experimental

En esta sección se detallará el procedimiento experimental con el cual se realizó el reúso de baños de tintura de tejidos de poliéster, para tres gamas de color diferente; claro, medio y oscuro, este procedimiento se realizó individualmente para cada color y consistió en un teñido con baño madre para luego reconstruirlo y finalmente reutilizarlo. Los procesos de teñido se realizaron en el Laboratorio de Materiales Funcionales, Energías Renovables y Eficiencia Energética (MaFERE) de la Facultad de Ciencias (FC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Asimismo, se detallará el procedimiento con el que se realizó el control de color y las solidez al lavado, frote y sublimación para su posterior evaluación, estos fueron realizados en el Laboratorio N° 24, de la escuela de Textiles en la Facultad de Ingeniería Química y Textil (FIQT) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). En la Tabla 4 se muestra la descripción de los equipos utilizados en la tintura, control de color y solidez.

Tabla 4

Descripción de equipos utilizados

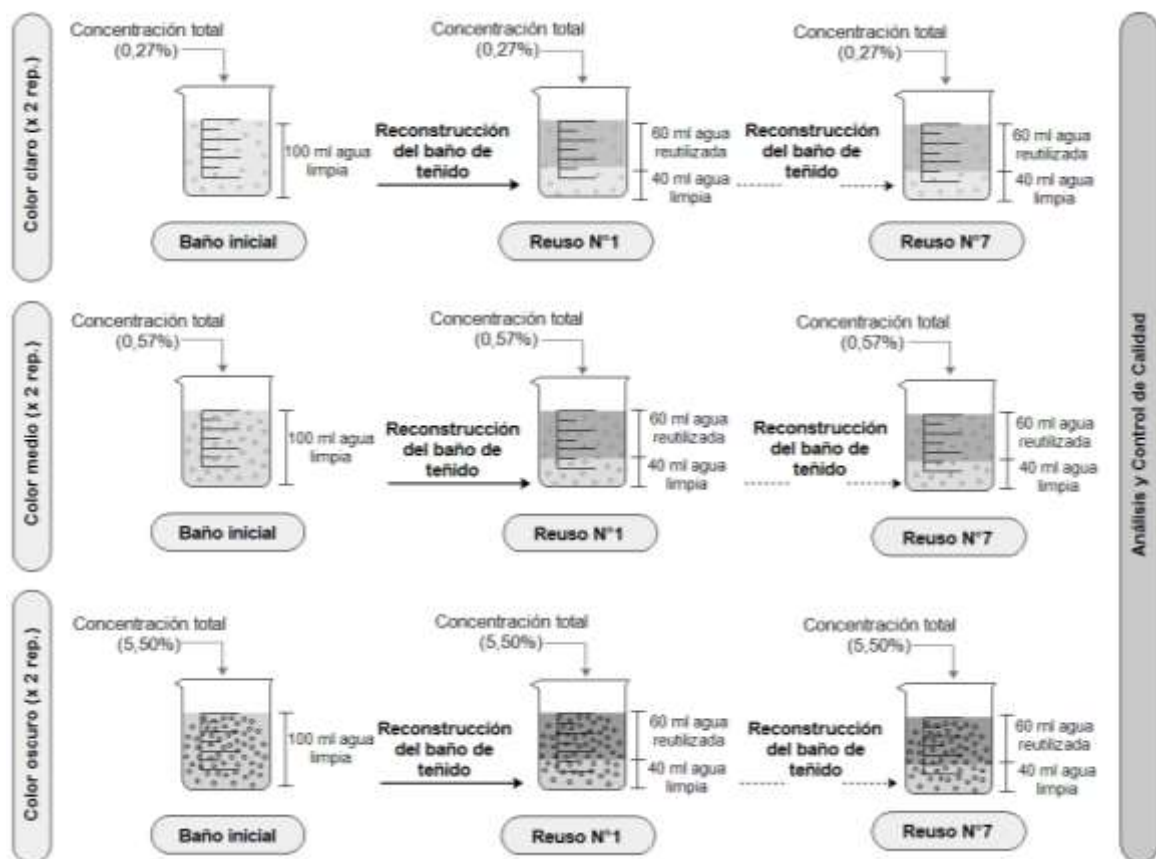
Equipos	Marca/ Modelo	Ubicación
Balanza analítica	Sartorius, modelo Entris	MaFERE
Máquina de teñido	Rapid, modelo ECO-24	MaFERE
Agitador magnético	Velp, modelo AREC.X Pt100	MaFERE
pH metro	Checker - Hanna, modelo HI98103	MaFERE
Balanza analítica	Pioneer, PA323	Laboratorio N°24
Crockmeter	Y571B	Laboratorio N°24
Máquina de teñido	HTN-24P	Laboratorio N°24
Máquina de sublimación	Labtec, 333-111	Laboratorio N°24
Secadora	Fisher Scientific	Laboratorio N°24
Espectrofotómetro	Datacolor, SF-550	Laboratorio N°24
Cabina de luces	Datacolor, DCMB-2540	Laboratorio N°24

Nota. Los materiales y equipos requeridos para el proceso de tintura disperso fueron proporcionados por el Laboratorio de Materiales Funcionales, Energías Renovables y Eficiencia Energética (MaFERE) y para el control de color y solidez fueron proporcionado por el Laboratorio N°24.

En la Figura 12 se muestra el reúso de los baños de teñido para 100% poliéster con colorantes dispersos. Primero la muestra textil se tiñó con baño madre, después de finalizado el teñido, el baño agotado se almacenó y luego se reconstruyó y así, con este baño reconstruido se procedió con el primer teñido con baño de reúso, este principio se repitió en las siguientes reutilizaciones sucesivas de baño, en total se realizaron 7 reutilizaciones de baño para cada color, cabe señalar que se realizó una carga doble de teñido por cada color, tanto en el teñido con baño madre como en las reutilizaciones de baño. A las muestras textiles resultantes de estos teñidos se les realizó su respectiva evaluación de color y solidez (lavado, frote y sublimación), como lo muestra la Figura 13.

Figura 12

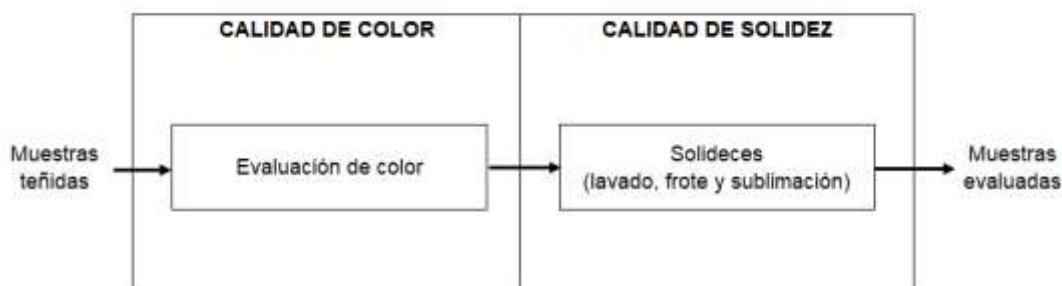
Representación del reúso de baño en teñido disperso



Nota. Elaboración propia. Representación gráfica del proceso de teñido y reúso de baño para; Color claro (x 2 rep.): 0,27% total de colorante, Color medio (x 2 rep.): 0,57% total de colorante; y Color oscuro (x 2 rep.): 5,50% total de colorante. Todos los teñidos se realizaron por duplicado (x2rep.)

Figura 13

Diagrama del control de calidad de las muestras



Nota. Se inició el control de calidad de las muestras teñidas con la evaluación de color antes de realizar los cortes requeridos para la evaluación de solideces. Elaboración propia

3.1. Reúso de Baños de Teñido

3.1.1. Preparación de Muestras Textiles

El material textil que se utilizó para realizar los teñidos fue tejido de punto, Jersey spum 40/1, gramaje de 113 g/m² y una composición de 100% poliéster no termofijado. Se cortaron y pesaron muestras de 10 g, para lo cual se utilizó la balanza analítica que cuenta con una precisión de 0,1 mg. El total de muestras para los 3 colores fueron 48 muestras, 8 para cada color: 1 teñido inicial y 7 teñidos con reúso de baño y en cada carga de teñido se realizó los teñidos por duplicado, haciendo un total de 16 muestras por color.

3.1.2. Preparación de Soluciones:

De acuerdo con la receta de teñido de cada color y según el porcentaje de los colorantes dispersos y los g/l del compound, único auxiliar utilizado en la tintura que incluye en su formulación tampón, dispersante e igualante, se preparó la dilución para cada producto en gramos por litro de agua, según se muestra en la Tabla 5. Posteriormente se realizó el pesado de cada uno en la balanza analítica con capacidad de pesaje de 220 g, luego se colocaron cada uno según el tipo de insumo, en materiales de vidrio como botellas especiales, para el compound PES se pesó 5 g y se diluyó en 50 ml de agua desionizada, esta dilución se utilizó para todos los teñidos. En el caso de los colorantes, se realizó el cálculo de la dilución que se requería para todos los teñidos y así se disminuyó el porcentaje de error utilizando la misma dilución de colorante en cada teñido, para cada uno

de los colorantes Amarillo Liandisperse H-ACE 100%, Rojo Liandisperse H-ACE 100% y Azul Liandisperse H-ACE 100% se pesó 2 g de colorante y se diluyó en 200 ml de agua desionizada, y para el colorante Negro Liandisperse EXSF 300% se pesó 10 g de colorante y se diluyó en 200 ml de agua desionizada. Todas las diluciones fueron almacenadas en botellas especiales de vidrio y estas se colocaron en el agitador magnético digital por un tiempo de 10 min a 125 rpm según se muestra en la Figura 14 para homogeneizar la dilución.

Asimismo, según la receta de lavado reductivo para los colores claro y oscuro según los g/l a usar del auxiliar Levocol CWS, agente dispersante, y g/l de Soda cáustica, se pesó 10 g de producto y se diluyó en 100 ml de agua desionizada en envases especiales de vidrio para cada producto, cabe mencionar que para la dilución de la soda cáustica se tuvo cuidado y se fue vertiendo el agua poco a poco así como se fue enfriando la botella introduciéndola en agua fría, todo esto debido a que se forma una reacción exotérmica.

Los únicos productos que no se diluyeron y fueron utilizados según su presentación original fue el hidrosulfito de sodio, por ser un agente reductor.

Figura 14

Agitación de las diluciones de colorante



Nota. Agitador magnético utilizado para homogeneizar las diluciones de los colorantes dispersos, a 125 rpm, antes de realizar el dispensado de la receta.

Tabla 5*Dilución de colorante, auxiliares y químicos.*

Colorantes		
Productos	Descripción	Dilución (g/L)
Amarillo Liandisperse H-ACE 100%	Colorante	10
Rojo Liandisperse H-ACE 100%	Colorante	10
Azul Liandisperse H-ACE 100%	Colorante	10
Negro Liandisperse EXSF 300%	Colorante	50
Auxiliares y Químicos		
Compound PES	Igualante + Dispersante + Tampón	100
Levocol CWS	Dispersante	100
Soda Cáustica	Álcali	100

Nota. La dilución de colorantes se realizó para una cantidad total de cada colorante que alcanzó para todos los teñidos, con la finalidad de disminuir el porcentaje de error en el dispensado de la receta.

3.1.3. Teñido Disperso y Proceso Posterior

El teñido del tejido de poliéster con colorantes dispersos para los tres colores claro, medio y oscuro cuya receta se muestra en la Tabla 6, se realizó por el método de agotamiento en la máquina de teñido de laboratorio MaFERE, con calentamiento de tipo conductor de calor eléctrico.

La relación de baño (RB) que se utilizó fue 1/10 para los 3 colores, siendo esta relación de baño comúnmente manejada para este tipo de teñido en los laboratorios textiles de tintorerías locales, el pH inicial del baño de teñido fue 3,4 – 3,5 para los colores claro, medio y para el color oscuro fue 3,6 – 4,1. La medición del pH se realizó con el pHmetro cuyo rango de medición era 0 – 14 y con una resolución de 0,01. El teñido inició a una temperatura de 40 °C y subió a 80 °C con una gradiente de 2 °C/min, luego subió hasta 132 °C a una gradiente de 1 °C/min y se mantuvo por un tiempo de agotamiento de 60 min para los tres colores, claro, medio y oscuro, finalizado el tiempo de agotamiento se bajó hasta una temperatura de 70 °C con una gradiente de 3 °C/min y se procedió con la descarga, medición y almacenado del volumen recuperado, del baño agotado de los diferentes colores como se muestra en la Figura 15, cuyo rango fue 60 – 63 mL. Finalizado cada teñido, se realizaron los procesos posteriores, para el color claro se realizaron dos enjuagues a temperatura ambiente, para el color medio un lavado reductivo a una

temperatura de 80°C por un tiempo de 20 min y dos enjuagues a temperatura ambiente y en el color oscuro se realizaron dos lavados reductivos y dos enjuagues a las mismas condiciones indicadas para el color medio.

En la Tabla 7, se muestra todo lo mencionado en el párrafo anterior y en la Figura 16 la curva de teñido utilizada. Por último, el secado de las muestras teñidas se realizó a temperatura ambiente y no en máquina de secado, para garantizar el secado uniforme y que este no afecte al tono.

Tabla 6

Receta de teñido disperso y proceso posterior

Colorantes, Auxiliares y Químicos	Teñido inicial y reúso (g/L)					
	Claro		Medio		Oscuro	
	Teñido inicial	Reúso 1 al 7	Teñido inicial	Reúso 1 al 7	Teñido inicial	Reúso 1 al 7
Amarillo Liandisperse H-ACE 100%	0,10%	0,10%	0,08%	0,08%	-	-
Rojo Liandisperse H-ACE 100%	0,12%	0,12%	0,14%	0,14%	-	-
Azul Liandisperse H-ACE 100%	0,05%	0,05%	0,35%	0,35%	-	-
Negro Liandisperse EXSF 300%	-	-	-	-	5,50%	5,50%
Compound PES	2,00	0,80	2,00	0,80	2,00	0,80
Proceso posterior (g/L)						
Levocol CWS	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00
Soda Cáustica	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00
Hidrosulfito de sodio	-	-	5,00	5,00	7,00	7,00
Levocol CWS	-	-	-	-	1,00	1,00
Soda Cáustica	-	-	-	-	2,00	2,00
Hidrosulfito de sodio	-	-	-	-	5,00	5,00

Nota: Las concentraciones utilizadas en la receta de teñido y proceso posterior, tanto del teñido inicial con baño madre como de reúso, se muestran para los colores claro, medio y oscuro.

Figura 15

Baño agotado del teñido con baño madre y último baño de reúso



Nota: Se muestran los baños agotados del teñido con baño madre y último baño de reúso, donde se pueden observar que queda mayor cantidad de colorante residual en el baño, cuando se realizan mayor cantidad de reúsos.

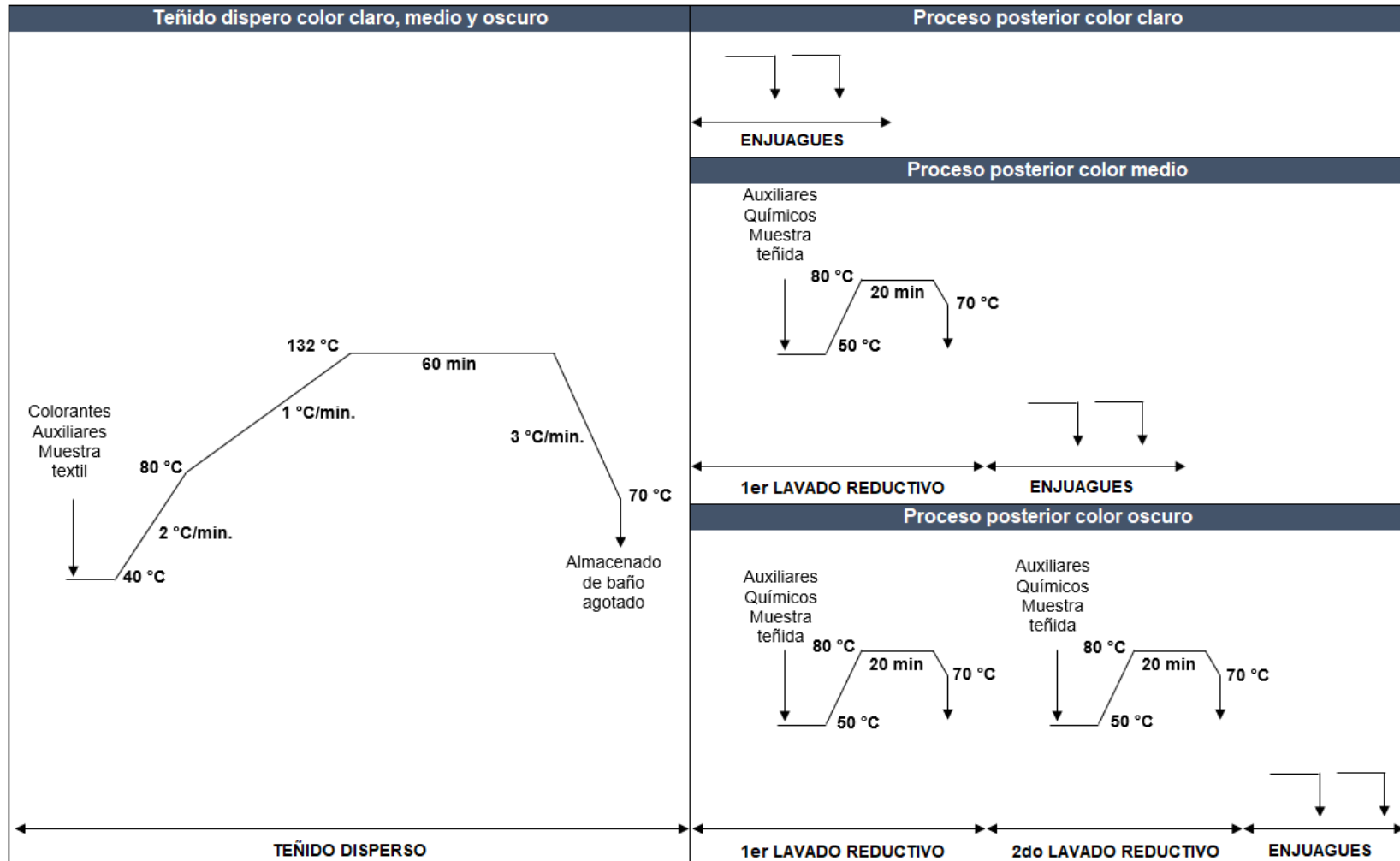
Tabla 7*Dispensado de teñido disperso y lavado reductivo*

Teñido Disperso (130°C x 60 min.)							
Colorantes, Auxiliares y Químicos	Concentración (g/L)	Claro		Medio		Oscuro	
		Teñido inicial (mL)	Reúso (mL)	Teñido inicial (mL)	Reúso (mL)	Teñido inicial (mL)	Reúso (mL)
Amarillo Liandisperse H-ACE 100%	10	1,0	1,0	0,8	0,8	-	-
Rojo Liandisperse H-ACE 100%	10	1,2	1,2	1,4	1,4	-	-
Azul Liandisperse H-ACE 100%	10	0,5	0,5	3,5	3,5	-	-
Negro Liandisperse EXSF 300%	50	-	-	-	-	11,0	11,0
Compound PES	100	2,0	0,8	2,0	0,8	2,0	0,8
Volumen baño reusado	-	0	60,0	0	60,0	0	60,0
Volumen de agua limpia	-	95,3	36,5	92,2	33,5	87,0	28,2
pH inicial de teñido	-	3,5	3,4 – 3,5	3,5	3,4 – 3,5	3,6	3,6 – 4,1
pH final de teñido	-	3,8	3,8 – 3,9	3,9	3,8 – 3,9	3,9	3,9 – 4,4
Procesos posteriores							
		Enjuague (Temp. amb. x 5 min)		Lavado reductivo (80°C x 20 min)		Lavado reductivo (80°C x 20 min)	
Levocol CWS	100	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0
Soda Cáustica	100	-	-	2,0	2,0	2,0	2,0
Hidrosulfito de sodio	-	-	-	0,5	0,5	0,7	0,7
Levocol CWS	100	-	-	-	-	1,0	1,0
Soda Cáustica	100	-	-	-	-	2,0	2,0
Hidrosulfito de sodio	-	-	-	-	-	0,5	0,5

Nota. El volumen de reúso se definió a 60 ml para efectos prácticos. El dispensado de teñido y lavado reductivo se muestra para los colores teñidos claro, medio y oscuro.

Figura 16

Curva de teñido disperso y procesos posteriores



Nota. Para efectos prácticos y por disponibilidad de máquina se realizó una sola curva de teñido disperso para las 3 gamas de colores. Los enjuagues se realizaron a temperatura ambiente.

3.2. Medición instrumental del color

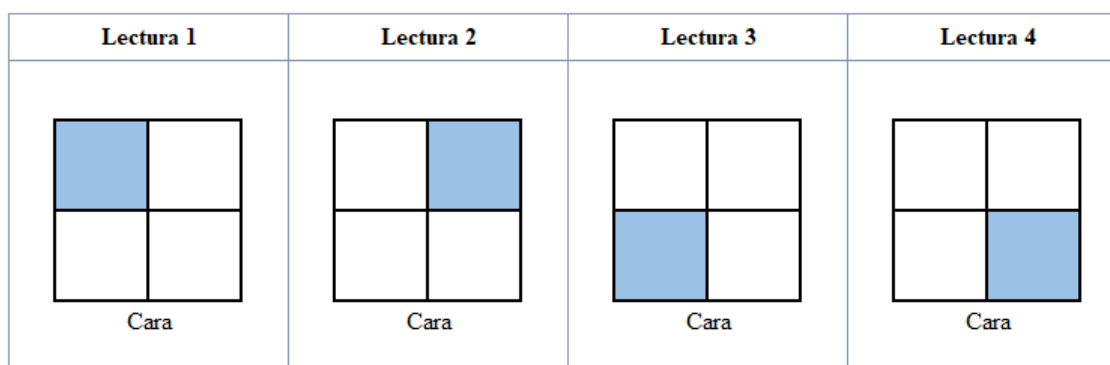
La medición instrumental del color para obtener los valores colorimétricos de las muestras textiles, teñidas con baño madre y de reúso, del color claro, medio y oscuro, fueron realizadas con el espectrofotómetro Datacolor SF-550 en el Laboratorio N° 24.

Se procedió a encender el equipo Datacolor SF-550, se ingresó al software Color Tools versión 1.1, y previamente antes de realizar las lecturas de color, se realizó el proceso de calibración del espectrofotómetro ingresando a la opción calibrar, ubicada en la barra de acceso rápido parte superior de la ventana principal. Primero se colocó las condiciones de calibración de: Especularidad incluida (SCI), filtro UV incluido (filtro OFF) y apertura grande (LAV); inmediatamente después se realizó la calibración usando la trampa negra y placa blanca según lo fue requiriendo el equipo y finalmente la placa verde con la cual se obtuvo el resultado del test diagnóstico PASA con DE_{CMC} 0,13. Asimismo, se tuvo cuidado y se revisó que la trampa negra y las placas blanca y verde se encuentren en perfecto estado, sin rajaduras o rotas, también se verificó que se encuentren limpias.

Posteriormente a la calibración del equipo se procedió a realizar las lecturas de las muestras textiles teñidas con baño madre y baño de reúso. Se seleccionó como estándar la muestra teñida de cada color con baño madre, repetición 1 y como lote la muestra teñida de cada color con baño madre, repetición 2 y las muestras teñidas con baño de reúso. Las muestras teñidas fueron dobladas en dos formando cuatro capas y luego se realizó la lectura, una lectura por cada cuadrante de la muestra teñida, según la Figura 17, que se formó al doblarla en cuatro capas y así se abarcó toda el área de la muestra teñida. En total se realizaron cuatro lecturas por muestra que fueron promediadas. Para este fin se escogió la opción de lectura de muestra múltiple o promedio para garantizar la lectura en toda el área de la muestra y que esta se encuentre teñida homogéneamente, en la Tabla 8 se puede observar la desviación estándar de cada muestra leída.

Figura 17

Representación de cada cuadrante leído de cada muestra teñida



Nota. La opción de lectura de muestra múltiple permitió obtener la lectura promedio en base a la lectura 1, 2, 3 y 4 que abarcó toda el área de la muestra teñida.

Tabla 8

Desviación estándar de las lecturas promedio por muestra

Muestra	Desviación estándar (dE)		
	Claro	Medio	Oscuro
BM - Rep 1	0,0303	0,0304	0,0230
BM - Rep 2	0,0668	0,0932	0,0343
Reúso 1 - Rep 1	0,0179	0,0110	0,0616
Reúso 1 - Rep 2	0,0260	0,1060	0,0273
Reúso 2 - Rep 1	0,0707	0,0319	0,0196
Reúso 2 - Rep 2	0,0896	0,0222	0,0381
Reúso 3 - Rep 1	0,0538	0,0163	0,0152
Reúso 3 - Rep 2	0,0550	0,0901	0,0154
Reúso 4 - Rep 1	0,0214	0,0094	0,0288
Reúso 4 - Rep 2	0,0404	0,0525	0,0430
Reúso 5 - Rep 1	0,0146	0,0570	0,0737
Reúso 5 - Rep 2	0,0823	0,0575	0,0242
Reúso 6 - Rep 1	0,0442	0,0726	0,0536
Reúso 6 - Rep 2	0,0275	0,0957	0,0140
Reúso 7 - Rep 1	-	0,0723	0,0829
Reúso 7 - Rep 2	-	0,0067	0,0486
Promedio	0,0458	0,0516	0,0377

Nota. Se muestra la desviación estándar de las lecturas promedio realizadas a los cuatro cuadrantes de cada muestra, extraído del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1. BM – Rep1: Baño madre, repetición 1. BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reúso1 – Rep1: Reúso 1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 hasta la muestra de reúso 7.

3.3. Pruebas de Solideces

Se realizaron en el Laboratorio N° 24, estas se realizaron mediante procedimientos estandarizados, según normas técnicas y fueron solidez al lavado, frote y sublimación. Los resultados fueron evaluados con la escala de grises, las cuales se muestran en las Figuras 18 y 19 para cambio y transferencia de color respectivamente.

Figura 18

Escala de grises cambio de color



Figura 19

Escala de grises transferencia de color



3.3.1. Solidez al lavado

La solidez al lavado se realizó a cada muestra teñida con baño madre y de reúso, y se utilizó la máquina de teñido cuyo calentamiento es de tipo conductor de calor eléctrico como se puede observar en la Figura 20, bajo el método ensayo ISO 105-C06 opción B1M, el cual se asemeja al resultado que se obtiene en 5 ciclos de lavados domésticos.

El método de ensayo se inició con la preparación de la probeta, se cortó la muestra textil teñida y la multifibra DW, con dimensiones de 10 cm x 4 cm cada una y luego se unieron a través de una costura en el extremo, seguidamente se preparó una solución total de 2 L con 8 g de detergente exento de blanqueador óptico normalizado WOB AATCC 1993 de la cual solo se usó 150 mL para la probeta. Se procedió a prender la máquina para precalentar a la temperatura de 50 °C requería en el método de ensayo. Asimismo, en un recipiente de acero, accesorio de la máquina, se vertió 150 ml de solución y se colocó 50 billas de acero inoxidable y diámetro de 6 mm, se cerró el recipiente con su tapa y se aseguró que este se encuentre completamente cerrado y fue colocado en la máquina para su precalentamiento a 50 °C. Posteriormente se retiró de la máquina y se ingresó la probeta, la máquina se programó a la temperatura de 50 °C por 45 min a una velocidad de 40 RPM. Finalizado el tiempo se retiró el recipiente y se realizó 2 enjuagues continuos cada uno con 100 mL de agua desionizada a 30 °C por 1 min, la curva utilizada para el método de ensayo se realizó según indica la Figura 21. Sin quitar la costura, la muestra y la multifibra DW se separaron para evitar el contacto entre estas y se secó en la estufa a una temperatura que no excedió los 60 °C. Finalmente se realizó la evaluación en la cabina de luces con luz de día D65, usando la escala de grises correspondientes.

Figura 20

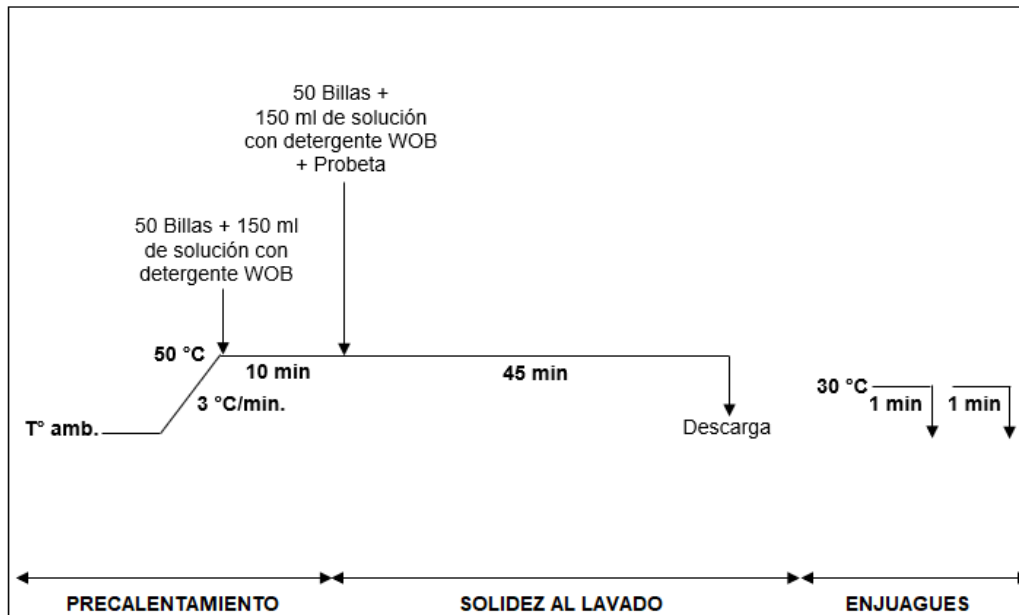
Método de ensayo de Solidez al lavado de las muestras teñidas



Nota. Elaboración propia basada en la máquina de teñido Y571B ubicado en el Laboratorio N° 24.

Figura 21

Curva de proceso para la Solidez al Lavado



Nota. Elaboración propia. Ensayo realizado en la máquina de teñido Y571B del Laboratorio N°24.

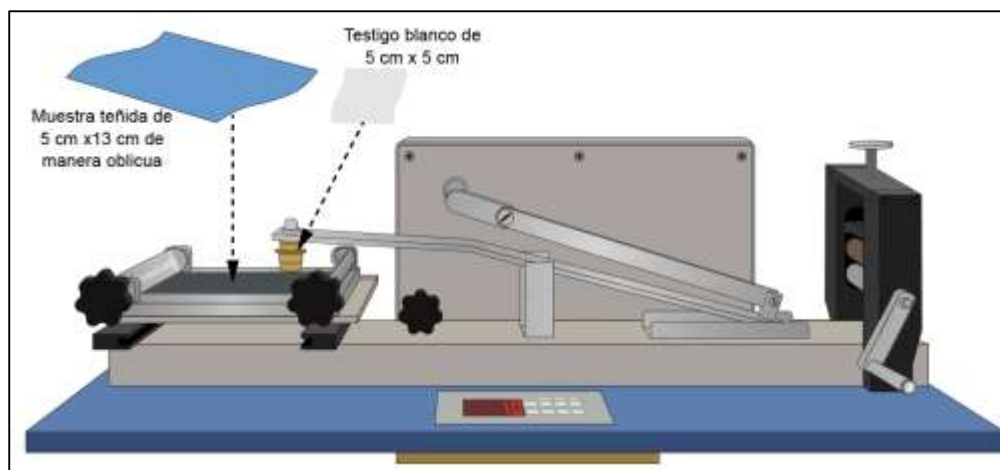
3.3.2. Solidez al frote

La solidez al frote seco y húmedo se realizó a cada muestra teñida con baño madre y de reúso en la máquina Frictómetro (o crockmeter) automático del Laboratorio N°24, como se puede observar en la Figura 22, mediante el método de ensayo AATCC TM8.

Se procedió al encendido del equipo, se colocó la muestra teñida sobre la base abrasiva (lija) en sentido diagonal al deslizamiento de la clavija, en la clavija se colocó el testigo textil seco, de algodón blanqueado de dimensiones 5 cm x 5 cm sujetado por un clip circular de plástico, posteriormente se procedió a bajar el brazo con la clavija y se presionó el botón de funcionamiento, el brazo se detuvo cuando se cumplió 10 vueltas completas o 10 ciclos. Asimismo, se realizó la solidez al frote húmedo y para este fin, se humedeció el testigo textil con una humedad de 65% con ayuda de la balanza analítica Pioneer del Laboratorio N°24, posteriormente se continuó con el mismo procedimiento de solidez al frote seco y se finalizó con el secado del testigo a temperatura ambiente. Finalmente se realizó la evaluación en la cabina de luces con luz de día D65, usando la escala de grises correspondientes.

Figura 22

Método de ensayo de Solidez al frote de las muestras teñidas



Nota. Elaboración propia basada en el Frictómetro HTN-24P ubicado en el Laboratorio N°24.

3.3.3. Solidez a la sublimación

La solidez a la sublimación se realizó a cada muestra teñida con baño madre y de reúso, y se utilizó una máquina para esta evaluación del Laboratorio N°24, como se puede observar en la Figura 23, mediante el método de ensayo AATCC TM117, y se realizó a las temperaturas de 150 °C y 180 °C.

Se procedió con el encendido y programación de la máquina de sublimación a una temperatura de 150 °C y tiempo de 30 s, la temperatura de la máquina al encenderla se encontró aproximadamente a 24°C por lo que se esperó para el calentamiento de esta, siendo su gradiente de calentamiento aproximadamente 3 °C/min, al mismo tiempo se procedió a la preparación de la probeta, se cortó la muestra textil a una dimensión de 10 cm x 4 cm, tamaño del dispositivo de calentamiento del equipo de sublimación. Asimismo, se cortó con las mismas dimensiones una muestra textil no teñida del mismo material teñido, 100% poliéster, y la multifibra DW. Posteriormente, entre estas se colocó la muestra teñida.

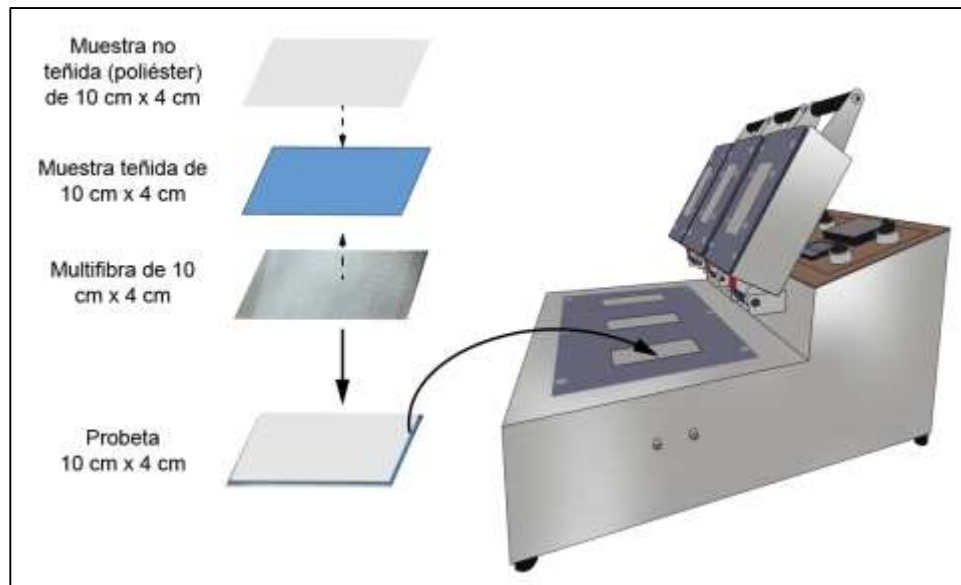
Finalizado el calentamiento de la máquina se colocó la probeta en el dispositivo de calentamiento por 30 s y a una presión de 4 ± 1 kPa. Posteriormente esta fue retirada del dispositivo y se dejó en reposo por 4 h a una temperatura y humedad relativa ambiente debido que en el momento no se contó con un acondicionador de muestras.

Se procedió a incrementar la temperatura a 180 °C y se realizó el mismo procedimiento que el de 150 °C.

Finalmente se realizó la evaluación en la cabina de luces con luz de día D65, usando la escala de grises correspondientes.

Figura 23

Método de ensayo de Solidez a la sublimación de las muestras teñidas



Nota. Elaboración propia en base al equipo de solidez a la sublimación Labtec 333-1II ubicado en el Laboratorio N°24.

Capítulo IV. Resultados y Discusión de Resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos del ahorro de agua, auxiliares, evaluación de color, solidez al lavado, frote y sublimación del proceso de teñido disperso con baño madre y de reúso.

4.1. Ahorro en el consumo de agua

La Tabla 9 y Figura 24 muestran los litros de agua por kg de tela que se ahorró realizando los teñidos con reutilizaciones de baño. El porcentaje de absorción de la muestra textil fue de 400%, la cual presenta un alto porcentaje de absorción por tratarse de una tela de poliéster spum. Se obtuvo un 20%, 15% y 12% de ahorro total de agua en los colores claros, medio y oscuro respectivamente y como lo indicó Espejo & Gómez (2017), en planta se puede lograr ahorrar hasta 405,06 m³/año de agua.

Tabla 9

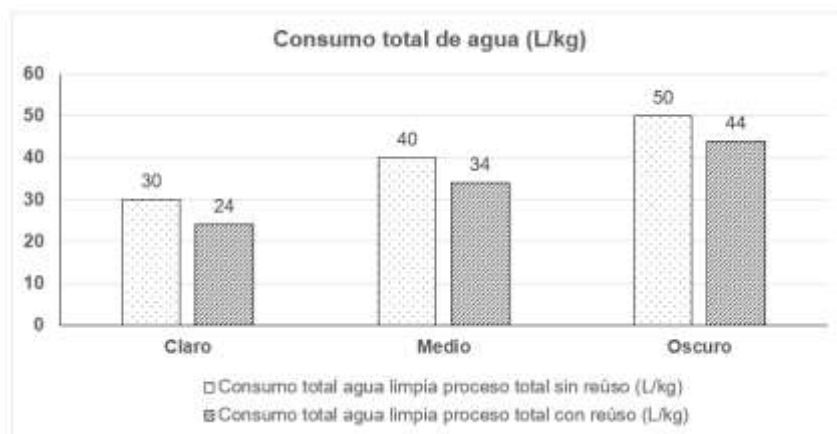
Ahorro de agua por reúso de baño de teñido disperso

Color	Tintura		Proceso posterior		Consumo total agua limpia proceso total sin reúso (L/kg)	Consumo total agua limpia proceso total con reúso (L/kg)	Ahorro (%)
	Consumo agua limpia baño madre (L/kg)	Consumo agua limpia baño de reúso (L/kg)	Cantidad de baños	Consumo agua limpia (L/kg)			
Claro	10	4	2	10	30	24	20%
Medio	10	4	3	10	40	34	15%
Oscuro	10	4	4	10	50	44	12%

Nota. Elaboración propia.

Figura 24

Reducción del consumo de agua por el reúso de baños



4.2. Ahorro de productos de teñido disperso

En la Tabla 10 se muestra el ahorro del único auxiliar utilizado en el proceso de teñido disperso, Compound PES, para los colores claro, medio y oscuro el cual se utilizó la misma cantidad en la receta para los tres colores, siendo esta 2 g/L en el teñido con baño madre y 0,8 g/L en el teñido con baño de reúso, significando un 60% de ahorros en auxiliares, un valor cercano al indicado por Chakraborty y Sharma (2001), donde el menciona un ahorro del 65-75% en auxiliares. Asimismo, Salazar (2014), concluyó que el gasto de auxiliares, que se emplea en el reúso de baño es mínimo en comparación al gasto de insumos en el baño madre.

Tabla 10

Ahorro en auxiliares de teñido color claro, medio y oscuro

Productos	Cantidad (g/L) Teñido con baño madre	Cantidad (g/L) Teñido con baño de reúso	Ahorro (g/L)	Ahorro (%)
Compound PES	2,0	0,8	1,20	60%

Nota. Elaboración propia. La cantidad utilizada de Compound PES en la receta de los colores claros, medios y oscuros fueron las misma tanto para el teñido con baño madre como de reúso.

4.3. Diferencia de color de las muestras teñidas

Se presenta en las Tablas 11, 12 y 13 los resultados colorimétricos de las lecturas realizadas en el espectrofotómetro, para el color claro, medio y oscuro respectivamente y en la Figura 25 visualmente sus resultados de color. Asimismo, se muestran sus curvas espectrales resultantes de cada uno de los colores en las Figuras 26, 27 y 28.

En la Tabla 11 para el color claro se presenta el $DE_{CMC(2:1)}$ de las lecturas realizadas en el espectrofotómetro entre el la muestra teñida con baño madre y las de reúso de baño, encontrándose valores por debajo de 1, valor que se maneja en la industria textil a nivel local y de exportación, con decisión PASA, a excepción del valor $DE_{CMC(2:1)}$ 2,81 de la muestra Reúso 1 - Rep2 que se encuentra muy por encima del promedio, esto debido a un error operativo.

Asimismo, en la Tablas 12 y 13 se presentan los resultados para los colores medio y oscuro donde se observa que todos los valores resultantes de $DE_{CMC(2:1)}$ también se encuentran por debajo de 1.

Por lo tanto, todos los resultados de la diferencia de color obtenidos para el caso del color negro se encontró por debajo de 0,5 siendo un valor aceptable como lo indicó Salazar (2014) que obtuvo valores $DE_{CMC(2:1)} \leq 0,5$, para los colores claro y medio se encontró por debajo de 1, resultados iguales indicados por Agudelo et al. (2009) donde las diferencias de color encontradas en su estudio también estuvieron en $DE_{CMC(2:1)} \leq 1$, excepto otras que se encontraron por encima de 1,5 por razones externas.

Tabla 11

Valores de diferencias de color para el color claro

Muestra	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	DE*	P/F
BM - Rep2	-0,46	0,14	0,18	0,23	0,00	0,51	PASA
Reúso 1 - Rep1	-0,34	-0,11	-0,12	-0,16	0,02	0,38	PASA
Reúso 1 - Rep2	0,11	-0,29	2,80	2,22	1,73	2,81	FALLA
Reúso 2 - Rep1	-0,22	-0,36	0,25	-0,01	0,44	0,49	PASA
Reúso 2 - Rep2	-0,17	-0,32	0,06	-0,14	0,29	0,36	PASA
Reúso 3 - Rep1	0,13	0,43	0,42	0,60	-0,08	0,62	PASA
Reúso 3 - Rep2	-0,42	0,00	0,03	0,02	0,02	0,42	PASA
Reúso 4 - Rep1	0,01	0,09	0,62	0,55	0,29	0,62	PASA
Reúso 4 - Rep2	-0,50	-0,03	-0,11	-0,11	-0,05	0,51	PASA
Reúso 5 - Rep1	-0,13	-0,13	0,62	0,43	0,47	0,65	PASA
Reúso 5 - Rep2	0,14	0,34	0,31	0,46	-0,08	0,48	PASA
Reúso 6 - Rep1	-0,28	-0,25	0,29	0,09	0,37	0,47	PASA
Reúso 6 - Rep2	-0,35	-0,05	0,16	0,12	0,12	0,38	PASA
Promedio						0,67	

Nota. DL*: (+) más claro/ (-) más intenso. Da*: (+) más rojo / (-) más verde. Db*: (+) más amarillo / (-) más azul. DH*: Tonalidad del color. DC*: (+) más limpio / (-) más opaco o sucio. DE*: Diferencia de color CMC. Lecturas extraídas del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1. Muestra tomada como estándar de color BM – Rep1: Baño madre, repetición 1 y las muestras tomadas como lote de color BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 6.

Tabla 12*Valores de diferencias de color para el color medio*

Muestra	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	DE*	P/F
BM - Rep2	-0,26	-0,13	0,27	-0,21	-0,21	0,40	PASA
Reúso 1 - Rep1	-0,36	-0,21	-0,18	0,23	-0,14	0,45	PASA
Reúso 1 - Rep2	0,22	0,05	-0,35	0,32	0,16	0,42	PASA
Reúso 2 - Rep1	-0,33	0,05	-0,01	0,00	0,05	0,33	PASA
Reúso 2 - Rep2	-0,39	0,02	-0,13	0,12	0,06	0,41	PASA
Reúso 3 - Rep1	-0,24	-0,02	0,04	-0,03	-0,03	0,24	PASA
Reúso 3 - Rep2	0,14	0,19	-0,26	0,19	0,26	0,35	PASA
Reúso 4 - Rep1	-0,20	-0,20	-0,11	0,17	-0,15	0,30	PASA
Reúso 4 - Rep2	-0,12	-0,38	0,19	-0,06	-0,42	0,44	PASA
Reúso 5 - Rep1	-0,29	-0,18	-0,39	0,42	-0,04	0,51	PASA
Reúso 5 - Rep2	-0,30	0,18	-0,44	0,36	0,30	0,56	PASA
Reúso 6 - Rep1	-0,17	-0,12	-0,21	0,24	-0,05	0,29	PASA
Reúso 6 - Rep2	0,12	-0,21	-0,04	0,11	-0,19	0,25	PASA
Reúso 7 - Rep1	-0,84	-0,11	0,05	-0,01	-0,12	0,85	PASA
Reúso 7 - Rep2	-0,47	-0,12	0,02	0,02	-0,12	0,49	PASA
Promedio						0,39	

Nota. Nota. DL*: (+) más claro/ (-) más intenso. Da*: (+) más rojo / (-) más verde. Db*: (+) más amarillo / (-) más azul. DH*: Tonalidad del color. DC*: (+) más limpio / (-) más opaco o sucio. DE*: Diferencia de color CMC. Lecturas extraídas del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1. Muestra tomada como estándar de color BM – Rep1: Baño madre, repetición 1 y las muestras tomadas como lote de color BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 7.

Tabla 13*Valores de diferencias de color para el color oscuro*

Muestra	DL*	Da*	Db*	DC*	DH*	DE*	P/F
BM - Rep2	0,06	0,00	0,01	-0,01	-0,01	0,06	PASA
Reúso 1 - Rep1	0,02	0,05	-0,12	0,05	0,12	0,13	PASA
Reúso 1 - Rep2	-0,04	0,12	-0,13	0,01	0,18	0,18	PASA
Reúso 2 - Rep1	0,11	0,24	-0,11	-0,08	0,25	0,28	PASA
Reúso 2 - Rep2	0,11	0,27	-0,15	-0,07	0,30	0,33	PASA
Reúso 3 - Rep1	0,00	0,27	-0,17	-0,06	0,32	0,32	PASA
Reúso 3 - Rep2	-0,10	0,31	-0,25	-0,02	0,40	0,41	PASA
Reúso 4 - Rep1	0,09	0,24	-0,16	-0,04	0,29	0,31	PASA
Reúso 4 - Rep2	-0,14	0,32	-0,17	-0,09	0,35	0,39	PASA
Reúso 5 - Rep1	-0,06	0,27	-0,13	-0,09	0,28	0,30	PASA
Reúso 5 - Rep2	0,07	0,22	-0,06	-0,11	0,21	0,24	PASA
Reúso 6 - Rep1	0,11	0,18	-0,04	-0,09	0,15	0,21	PASA
Reúso 6 - Rep2	0,25	0,28	-0,14	-0,08	0,30	0,40	PASA
Reúso 7 - Rep1	0,31	0,28	-0,08	-0,14	0,26	0,43	PASA
Reúso 7 - Rep2	0,21	0,28	-0,01	-0,18	0,21	0,35	PASA
Promedio						0,31	

Nota. Nota. DL*: (+) más claro/ (-) más intenso. Da*: (+) más rojo / (-) más verde. Db*: (+) más amarillo / (-) más azul. DH*: Tonalidad del color. DC*: (+) más limpio / (-) más opaco o sucio. DE*: Diferencia de color CMC. Lecturas extraídas del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1. Muestra tomada como estándar de color BM – Rep1: Baño madre, repetición 1 y las muestras tomadas como lote de color BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 7.

Figura 25

Resultado de las muestras teñidas color claro, medio y oscuro

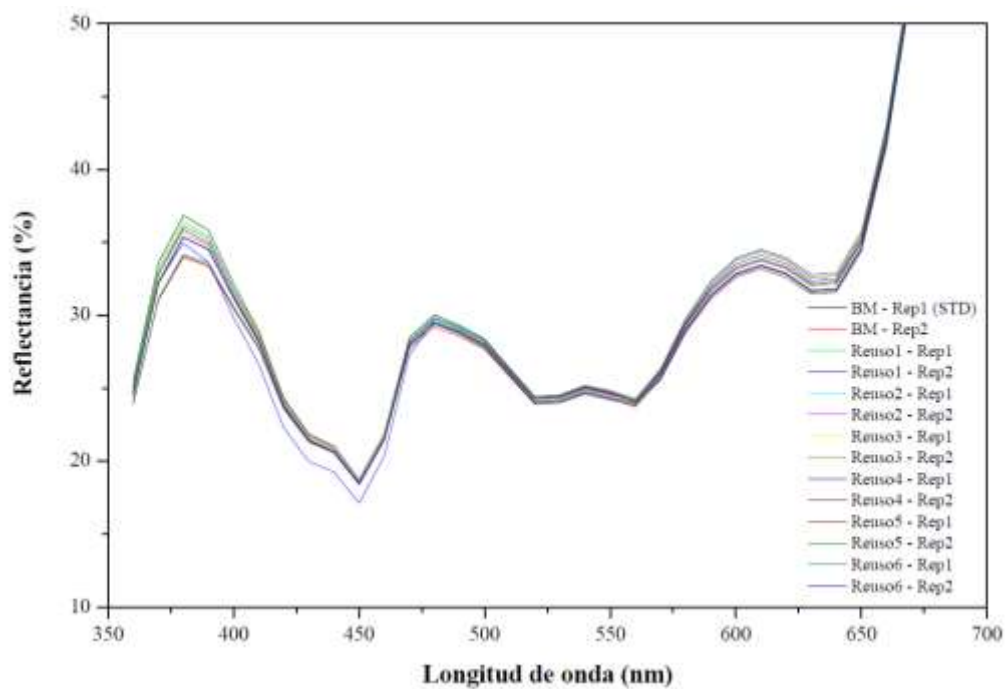


Nota. De izquierda a derecha se observan las muestras teñidas por duplicado con baño madre y de reúso, en la máquina de teñido HTN-24P.

Las curvas de reflectancia resultantes, de cada color, se muestran en las Figuras 26, 27 y 28, las cuales se encuentran en un intervalo de longitud de onda de 360 nm – 700 nm. Estas curvas son muy similares en su comportamiento para cada color, en el caso del color claro, como se mencionó líneas arriba por un error de dispensado en la receta de la muestra Reúso 1 - Rep2, hay una curva que se encuentra diferente al resto de curvas espectrales, el resto de las curvas son muy similares entre sí.

Figura 26

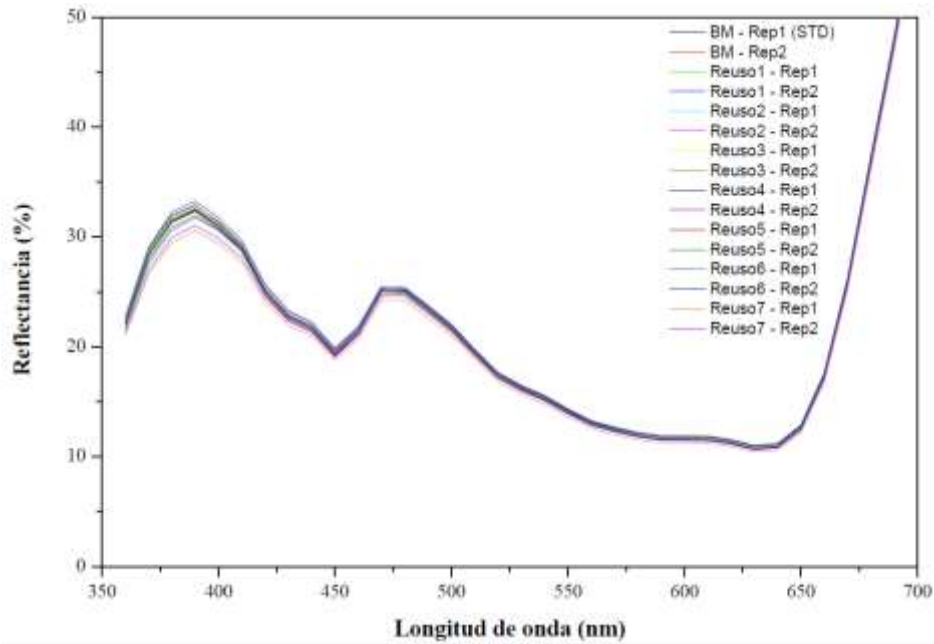
Curva de reflectancia color claro



Nota. Curva espectral elaborada a partir de los datos extraídos espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1 para el color claro teñido con BM – Rep1: Baño madre, repetición 1. BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 6.

Figura 27

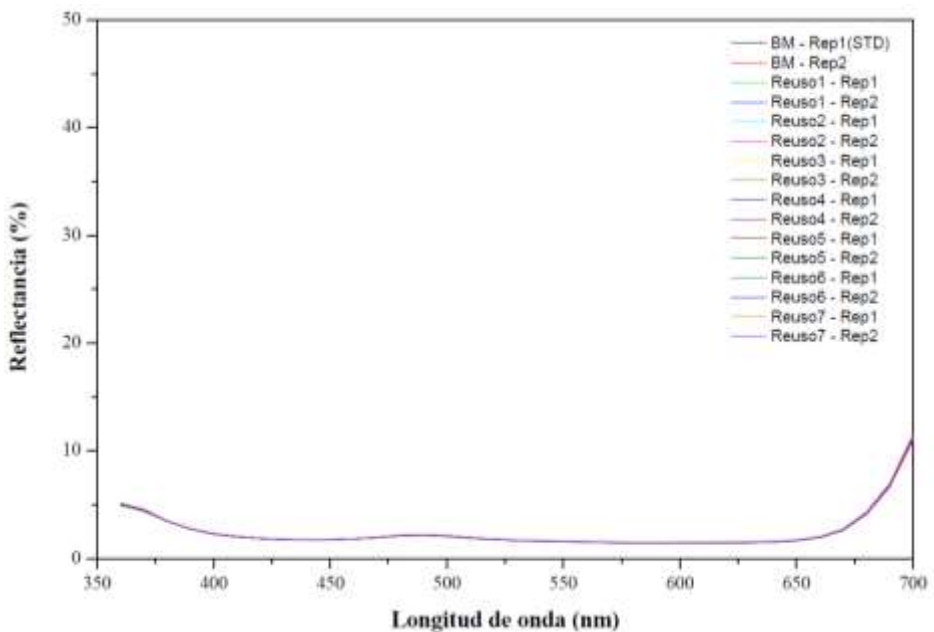
Curva de reflectancia color medio



Nota. Curva espectral elaborada a partir de los datos extraídos del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1 para el color medio teñido con BM – Rep1: Baño madre, repetición 1. BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 7.

Figura 28

Curva de reflectancia color claro

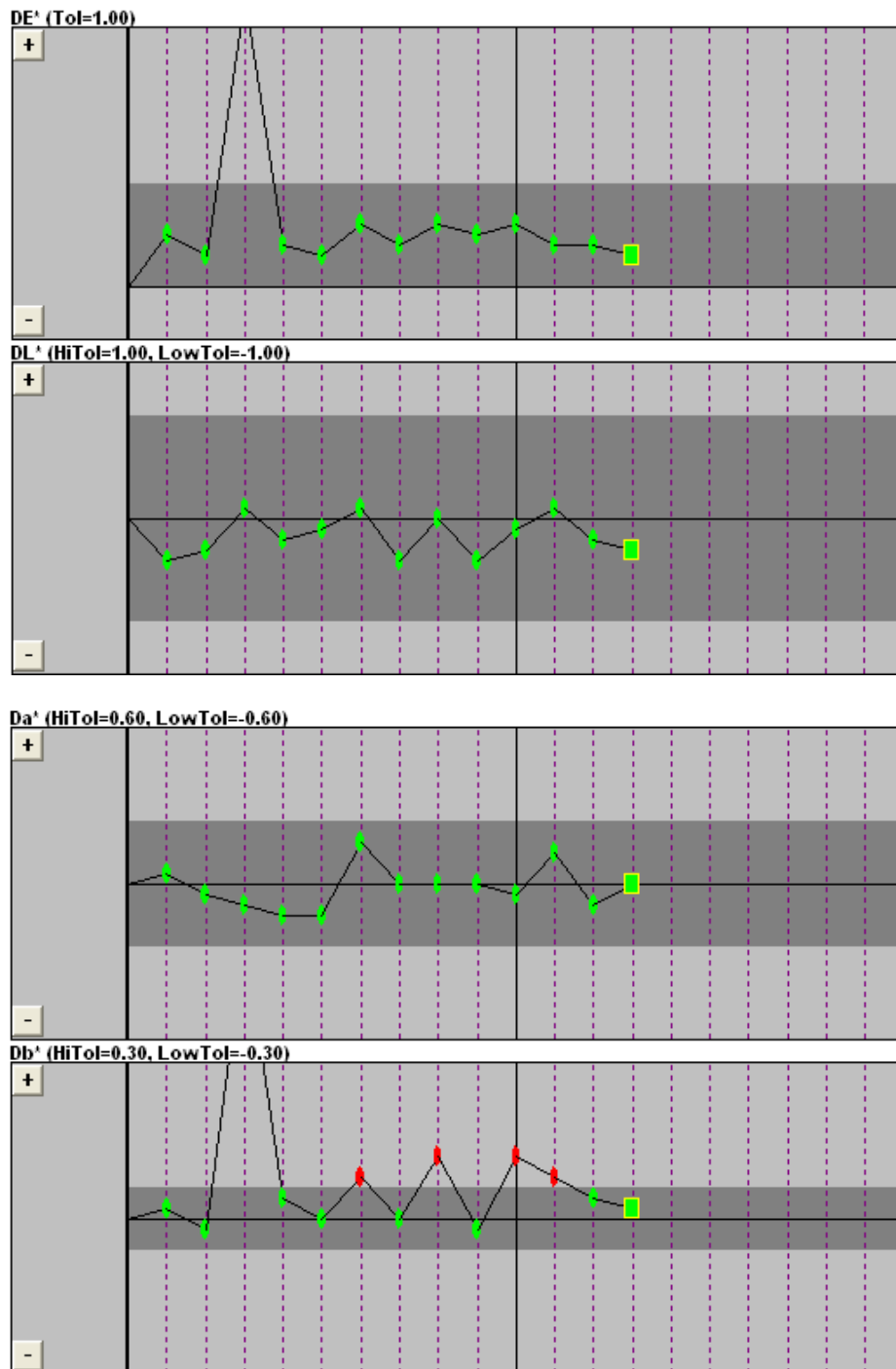


Nota. Curva espectral elaborada a partir de los datos extraídos del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1 para el color medio teñido con BM – Rep1: Baño madre, repetición 1. BM – Rep2: Baño madre, repetición 2. Reuso1 – Rep1: Reúso1, repetición1. Reuso1 – Rep2: Reúso 1, repetición 2 y así hasta el reúso de baño 7.

Asimismo, se obtuvo las gráficas de tendencia, como se visualiza en las Figuras 29, 30 y 31, para los colores claro, medio y oscuro.

Figura 29

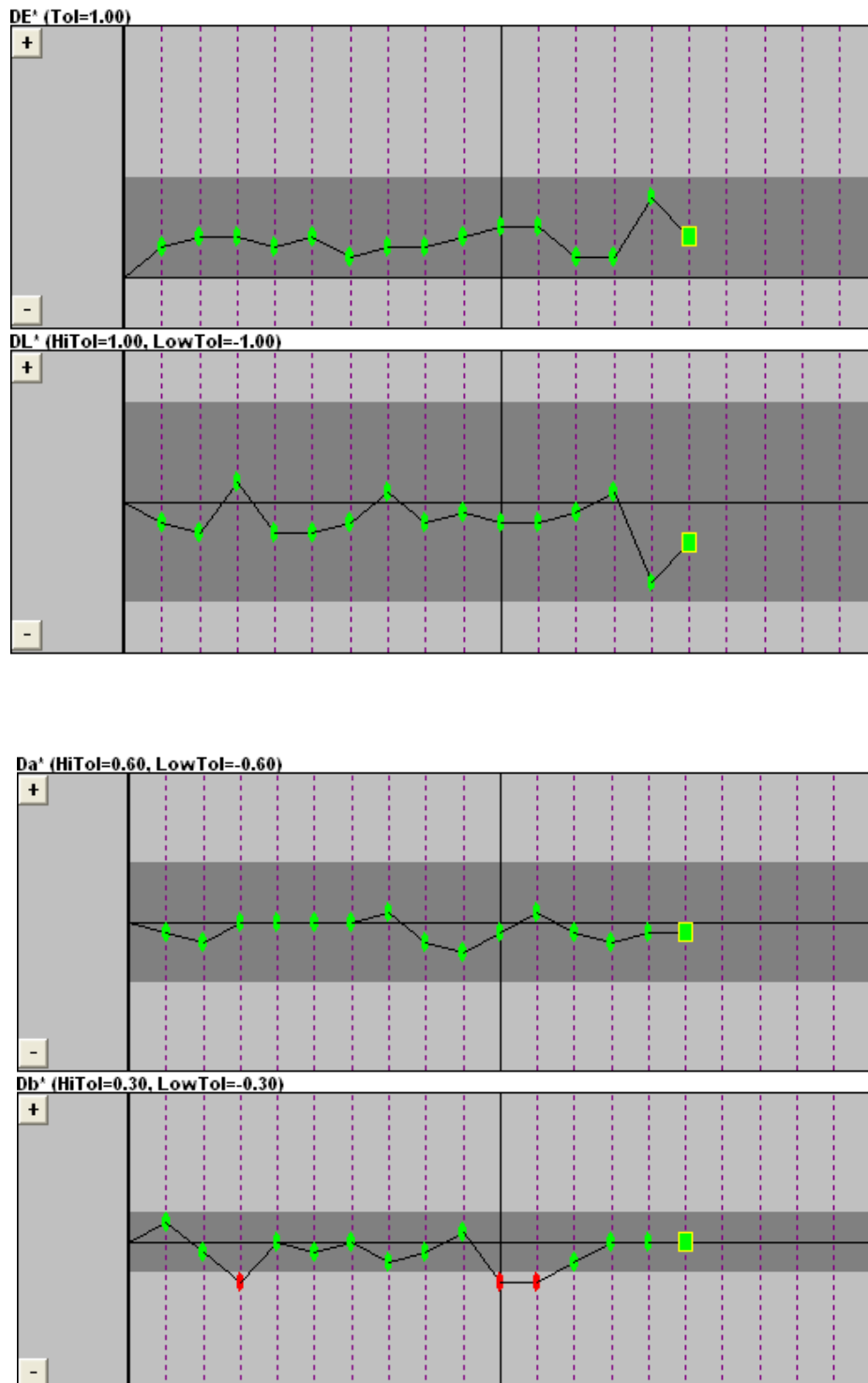
Diagramas de tendencia color claro



Nota. Gráfica de tendencia para el color claro de los DE*, DL*, Da* y Db* a partir de los datos extraídos del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1.

Figura 30

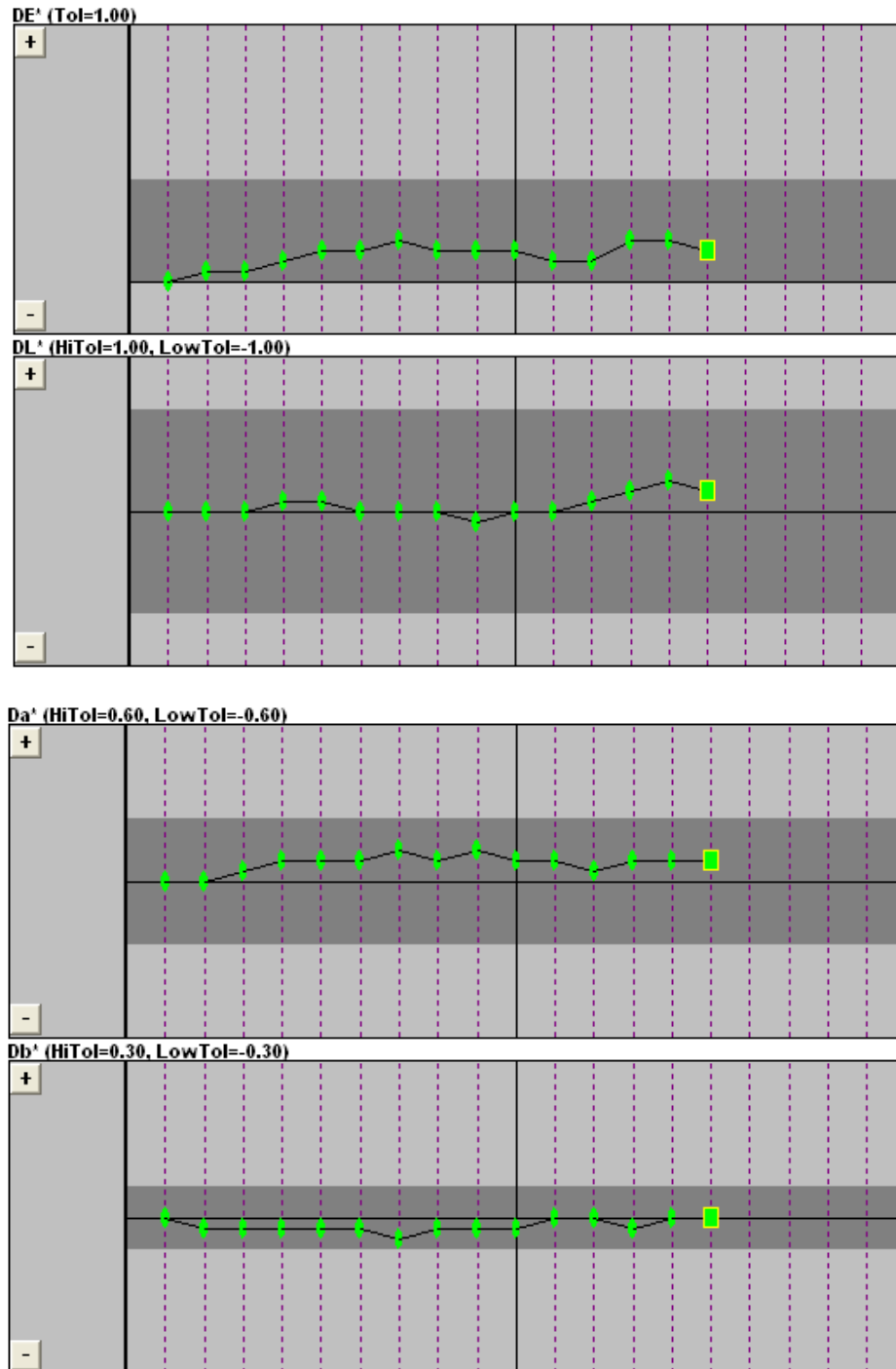
Diagramas de tendencia color medio



Nota. Gráfica de tendencia para el color medio de los DE*, DL*, Da* y Db* a partir de los datos extraídos del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1.

Figura 31

Diagramas de tendencia color oscuro



Nota. Gráfica de tendencia para el color oscuro de los DE*, DL*, Da* y Db* a partir de los datos extraídos del espectrofotómetro Datacolor SF-550 software color tools versión 1.1.

4.4. Exactitud, precisión y consistencia del color de las muestras teñidas

La Tabla 14 muestra los resultados estadísticos y en las Figuras 32, 33 y 34 los diagramas DE cmc para los colores claro, medio y oscuro. El análisis del presente numeral se realizó considerando el DEcmc promedio (μ) y desviación estándar (σ) de las lecturas de cada una de las muestras. Para el diagrama DEcmc del color claro se descartó por un error operativo, la lectura de la muestra Reúso 1 - Rep2 para efectos de análisis. En la Figura 32 se observa que el teñido del color claro fue preciso, pero medianamente exacto y por lo tanto no tuvo una buena consistencia de color, siendo estrictos con el proceso, sin embargo, tratándose de un color claro y complicado, estos resultados a nivel comercial son aprobados.

La Figura 33 muestra el diagrama DEcmc del color medio, este resultado a diferencia del color del color claro, si fue preciso, con mayor exactitud y una mejor consistencia de color. Los resultados de este color a nivel comercial son aprobados.

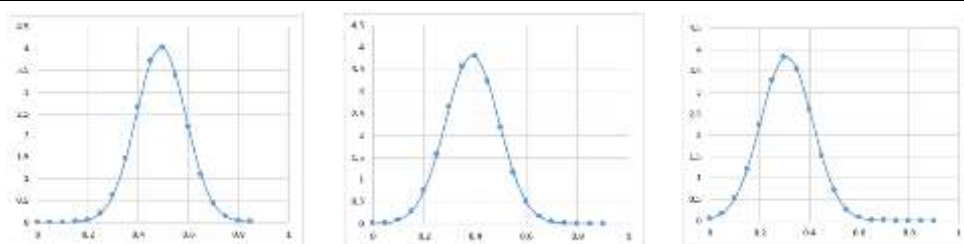
Finalmente, la Figura 34 muestra el diagrama DEcmc del color oscuro y en comparación del color claro y medio, se observa exactitud, precisión y consistencia del color.

Tabla 14

Resultados estadísticos

Color	Claro	Medio	Oscuro
DEcmc promedio (μ)	0.49	0.39	0.31
Desviación Estándar (σ)	0.10	0.10	0.10
$\mu + 3\sigma$	0.79	0.70	0.62

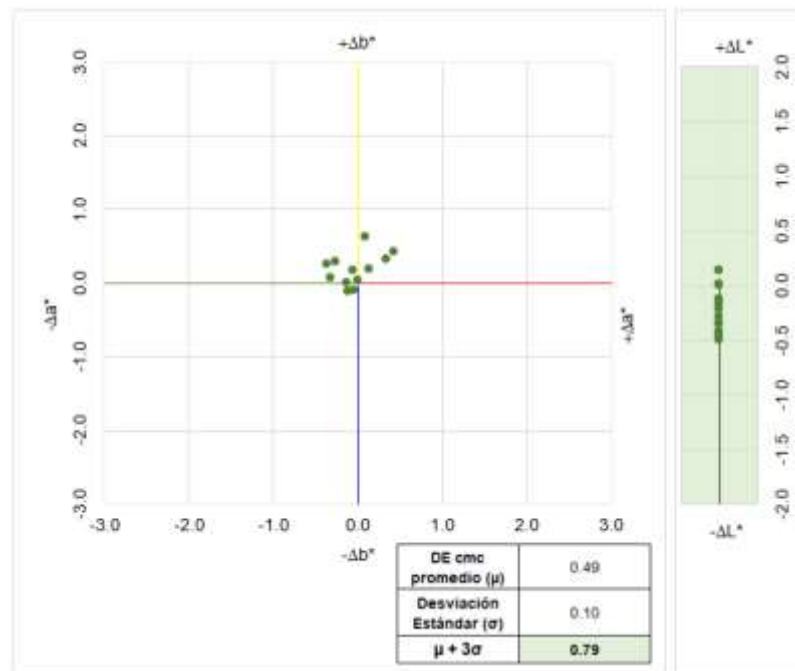
Gráfico



Nota. Basado en *How to control and improve your color range*, por Natic news, 2015. El 99.72 % de los resultados, $\mu + 3\sigma = 0.79$ color claro, $\mu + 3\sigma = 0.70$ color medio y $\mu + 3\sigma = 0.62$ color oscuro, se encuentran por debajo de 1, valor comercialmente aceptado.

Figura 32

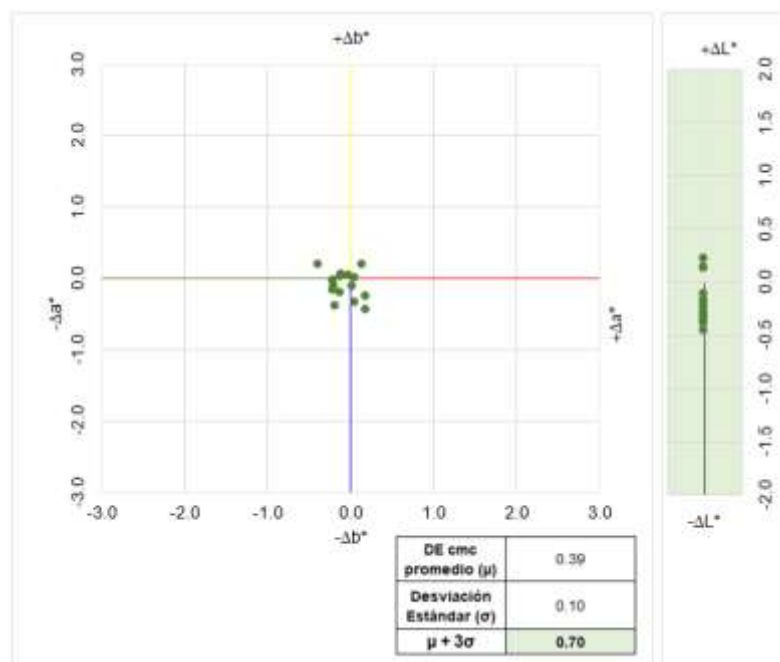
Representación del diagrama DE cmc, color claro



Nota. Elaboración propia. Los puntos del diagrama hacen referencia al DEcmc de cada muestra leída del color claro.

Figura 33

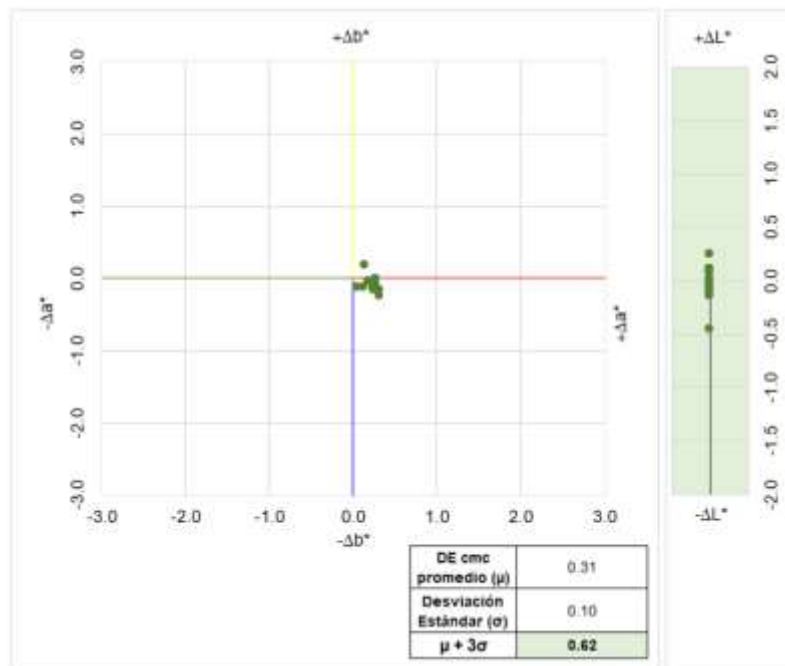
Representación del diagrama DE cmc, color medio



Nota. Elaboración propia. Los puntos del diagrama hacen referencia al DEcmc de cada muestra leída del color medio.

Figura 34

Representación del diagrama DE cmc, color oscuro



Nota. Elaboración propia. Los puntos del diagrama hacen referencia al DEcmc de cada muestra leída del color oscuro.

4.5. Comparación de solidez de las muestras teñidas

Se presentan los resultados de calidad, obtenidos mediante métodos de ensayos estandarizados, para las solidez al lavado, frote y sublimación de las muestras teñidas con baño madre y de reúso, considerando que un resultado con valor de 5 es un valor muy bueno y 1 un valor muy malo.

4.5.1. Solidez al lavado

Las Tablas 15, 16 y 17 y las Figuras 35, 36 y 37 muestran los resultados de solidez obtenidos para los tres colores. Para el color claro, según la Tabla 15, se observa que el resultado promedio de cambio de color es de 5 así como para transferencia de color 5, siendo estos valores muy buenos.

En las Tablas 16 y 17 para los colores medio y oscuro, los resultados de cambio de color son de 5 en promedio y para transferencia de color un promedio de 4-5, siendo estos resultados también muy buenos y aceptados comercialmente.

Finalmente se puede observar que la solidez al lavado de las muestras teñidas, para los colores claro, medio y oscuro se mantienen con respecto a la teñida con baño madre y último baño de reúso.

Tabla 15

Resultados numéricos de solidez al lavado, color claro

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color multifibra DW					
		Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 1	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 2	5	5	5	5	5	5	5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 16

Resultados numéricos de solidez al lavado, color medio

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color multifibra DW					
		Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 1 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 1 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 2 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 2 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 3 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 3 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 4 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 4 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 5 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 5 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 6 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 6 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 7 - Rep 1	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 7 - Rep 2	5	5	5	4-5	4-5	4-5	4-5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 17

Resultados numéricos de solidez al lavado, color oscuro

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color multifibra DW					
		Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 1 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 1 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 2 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 2 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 3 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 3 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 4 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 4 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 5 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 5 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 6 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 6 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 7 - Rep 1	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5
Reúso 7 - Rep 2	5	4-5	5	4-5	4-5	5	4-5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Figura 35

Solidez al lavado color claro



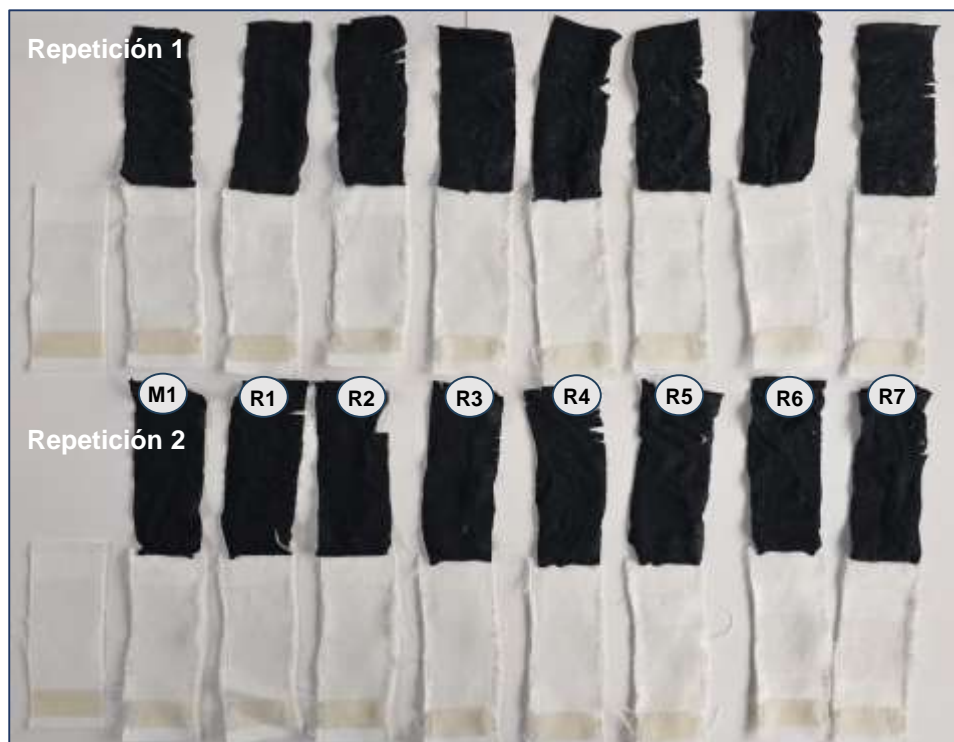
Figura 36

Solidez al lavado color medio



Figura 37

Solidez al lavado color oscuro



4.5.2. Solidez al frote

Los resultados se muestran en las Tablas 18, 19 y 20 y en las Figuras 38, 39 y 40. Para el color claro, según la Tabla 18, se observa que el resultado promedio para transferencia de color es 5 en seco y húmedo, siendo estos valores muy buenos.

En la Tabla 19, los resultados de solidez al frote promedio, para el color medio, en seco fue de 5 y en húmedo de 4-5 siendo resultados buenos, con respecto al frote en húmedo es normal el comportamiento que este sea de menor valor que solidez al frote en seco para estos colores.

En la Tabla 20 para el color oscuro, los resultados de transferencia de color promedio de la solidez al frote seco fue 4-5 y húmedo 4, siendo valores muy buenos para tratarse de un color negro.

Finalmente se observa que la solidez al frote seco y húmedo para los colores claro, medio y oscuro, de las muestras teñidas con baño de reúso, se mantienen comparables respecto a las teñidas con baño madre.

Tabla 18

Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color claro

Muestra	Transferencia de color	
	Seco	Húmedo
BM - Rep 2	5	5
Reúso 1 - Rep 1	5	5
Reúso 1 - Rep 2	5	5
Reúso 2 - Rep 1	5	5
Reúso 2 - Rep 2	5	5
Reúso 3 - Rep 1	5	5
Reúso 3 - Rep 2	5	5
Reúso 4 - Rep 1	5	5
Reúso 4 - Rep 2	5	5
Reúso 5 - Rep 1	5	5
Reúso 5 - Rep 2	5	5
Reúso 6 - Rep 1	5	5
Reúso 6 - Rep 2	5	5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises transferencia de color.

Tabla 19*Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color medio*

Muestra	Transferencia de color	
	Seco	Húmedo
BM - Rep 2	5	4-5
Reúso 1 - Rep 1	5	4-5
Reúso 1 - Rep 2	5	4-5
Reúso 2 - Rep 1	5	4-5
Reúso 2 - Rep 2	5	4-5
Reúso 3 - Rep 1	5	4-5
Reúso 3 - Rep 2	5	4-5
Reúso 4 - Rep 1	5	4-5
Reúso 4 - Rep 2	5	4-5
Reúso 5 - Rep 1	5	4-5
Reúso 5 - Rep 2	5	4-5
Reúso 6 - Rep 1	5	4-5
Reúso 6 - Rep 2	5	4-5
Reúso 7 - Rep 1	5	4-5
Reúso 7 - Rep 2	5	4-5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises transferencia de color.

Tabla 20*Resultados numéricos de solidez al frote seco y húmedo, color oscuro*

Muestra	Transferencia de color	
	Seco	Húmedo
BM - Rep 2	4-5	4
Reúso 1 - Rep 1	4-5	4
Reúso 1 - Rep 2	4-5	4
Reúso 2 - Rep 1	4-5	4
Reúso 2 - Rep 2	4-5	4
Reúso 3 - Rep 1	4-5	4
Reúso 3 - Rep 2	4-5	4
Reúso 4 - Rep 1	4-5	4
Reúso 4 - Rep 2	4-5	4
Reúso 5 - Rep 1	4-5	4
Reúso 5 - Rep 2	4-5	4
Reúso 6 - Rep 1	4-5	4
Reúso 6 - Rep 2	4-5	4
Reúso 7 - Rep 1	4-5	4
Reúso 7 - Rep 2	4-5	4

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises transferencia de color.

Figura 38

Solidez al frote seco y húmedo color claro

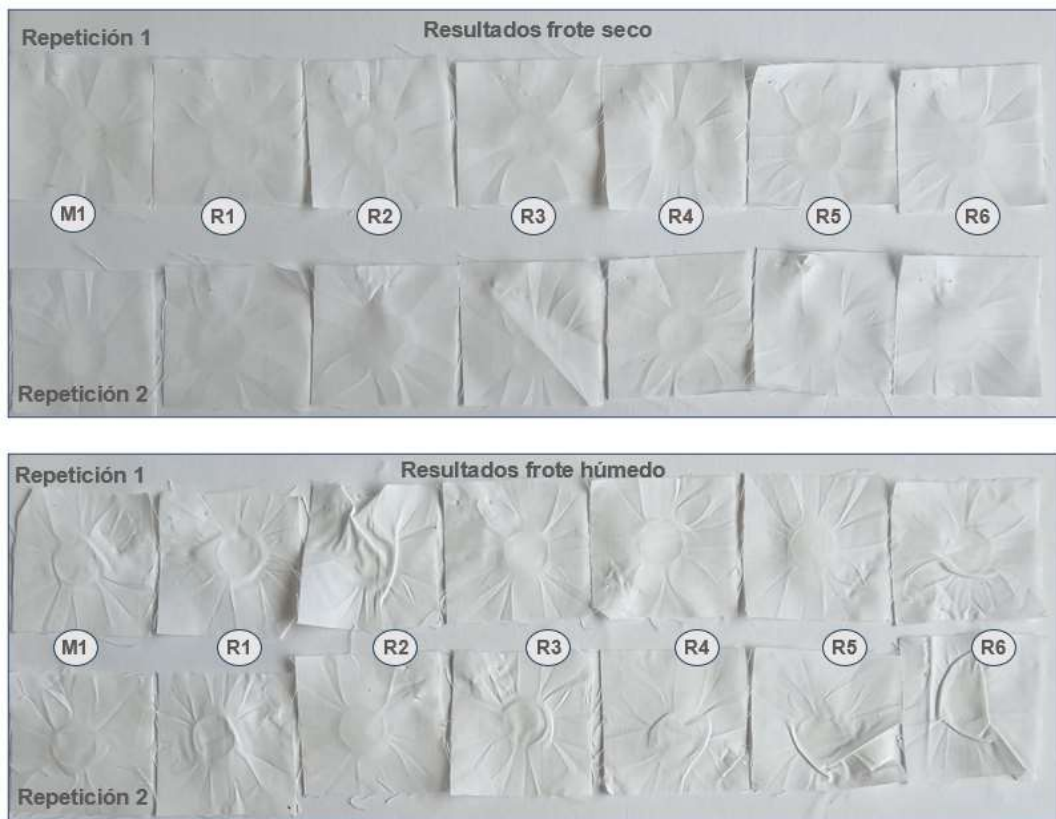


Figura 39

Solidez al frote seco y húmedo color medio

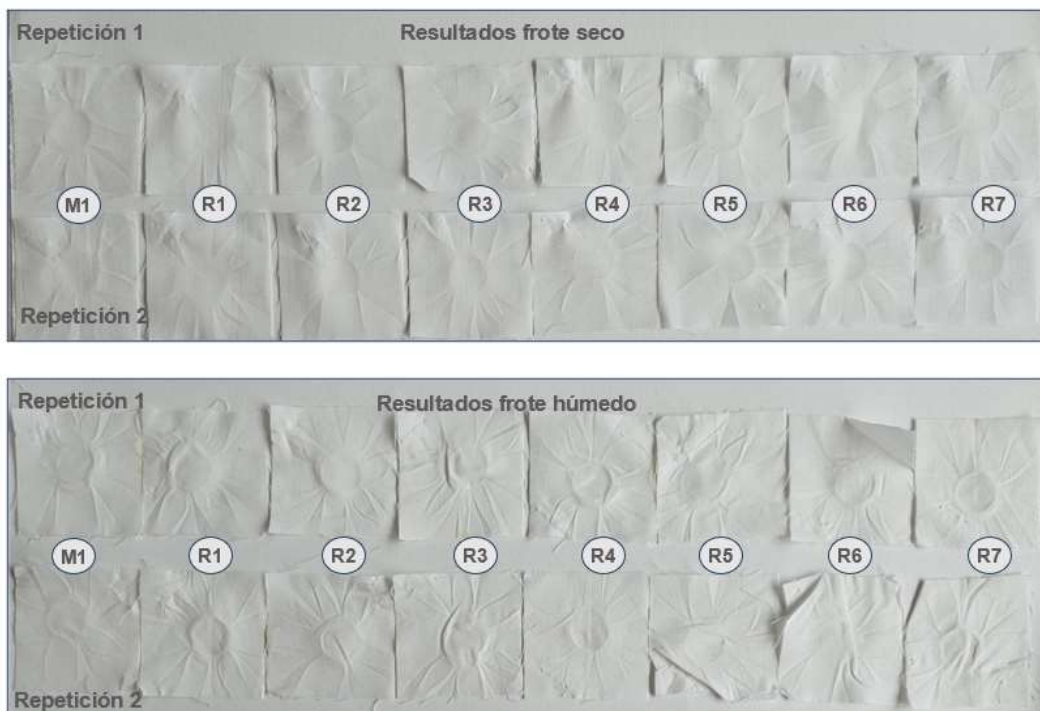
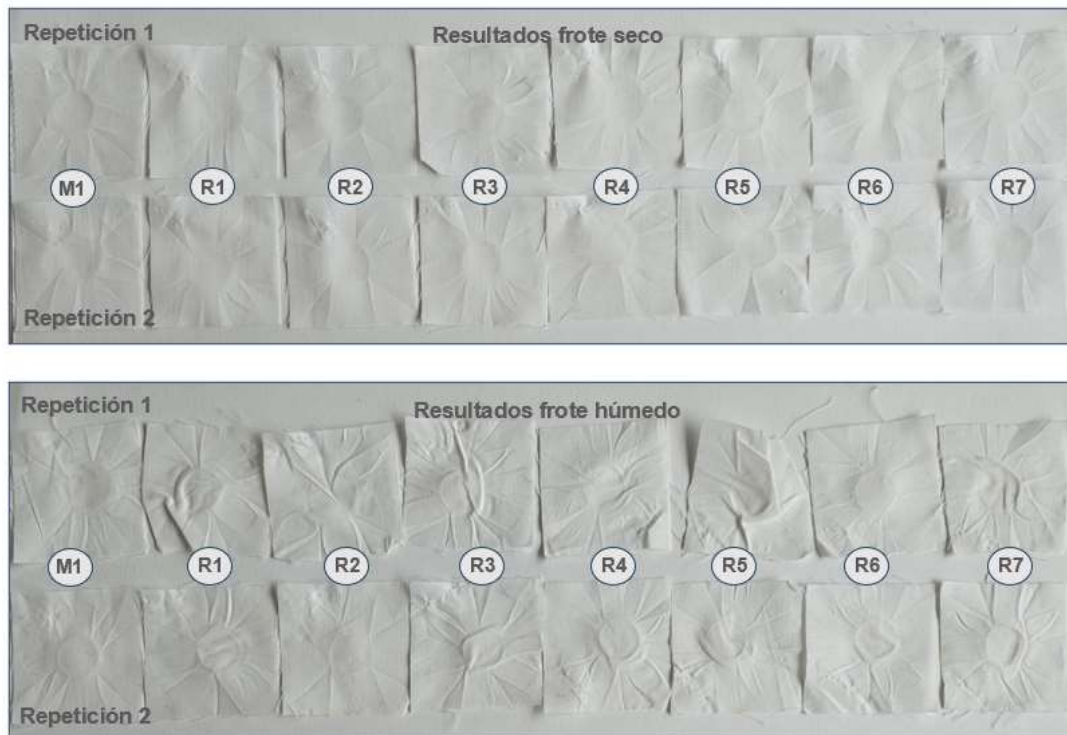


Figura 40

Solidez al frote seco y húmedo color oscuro



4.5.3. Solidez a la sublimación

En las Tablas 21, 22 y 23 y en las Figuras 41,42 y 43 se visualizan los resultados de la solidez a la sublimación a 150°C para los colores claro, medio y oscuro. Los resultados tanto para el color claro, medio y oscuro con respecto al cambio de color se encuentran en un promedio de 4-5 siendo buenos resultados, para la transferencia de color al testigo blanco de poliéster, los tres colores tuvieron resultados de 5, excelentes y este último resultado también se obtuvo para la transferencia de color a la multifibra DW en los colores claro y medio.

Para el color oscuro el resultado transferencia de color a la multifibra DW solo en el caso de la fibra de poliamida fue de 4-5 que es un valor bueno y el resto de las fibras estuvieron en 5.

Finalmente se observa que la solidez a la sublimación a 150°C de las muestras teñidas con baño de reúso, para los colores claro, medio y oscuro se mantienen comparables respecto a la muestra teñida con baño madre.

Tabla 21*Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color claro a 150°C*

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 22*Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color medio a 150°C*

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 7 - Rep 1	4-5	5	5	5	5	5	5	5
Reúso 7 - Rep 2	4-5	5	5	5	5	5	5	5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 23*Resultados numéricos de solidez a la sublimación, color oscuro a 150°C*

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 1 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 2 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 3 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 4 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 5 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 6 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 7 - Rep 1	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5
Reúso 7 - Rep 2	4-5	5	5	5	4-5	5	5	5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Figura 41

Solidez a la sublimación a 150°C color claro

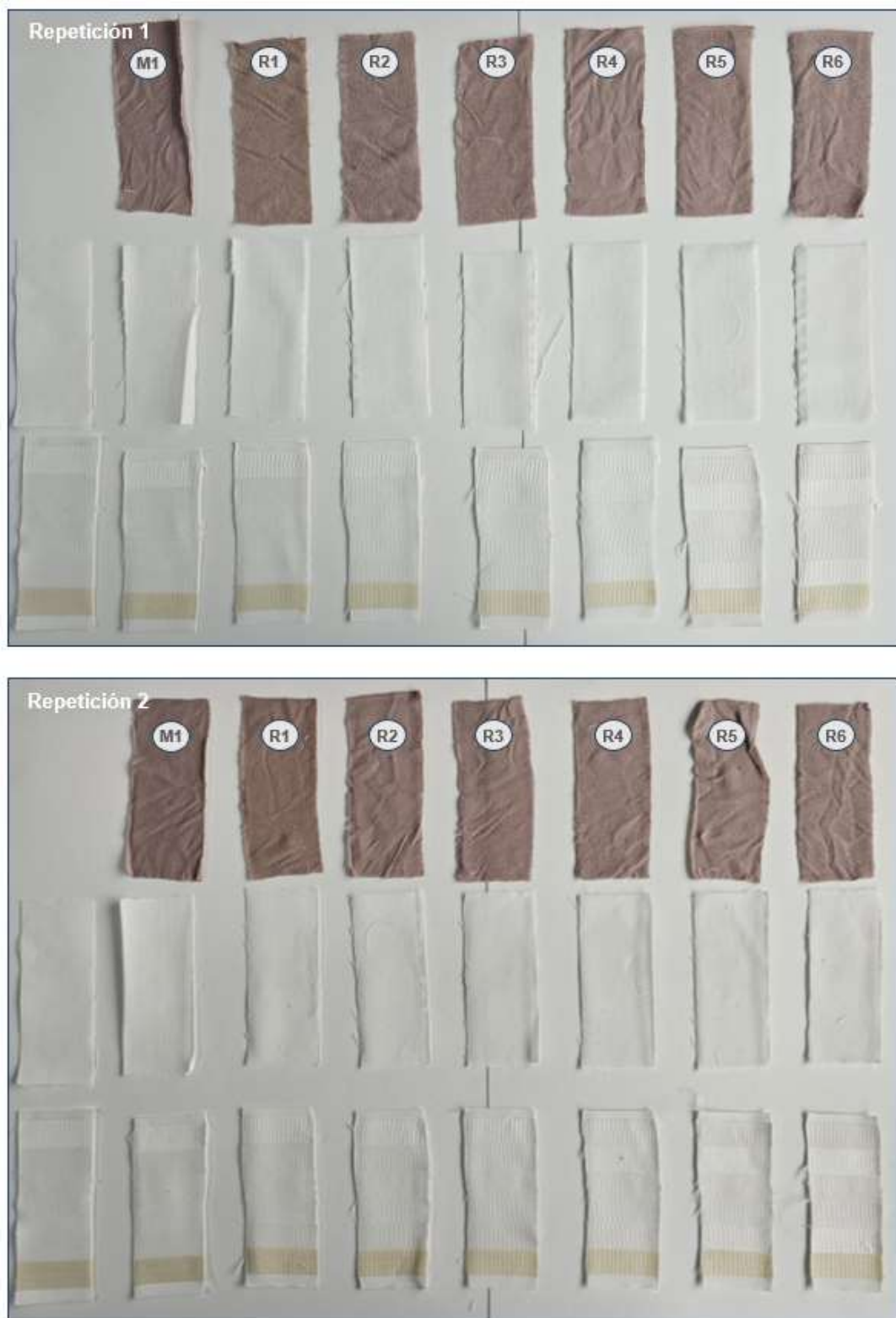


Figura 42

Solidez a la sublimación a 150°C color medio

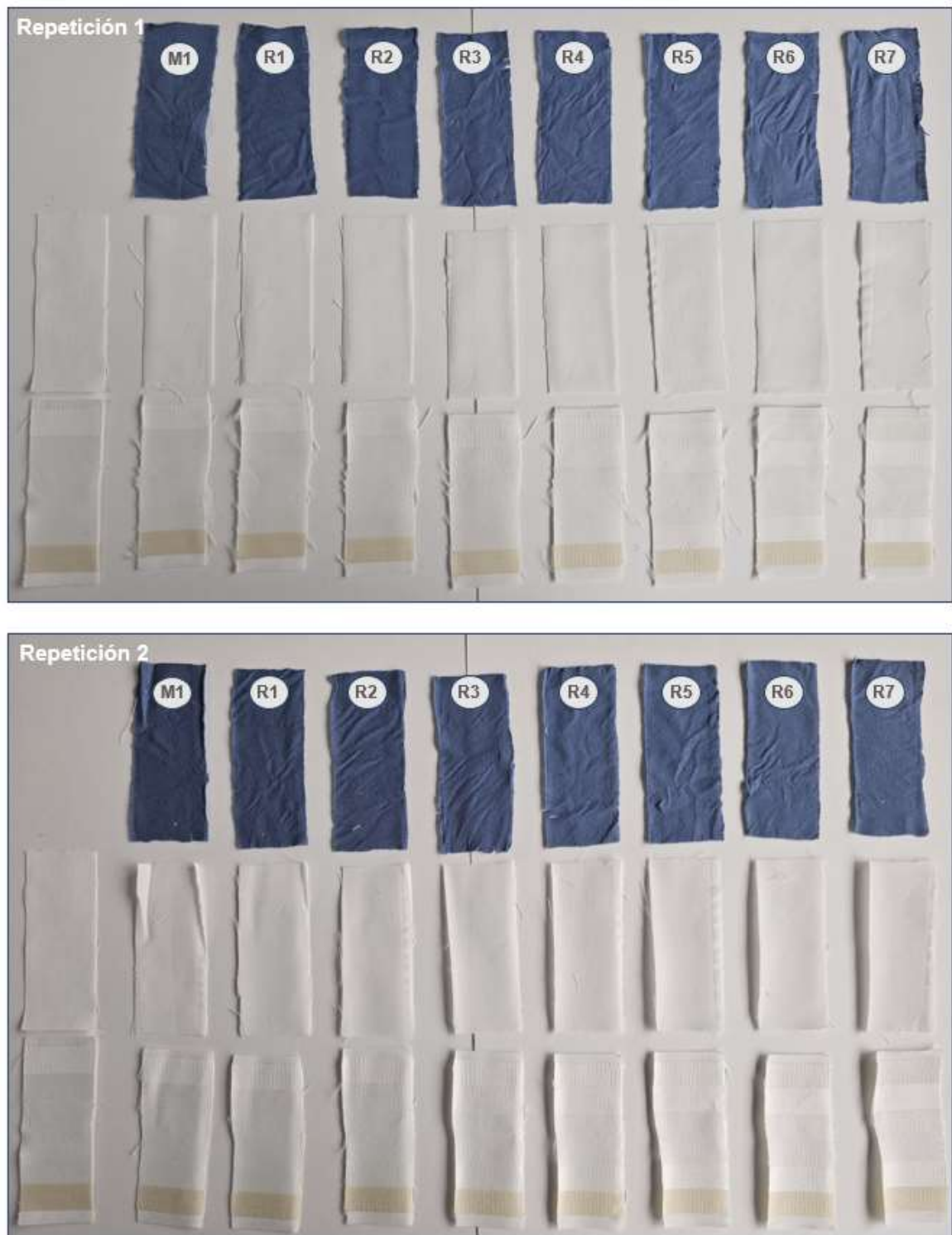
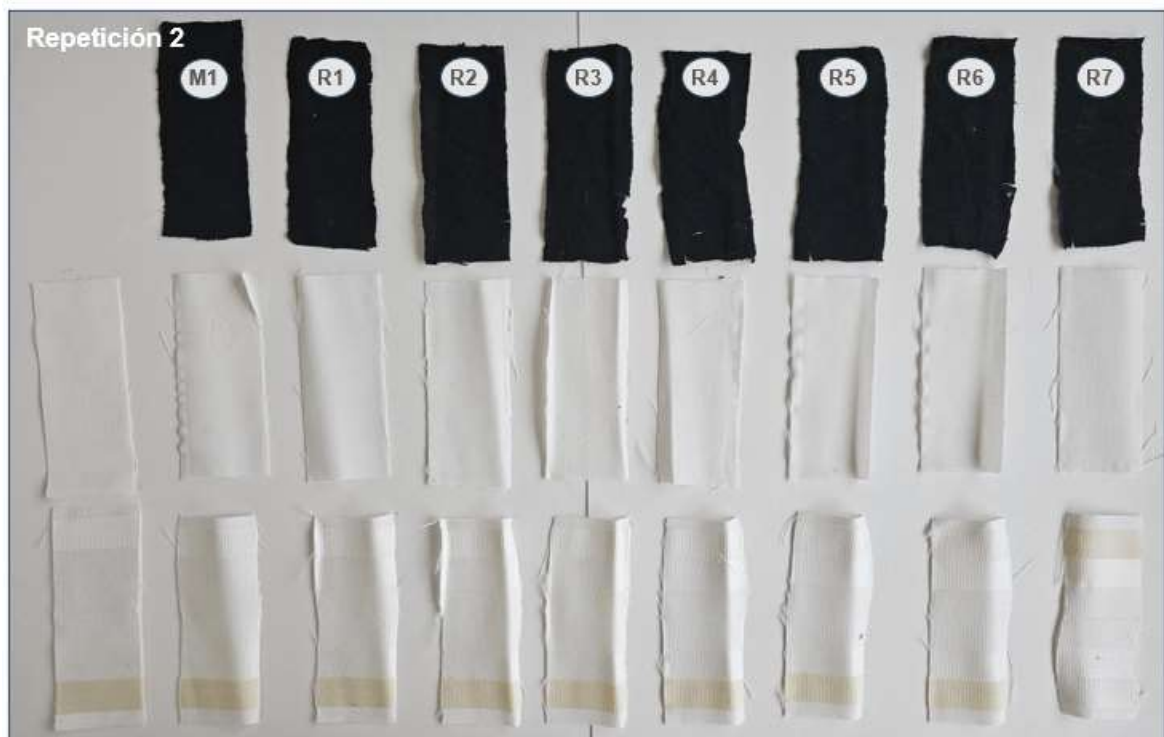
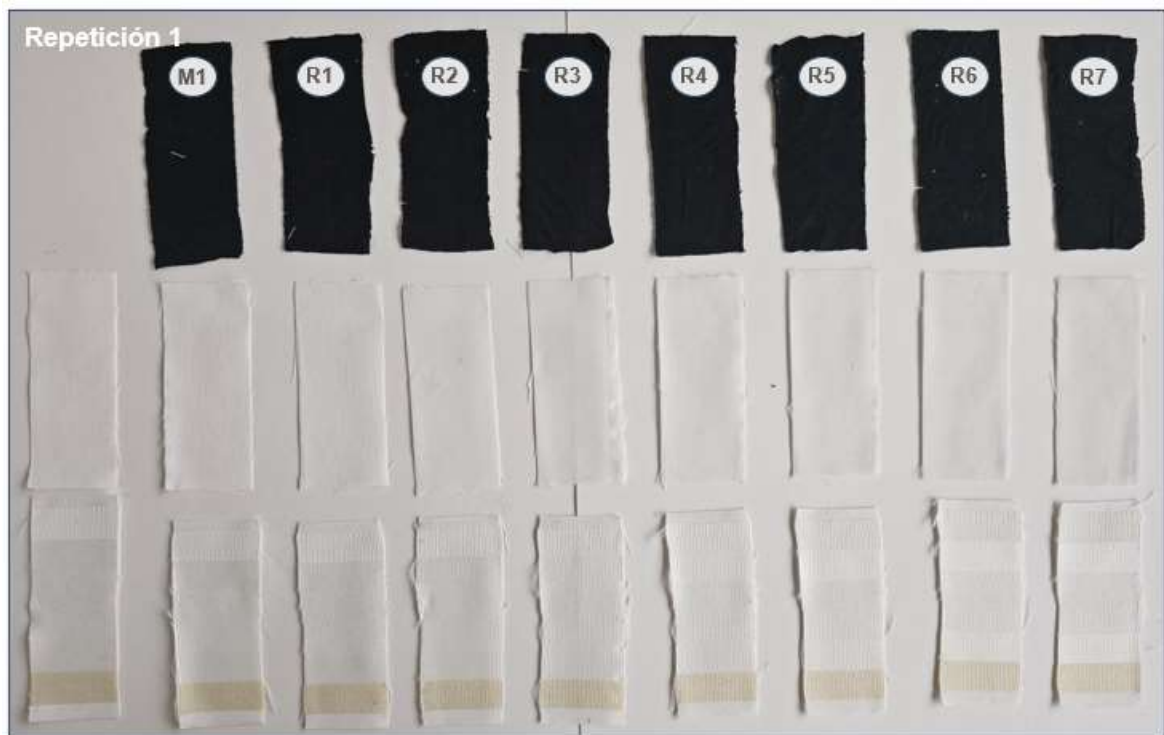


Figura 43

Solidez a la sublimación a 150°C color medio



También se evaluó la solidez a la sublimación a 180°C y como es razonable, los valores resultantes de solidez al cambio de color y transferencia de color a la multifibra DW y al testigo blanco, son menores que a 150°C como se muestran en las Tablas 24, 25 y 26 y Figuras 44, 45 y 46.

Los resultados para el color claro como se muestra en la Tabla 24 son idénticos tanto para las muestras teñidas con baño madre como las teñidas con baño de reúso.

En el caso del color medio y oscuro según se muestra en las Tablas 25 y 26 existe una variación de medio punto en algunas muestras teñidas con baño de reúso con respecto a la teñida con baño madre, sin embargo, este medio punto no implica una variación significativa.

Finalmente se puede observar que la solidez a la sublimación a 180°C para los colores claro, medio y oscuro de las muestras teñidas con baño madre y baño de reúso son similares.

Tabla 24

Resultados de solidez a la sublimación, color claro a 180°C

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 1 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 1 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 2 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 2 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 3 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 3 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 4 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 4 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 5 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 5 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 6 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 6 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4	4-5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 25*Resultados de solidez a la sublimación, color medio a 180°C*

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 1 - Rep 1	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 1 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 2 - Rep 1	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 2 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 3 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 3 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 4 - Rep 1	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 4 - Rep 2	3-4	4-5	4-5	4-5	4	4	4-5	4-5
Reúso 5 - Rep 1	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 5 - Rep 2	3-4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 6 - Rep 1	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 6 - Rep 2	3-4	4	4-5	4-5	4	4	4	4-5
Reúso 7 - Rep 1	3-4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
Reúso 7 - Rep 2	3-4	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Tabla 26*Resultados de solidez a la sublimación, color oscuro a 180°C*

Muestra	Cambio de color	Transferencia de color al testigo blanco de poliéster	Transferencia de color multifibra DW					
			Diacetato	Algodón	Poliamida	Poliéster	Acrílico	Lana
BM - Rep 2	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 1 - Rep 1	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 1 - Rep 2	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 2 - Rep 1	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 2 - Rep 2	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 3 - Rep 1	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 3 - Rep 2	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 4 - Rep 1	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 4 - Rep 2	4	4	4-5	4-5	4	4	4	4
Reúso 5 - Rep 1	4	4	4	4	4	4	4	4
Reúso 5 - Rep 2	4	4	4	4	4	4	4	4
Reúso 6 - Rep 1	4	4	4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
Reúso 6 - Rep 2	4	4	4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
Reúso 7 - Rep 1	4	4	4	4	3-4	3-4	3-4	3-4
Reúso 7 - Rep 2	4	3-4	4	4	3-4	3-4	3-4	3-4

Nota. Elaboración propia. Evaluado en cabina de luces Datacolor con fuente de luz D65, con un ángulo de 45° muestra y 90° observador, usando escala de grises cambio de color y transferencia de color.

Figura 44

Solidez a la sublimación a 180°C color claro

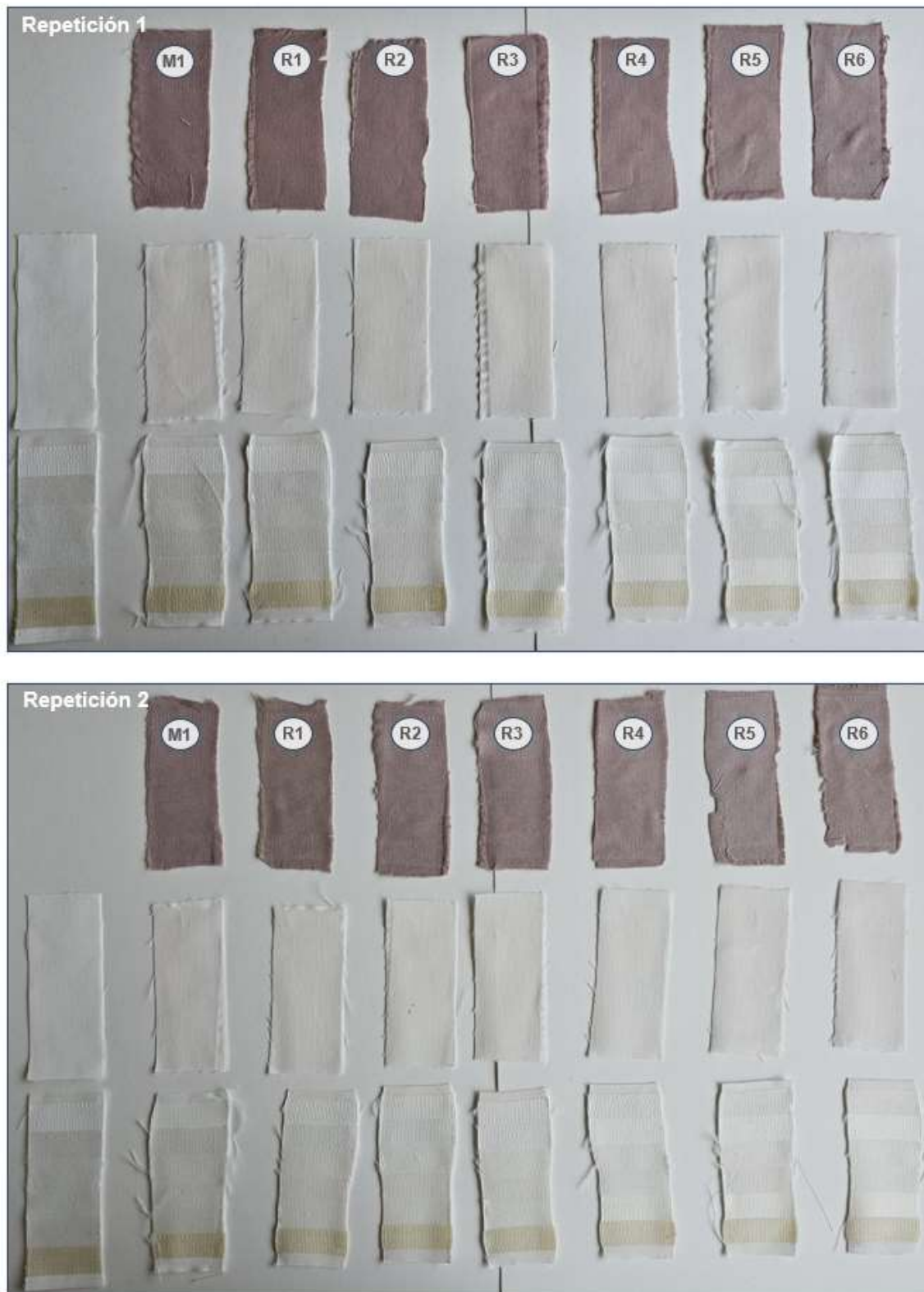


Figura 45

Solidez a la sublimación a 180°C color medio

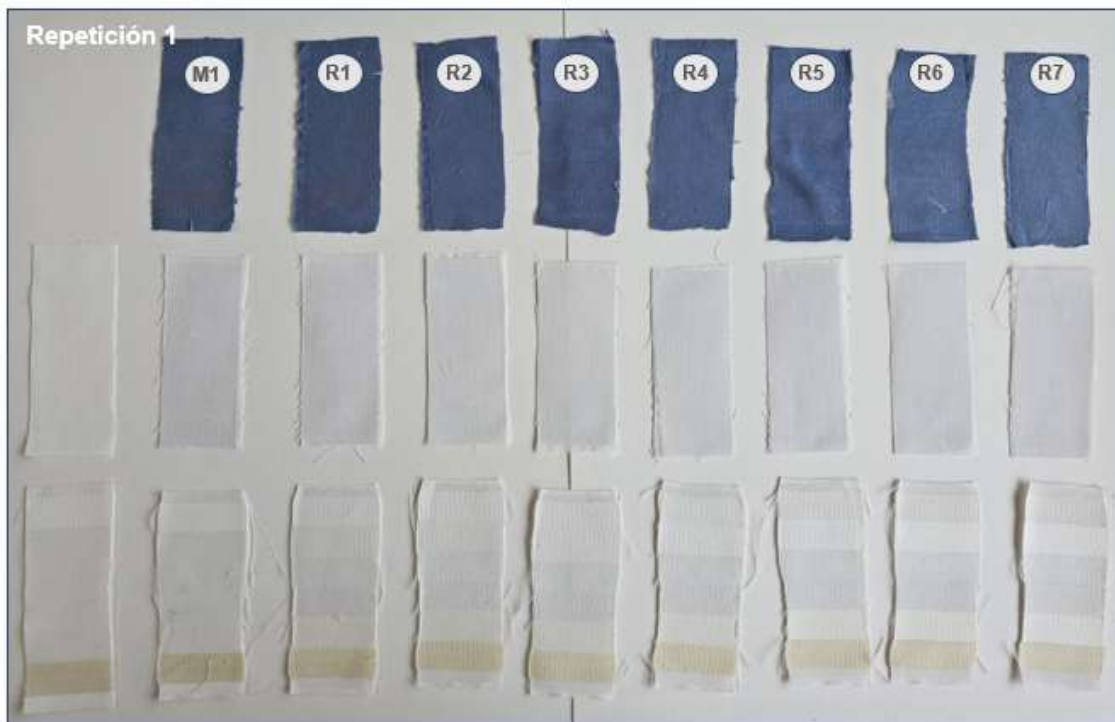
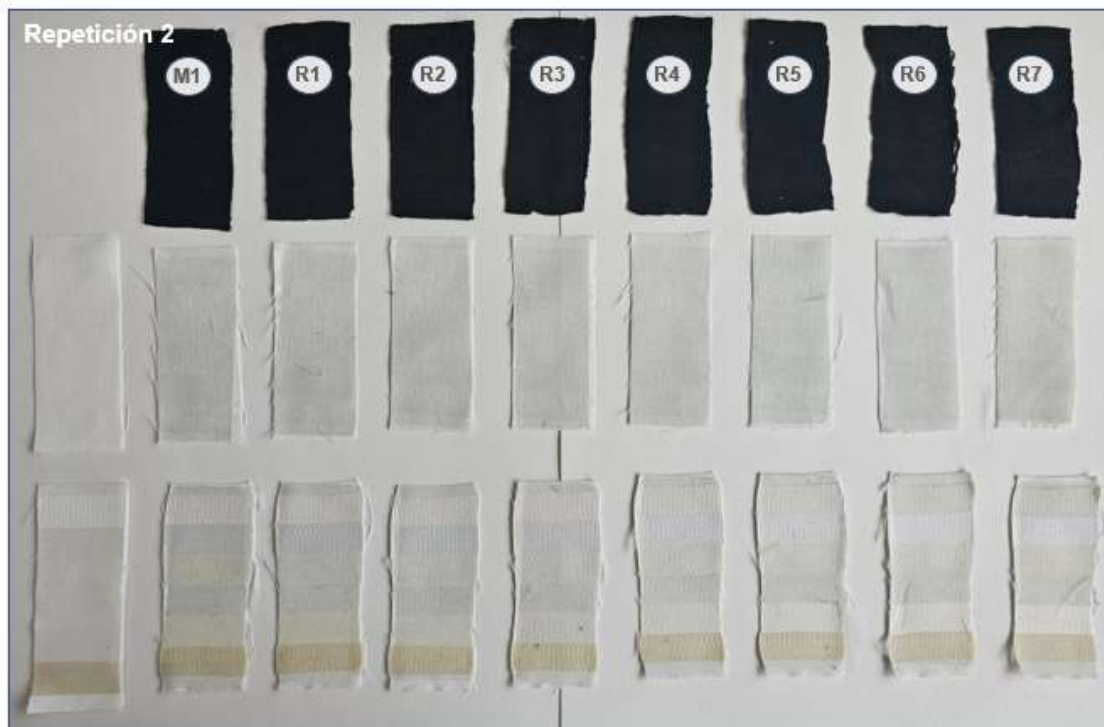


Figura 46

Solidez a la sublimación a 180°C color medio



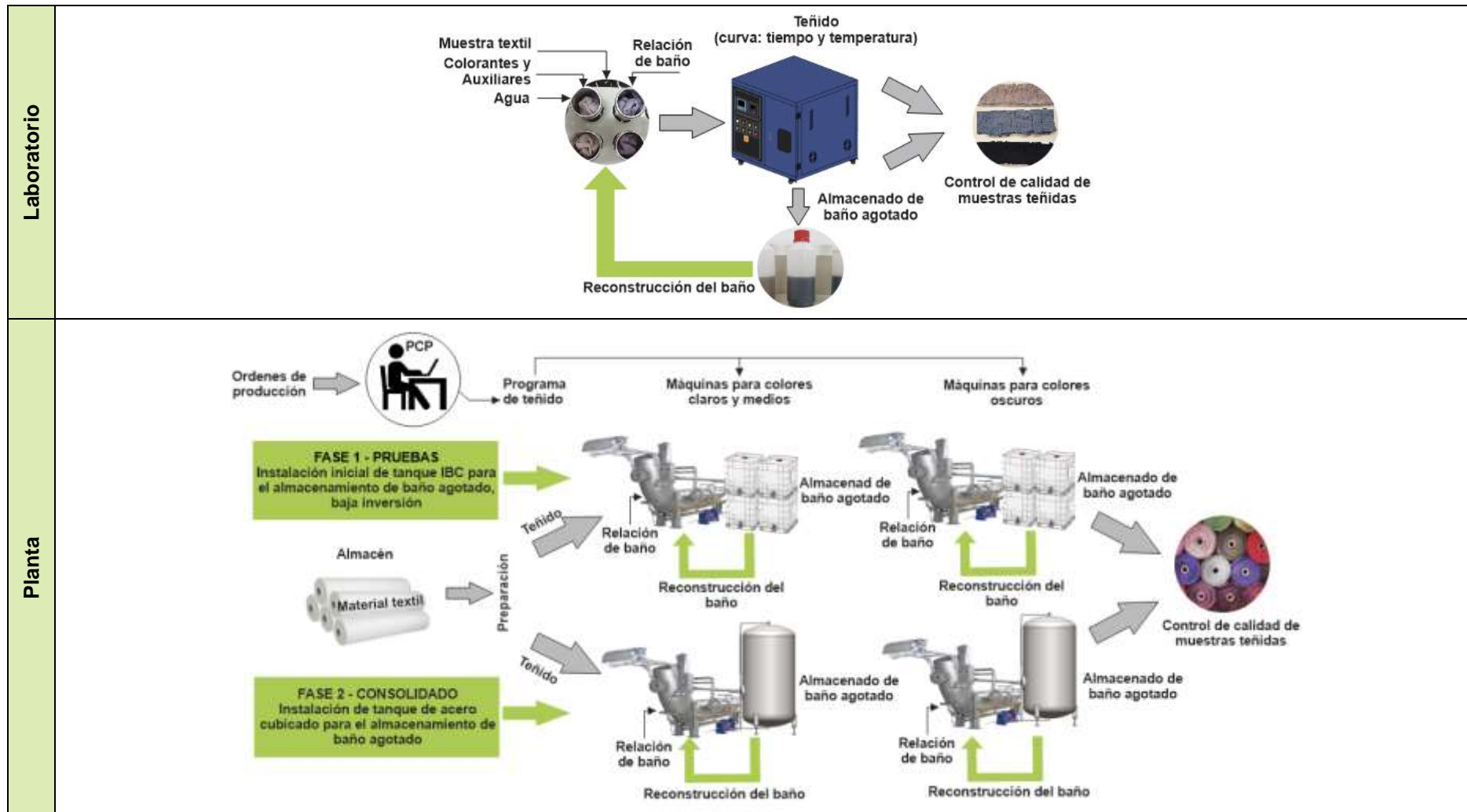
Por lo tanto, se observó que los valores de solidez al lavado, frote y sublimación, que se obtuvieron de las muestras teñidas con baño madre comparadas con las teñidas con baño de reúso tienen resultados prácticamente iguales, y tal como lo indicó Chakraborty y Sharma (2001) que los resultados de solidez de muestras teñidas con baño de reúso fueron comparables a los alcanzados en el teñido convencional.

4.6. Escalamiento a planta

En base a los resultados obtenidos del proceso de reúso de baños de teñido disperso realizado en laboratorio y sumado a la experiencia y conocimiento de teñidos en planta que tiene el bachiller, se plantean algunas consideraciones para realizar el escalado del reúso de baño en planta como: La implementación y conexión, a la máquina de teñido, de tanques de almacenamiento para el baño agotado del teñido, inicialmente se pueden utilizar tanques de almacenamiento de químicos como IBC y posteriormente un tanque de acero cubicado, conexiones de drenaje al tanque de almacenamiento, tuberías y bomba. Cálculo de la cantidad de baño recuperado según la geometría de la máquina de teñido y características del tejido como el gramaje, estructura, densidad, otros. Asimismo, se debe considerar la caracterización del baño agotado, teñido de la receta en laboratorio usando baño recuperado para su posterior teñido en planta, siempre evaluar el color y la calidad de las muestras teñidas, planeamiento organizado en base a la intensidad del color por máquina de teñido destinada y la programación desde tonalidades claras a oscuras. En la Figura 47 se puede observar el esquema de proceso de reúso de baño en laboratorio versus el de planta.

Figura 47

Esquema del proceso de reúso de baño en Laboratorio vs. Planta



Contrastación de Hipótesis

Según los resultados obtenidos, de cada objetivo específico planteado en la presente Tesis experimental y de acuerdo con estos se realizará la validación de la hipótesis general y de las específicas.

Objetivo específico 1: Caracterizar los parámetros del baño final del teñido disperso sobre fibra de poliéster de la tintura madre: pH, temperatura y volumen recuperado.

- Se consiguió realizar las reutilizaciones sucesivas de baño mediante la caracterización de los parámetros de cada baño final del teñido disperso sobre fibra de poliéster de la tintura madre, como resultado se obtuvo un pH final 3,5 – 4,0 y un volumen recuperado de 60 mL. Con respecto a la temperatura esta fue al ambiente ya que cada reuso de teñido se realizaba de un día para otro.

Objetivo específico 2: Calcular la receta a usar del baño madre recuperado, reutilizar en nueva tintura y así proceder sucesivamente.

- En esta tesis experimental se definió utilizar la misma concentración de colorantes en la receta de teñido de baño madre y de reuso, para el único auxiliar en la receta Compound, se definió utilizar 0,8 g/L en los teñidos con baño de reuso versus el 2,0 g/L utilizado en el teñido con baño madre. Esto permitió los reusos sucesivos de baños y teñidos igualados.

Objetivo específico 3. Evaluar la reproducibilidad del color y la igualación de los tejidos teñidos usando las reutilizaciones sucesivas respecto a la tintura madre

- Los resultados conseguidos para la reproducibilidad del color se encontraron dentro de lo requerido comercialmente a nivel nacional y de exportación siendo el promedio de $DE_{CMC(2:1)}$ para el color claro 0,67, para el color medio 0,39 y 0,31 para el color oscuro. Asimismo, se obtuvo una buena igualación de todas las muestras, como se pudo observar visualmente y según los resultados de la desviación estándar

extraídas de las lecturas en el espectrofotómetro para el color claro 0,0458, color medio 0,0516 y 0,0377 para el color oscuro.

Objetivo específico 4: Evaluar las solideces al lavado, frote y sublimación de las muestras teñidas con baños reutilizados y la muestra madre.

- Se obtuvieron buenos resultados de solidez de todas las muestras teñidas con baño madre y de reúso. En la solidez al lavado, para los tres colores se obtuvo un promedio de 4-5 y 5 transferencia de color, y 5 en cambio de color utilizando el método ISO 105-C06 - B1M. Para la solidez al frote seco, un promedio de 5 para los colores claro y medio; y 4-5 para el color oscuro, en el caso de frote húmedo, un promedio de 4-5 y 5 para los colores claro y medio; y 4 para el color oscuro utilizando el método AATCC TM8. Finalmente, para la solidez a la sublimación utilizando el método AATCC TM117 a 150°C se obtuvo un promedio de 4-5 para el cambio de color en los tres colores y para la transferencia de color de 4-5 y 5. Asimismo; los resultados de solidez a 180 °C se fueron de medio y un punto menos a los indicados a 150°C.

Objetivo específico 5: Calcular el consumo de agua, de insumos y el ahorro por el reúso de los baños.

- El reúso de baño de teñido disperso permitió un ahorro de agua de 6 L/kg para el color claro medio y oscuro, siendo esto un ahorro del 20%, 15% y 12% respectivamente en ahorro total de agua con respecto a un proceso normal de teñido. El ahorro de agua es mayor en el color claro por solo contar con dos enjuagues en el proceso posterior a comparación del color oscuro que cuenta con dos enjuagues y dos lavados reductivos.

Por lo tanto, se valida la hipótesis general, el reúso de baños de tintura de poliéster con colorantes dispersos permitirá optimizar el consumo de agua e insumos y obtener ahorros significativos sin mermar la calidad del producto final en color, solideces e igualación.

Análisis de Costos

Se evaluó el ahorro que se obtiene al realizar las reutilizaciones de baño de teñido disperso, en el presente estudio solo se obtuvo un ahorro en consumos de auxiliares de teñido, ya que en el porcentaje de la receta de colorantes y químicos se mantuvo igual. En las Tablas 27, 28 y 29 se muestra el ahorro obtenido para los colores claro, medio y oscuro.

Tabla 27

Comparación de costos de receta color claro

Productos	Precio + IGV (US\$/kg)	Teñido con baño madre		Teñido con baño de reúso		Ahorro (US\$/kg)	Ahorro (%)
		Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)	Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)		
Amarillo Liandisperse H-ACE 100%	23,18	0,10%	0,023	0,10%	0,023	0,00	0%
Rojo Liandisperse H-ACE 100%	29,90	0,12%	0,036	0,12%	0,036	0,00	0%
Azul Liandisperse H-ACE 100%	33,81	0,05%	0,017	0,05%	0,017	0,00	0%
Compound PES	3,92	2,00	0,078	0,80	0,031	0,05	60%
Ahorro total en receta			0,154		0,107	0,05	30%

Tabla 28

Comparación de costos de receta color medio

Productos	Precio + IGV (US\$/kg)	Teñido con baño madre		Teñido con baño de reúso		Ahorro (US\$/kg)	Ahorro (%)
		Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)	Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)		
Amarillo Liandisperse H-ACE 100%	23,18	0,10%	0,023	0,10%	0,023	0,00	0%
Rojo Liandisperse H-ACE 100%	29,90	0,12%	0,036	0,12%	0,036	0,00	0%
Azul Liandisperse H-ACE 100%	33,81	0,05%	0,017	0,05%	0,017	0,00	0%
Compound PES	3,92	2,00	0,078	0,80	0,031	0,05	60%
Levocol CWS	2,61	1,00	0,026	1,00	0,026	0,00	0%
Soda Cáustica	3,23	2,00	0,065	2,00	0,065	0,00	0%
Hidrosulfito de sodio	5,32	5,00	0,266	5,00	0,266	0,00	0%
Ahorro total en receta			0,511		0,464	0,05	9%

Tabla 29*Comparación de costos de receta color oscuro*

Productos	Precio + IGV (US\$/kg)	Teñido con baño madre		Teñido con baño de reúso		Ahorro (US\$/kg)	Ahorro (%)
		Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)	Cantidad (g/L)	Costo (US\$/kg)		
Negro Liandisperse EXSF 300%	8,16	5,50%	0,449	5,50%	0,449	0,00	0%
Compound PES	3,92	2,00	0,078	0,80	0,031	0,05	60%
Levocol CWS	2,61	1,00	0,026	1,00	0,026	0,00	0%
Soda Cáustica	3,23	2,00	0,065	2,00	0,065	0,00	0%
Hidrosulfito de sodio	5,32	7,00	0,372	7,00	0,372	0,00	0%
Levocol CWS	2,61	1,00	0,026	1,00	0,026	0,00	0%
Soda Cáustica	3,23	2,00	0,065	2,00	0,065	0,00	0%
Hidrosulfito de sodio	5,32	5,00	0,266	5,00	0,266	0,00	0%
Ahorro total en receta			1,347		1,300	0,05	3%

Por lo tanto, el ahorro de receta en colores claro medio y oscuro realizando el reúso de balos es de 30%, 9% y 3% respectivamente.

Conclusiones

1. Se consiguió disminuir el consumo de agua en 6 L/kg y de insumos en 60% mediante el reúso baños del teñido de poliéster por agotamiento con colorantes dispersos sin mermar la calidad del textil teñido y con ahorros significativos
2. La caracterización correcta de los parámetros del baño final de pH, temperatura y volumen recuperado permitió realizar las reutilizaciones sucesivas.
3. Se definió la receta para los teñidos con baños de reúso y esta permitió obtener muestras teñidas con buena igualación y sin problemas de manchas por falta de dispersión de colorante.
4. Se evaluó la reproducibilidad del color de las muestras teñidas con baño de reúso comparadas a las teñidas con baño madre y se obtuvo una diferencia de color menor a 1, valor manejado a nivel comercial.
5. Se evaluó la solidez al lavado, frote y sublimación, y se obtuvo buenos resultados comparables entre las muestras teñidas con baño madre y de reúso, teniendo una diferencia máxima entre sus valores de medio punto.
6. Se calculó el consumo de agua, de insumos y se obtuvo un ahorro por el reúso de baños en agua de 20%, 15% y 12% para los colores claro, medio y oscuro respectivamente y un ahorro en los costos de la receta total de teñido de 30%, 9% y 3%.

Recomendaciones

1. Las tinturas se realizaron con agua destilada, por lo que se recomienda realizar un estudio utilizando otros tipos de agua como; agua blanda y agua osmotizada con la finalidad de evaluar la influencia de ciertos parámetros como el pH.
2. Para escalar a planta se debe tener en cuenta el volumen recuperado según el porcentaje de absorción del material por máquina de teñido a utilizar considerando la geometría de esta, la caracterización de los parámetros para la reconstrucción de los baños de reúso, así como, la definición de la receta previamente en laboratorio.
3. Se debe realizar un estudio con mayor cantidad de reutilizaciones de baño para así, definir en qué número de reúso es necesario ajustar las concentraciones de colorante en la receta de teñido, para obtener un mayor ahorro de receta. Asimismo, se sugiere utilizar el equipo Smart liquor para analizar cuanto colorante que queda en el baño residual de teñido.
4. Evaluar el comportamiento de la reproducibilidad y solidez de muestras teñidas con una mayor cantidad de reutilizaciones de baño.
5. Caracterizar los parámetros de los baños de enjuagues del teñido disperso para determinar su posible reconstrucción, reúso y ahorro en la cantidad auxiliares y químicos.
6. Evaluar la posibilidad de realizar reutilizaciones de baño con cambios de color e intensidad, la cual deberá de ir de un color más claro a uno más oscuro.

Referencias bibliográficas

- Agudelo, C., Lis, M., Valldeperas, J., & Navarro, J. (01 de 2006). Tintura en baños de reutilización directa: Microfibras de poliéster con colorante directo. *Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial*.
- Agudelo, C., Lis, M., Valldeperas, J., & Sato, T. (2008). Fabric color changes in polyester micro-fibers caused by the multiple reuse of dispersed-dyes dye baths: Part 1. *Textile Research Journal*, 78(12), 1041-1047.
- Agudelo, C., Lis, M., Valldeperas, J., & Sato, T. (2009). Fabric color changes in polyester micro-fibers caused by the multiple reuse of dispersed-dyes dye baths. Part II. *Textile Research Journal*, 79(4), 326-336.
- Alya, M. A.-E., Morsy, A. E.-A., Huda, M. M., & and Nouria, A. A.-A. (2012). One-Pot Synthesis of Disperse Dyes Under Microwave Irradiation: Dyebath Reuse in Dyeing of Polyester Fabrics. *Molecules*, 17 (4), 4266-4280.
- American Association of Textile Chemists and Colorists [AATCC]. (2010). *AATCC Technical Manual* (Vol. 85). USA.
- Artigas, J. M., Perea, P. C., & i Ramo, J. P. (2002). *Tecnología del color* (Vol. 58). Maite Simon.
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic Principles of Textile Coloration*. Canada: Society of Dyers and Colourists.
- Cáceres, R. (2017). Optimización del proceso de tintorería y acabado en la empresa Enatex (tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Cegarra, J., Puente, P., & Valldeperas, J. (1981). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de maerías textiles*. Terrassa, España.
- Chakraborty, M., & Sharma, D. K. (2001). Conservation of Chemicals, Water, and Energy Through Dyebath Reuse in Polyester Fiber Dyeing. *AATCC Review*, 1(10), 43-45.
- Costa, M. R. (1990). *Las fibras textiles y su tintura*.

- Díaz, N. (2010). Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas.
- Dirección de Metrología [INACAL]. (2012). *Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos básicos y generales, y términos asociados (VIM)*. Obtenido de https://transparencia.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/transparencia/proyectos-de-inversion/niveles-de-servicio/2021/INACAL/NS/VIM_2012_INACAL.pdf
- Espejo, C. E., & Gómez, C. J. (2017). Mejora del proceso de teñido mediante la reutilización de los baños de agua en el área de tintorería en la empresa Textil La Merced SA En el marco de la producción más limpia (tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Ferrero, G. (2013). Ultrafiltración de los efluentes de la tintura del poliéster para su reutilización (tesis de maestría). UPC, Barcelona, España.
- Guillen, J. G. (1991). *Fibras de poliéster (2ª Edición Ampliada)*. Barcelona, España: Rubio S.A.
- Haro, A. M. (2018). Obtención de tricromías estándar con colorantes dispersos en poliéster 100% (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- International Standar Organization [ISO]. (2010). *Textiles - Tests for colour fastness - Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering (ISO 105-C06:2010)*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/51276.html>
- Larios, R. P. (2019). El reto de la sostenibilidad en la industria textil y de la moda. 36-40.
- Martínez, R. (2020). La sostenibilidad como factor clave del sector textil bajo la perspectiva del consumidor (tesis de pregrado). Universidad de León, León, España.
- Natific. (27 de abril de 2015). *Natific color simplified*. Obtenido de <https://natific.com/natific-news/>
- Öner, E., Atak, O., & Gömeç, R. (2016). Reuse Of Decolorized Dyeing Effluents in Repeated Dyeings. *Annals of the university of oradea fascicle of textiles, leatherwork*, 105 - 110.

- Salazar, P. E. (2014). Reutilización de baño de tintura de fibra de poliamida con colorantes ácidos en la industria Textil (tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Salem, V. (2010). *Tingimiento Textil: Fibras, Conceitos e Tecnologias*. Sao Paulo, Brasil: Blucher: Golden Tecnologia.
- Textile Exchange. (1 de octubre de 2022). *Preferred Fiber & Materials Market Report*. Obtenido de <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/preferred-fiber-and-materials/>
- Uribe, C. L. (2009). Curso Control de calidad textil 3 - Tema Colorimetría. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Velarde, R. E. (2013). Implementación de mejoras en el proceso de teñido disperso sobre fibra poliéster (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Anexos

Anexo I: Trabajo operativo para el proceso de teñido

1. Proceso de pesado de muestras textiles



2. Proceso de pipeteo de solución de colorante



3. Proceso de medición de pH del baño e introducción del material textil al baño



4. Proceso de descarga de máquina finalizado el proceso de teñido



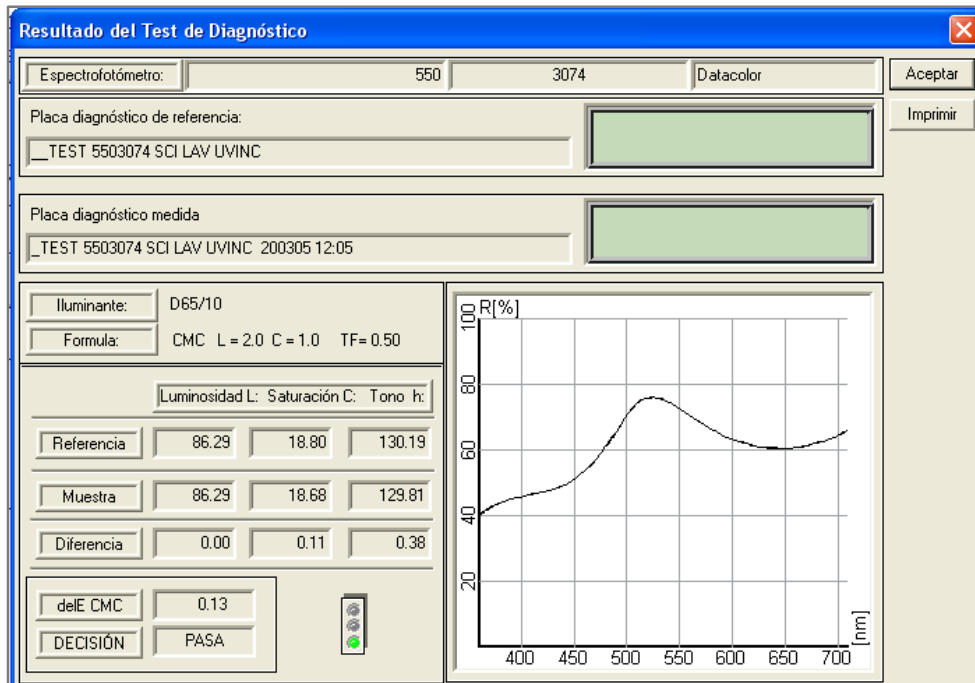
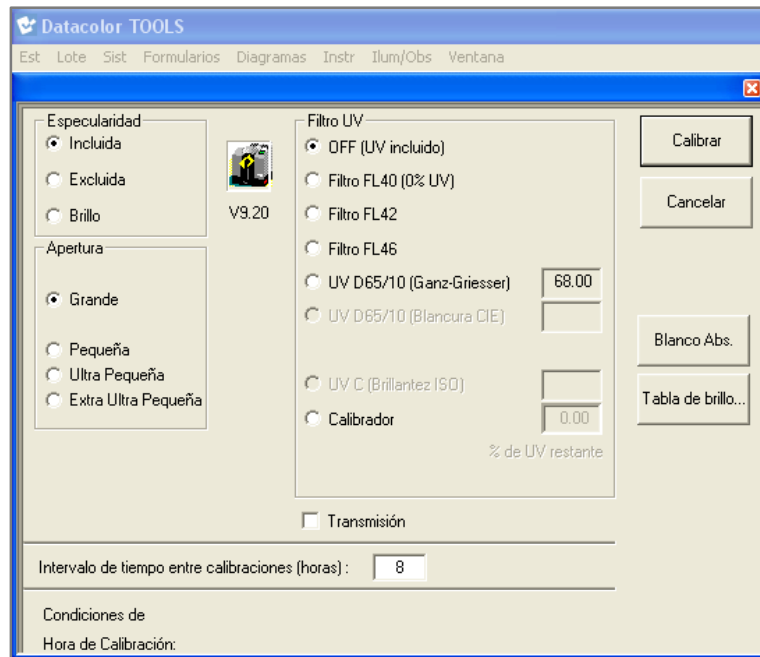


5. Almacenamiento de baños residuales para el reúso



Anexo II: Control de color

1. Calibración del espectrofotómetro Datacolor SF-550 y su resultado del test diagnóstico.

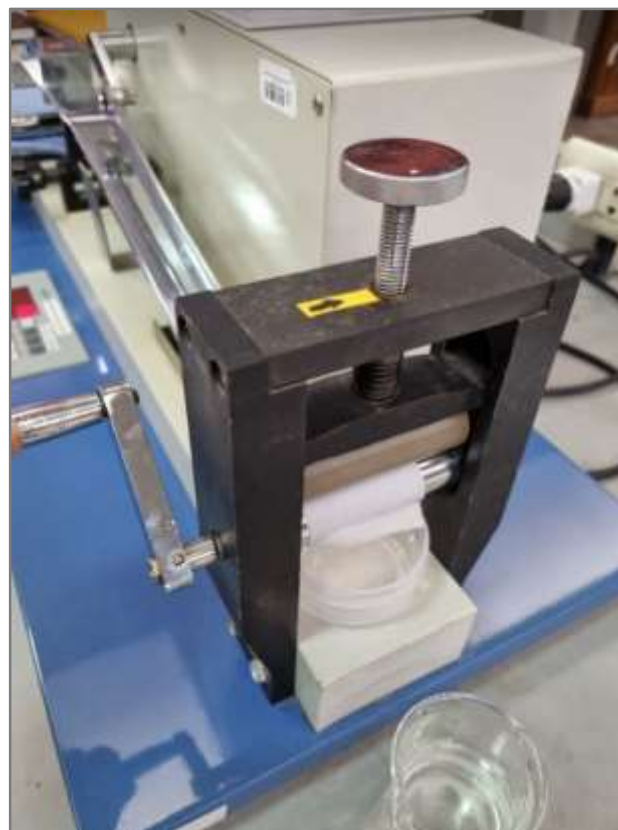


Anexo III: Control de calidad - Solideces

1. Preparación de solución de detergente WOB para realizar el método de ensayo de solidez al lavado según la norma ISO 105-C06 - B1M.



2. Ejecución del método de ensayo de solidez al frote seco y húmedo según la norma AATCC TM8




3. Ejecución del método de ensayo de solidez a la sublimación según la norma AATCC TM117



Anexo IV: Información técnica de colorantes y auxiliares

1. Colorante Amarillo Liandisperse H-ACE



**SOCIEDAD
QUÍMICA
MERCANTIL S.A.**

AMARILLO LIANDISPERSE HACE

应用适应性表 Application adaptability

深度 Depth	高温高压吸染 High-temperature-high-pressure exhaust dyeing	热熔染色 Thermosol dyeing	载体染色 Carrier dyeing	印花 Printing
浅色 Light				
中等色 Medium				
深色 Dark				

特征

- 分散黄 HACE (MIX) 低温型染料 (E 型, 或 L 型)
- 适合浅深色。
- 该系列各品种之间优秀的配伍性; 具有极佳的一次成功率。
- 适合超细旦织物染色、落、染/棉混纺织物的浸染。
- 优良的光照牢度。

Characteristic

- Low temperature dyes, E type or L type.
- Excellent deep-dyeing performance; suits medium and dark color.
- Excellent compatibleness among varieties in this series; superb success rate.
- Suitable for dyeing of super fine fiber, and exhaust dyeing and pad dyeing of polyester fabrics and polyester/cotton blended fabrics.
- Excellent all-around color fastness.

染色性 Dyeing properties

PH 依存性	PH dependency	3-9
浴比依存性	Liquor ratio dependency	1: (20-30)
温度的依存性	Temperature dependency	(130-135) °C
高温高压吸色率 1/1	High temperature and high pressure color absorption	98.27%
提升力: 高温高压	Build-up: H.T.Dyeing	B
匀染性(移染率 %)	Leveling	99.82%
脱染性	Discharge	●
金属离子的影响	Metal-ion sensitivity	Fe ⁺⁺ ≤12ppm Mg ⁺⁺ ≤50ppm Ca ⁺⁺ ≤10ppm Ca ⁺⁺ ≤50ppm

注: /Note: ○ 最适合/very suitable ○ 适合/suitable ● 不适合/unsuitable.

对棉纤维的沾色 4/ Staining on cotton fiber 4 对尼龙的沾色 1/ Staining on nylon 1

对粘胶纤维的沾色 4/ Staining on viscose fiber 4 对羊毛的沾色 1/ Staining on wool 1



OWF 0.70%



OWF 1.1%



OWF 2.2%



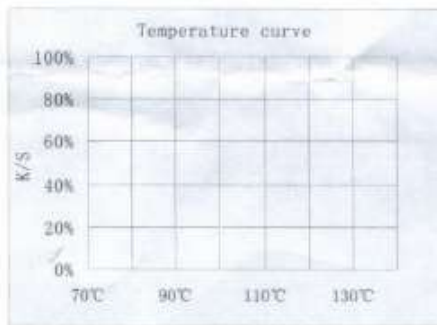
20g/L

坚牢度 Fastness properties

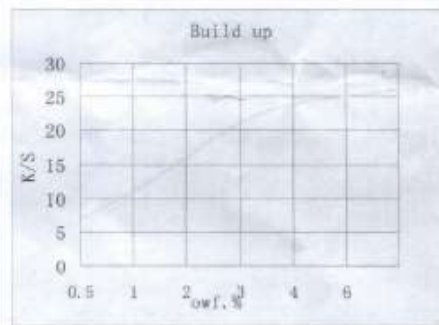
测试条件/ Test conditions	耐洗 60°C×30min/ Washing							摩擦/ Rubbing	
	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	干/ dry	湿/ wet
ISO 105 CO3: 1989	5	3-4	5	3	5	4-5	4	4-5	4-5
AATCC 49°C 11A	5	3-4	5	3	5	4-5	4		
测试条件/ Test conditions	耐汗渍/ Perspiration							热压/ Hot pressing	
ISO 105-X11: 1994	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	200°C=15s	
ISO 105/E04-1994									
Alkaline	4	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	Instant	4hours
Acid	4-5	4-5	4-5	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
测试条件/ Test conditions	耐光/Light			耐升华 /Sublimation			耐氯化水	耐氯化水	
ISO 105-B02: 1994				150	180	200	/Swimming-Pool	/Swimming-Pool	
ISO 105 P01: 1993	1/25	1/1	2/1	沾沾/ Pes	沾沾/ Pes	沾沾/ Pes	ol Water20ppm	ol Water50ppm	
ISO 105-E03: 1994	6-7	7	7	4-5	3	2	4-5	4	

染料应用性能 Dye application performance

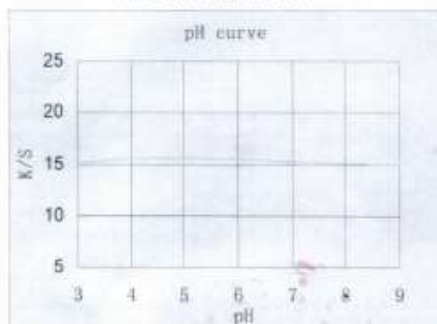
染色温度、时间上染曲线



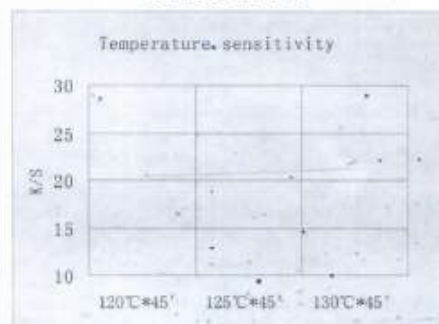
提升性曲线



染色 PH 敏感性曲线



浸染温度敏感曲线



2. Colorante Rojo Liandisperse H-ACE



**SOCTEDAD
QUIMICA
MERCANTIL S.A.**

ROJO LIANDISPERSE H-ACE

应用适应性表 Application adaptability

深度 Depth	高温高压浸染 High-temperature-high-pressure exhaust dyeing	热熔染色 Thermosol dyeing	载体染色 Carrier dyeing	印花 Printing
浅色 Light				
中等色 Medium				
深色 Dark				

特征

- 分散红 HACE, MIX, 蒽醌型结构; 低温型分散染料。
- 耐光色牢度好, 匀染性好。
- 低温型染料主要品种可与黄 HACE、蓝 HACE 组成三原色。
- 该品种可用于转移印花

Characteristic

- Red HACE: Anthraquinone structure; low temperature dyes.
- Excellent light fastness and leveling dyeing.
- As one of low temperature tricolor.
- Suitable for transfer printing.

染色性 Dyeing properties

PH 依存性	PH dependency	3-9
溶比依存性	Liquor ratio dependency	1: (20-30)
温度的依存性	Temperature dependency	(130-135) °C
高温高压吸色率 1/1	High temperature and high pressure color absorption	95.10%
提升力: 高温高压	Build-up: H.T. Dyeing	A
匀染性(移染率 %)	Leveling	99.29%
拔染性	Discharge	●
金属离子的影响	Metal-ion sensitivity	Fe ⁺⁺ ≤12ppm Mg ⁺⁺ ≤50ppm Cu ⁺⁺ ≤10ppm Ca ⁺⁺ ≤50ppm

注: /Note: ○ 最适合/very suitable ◎ 适合/suitable ● 不适合/unsuitable.

对棉纤维的沾色 3 / Staining on cotton fiber 3 对尼龙的沾色 1 / Staining on nylon 1

对粘胶纤维的沾色 3-4 / Staining on viscose fiber 3-4 对羊毛的沾色 1 / Staining on wool 1



OWF 0.70%



OWF 1.1%



OWF 2.2%



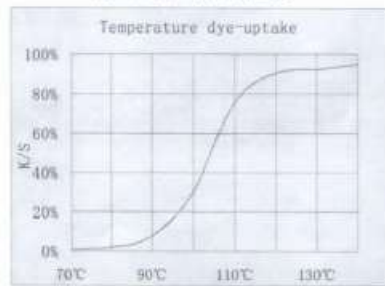
20g/L

坚牢度 Fastness properties

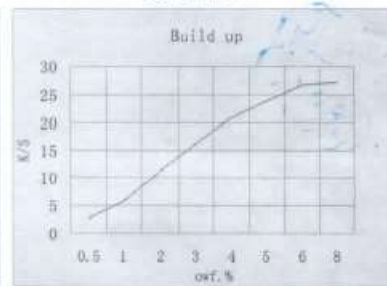
测试条件/ Test conditions	耐洗 60°C × 30min/ Washing							摩擦/ Rubbing	
	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	干/ dry	湿/ wet
ISO 105 CO3: 1989	4-5	4	5	3-4	4	4-5	4	5	5
AATCC 49°C 11A	4-5	4+	4-5	3-4	4	4-5	4		
测试条件/ Test conditions	耐汗渍/ Perspiration							热压/ Hot pressing	
ISO 105-X11: 1994	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	200°C × 15s	
ISO 105/E04: 1994									
Alkaline									
Acid	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
测试条件/ Test conditions	耐光/ Light			耐升华/ Sublimation			耐氯化水	耐氯化水	
ISO 105-B02: 1994				150	180	200	/Swimming-Po	/Swimming-Po	
ISO 105 P01: 1993	1/25	1/1	2/1	染色/ Pes	染色/ Pes	染色/ Pes	of Water 20ppm	of Water 50ppm	
ISO 105-E03: 1994	5-6	6	6-7	4-5	3	2	4-5	4	

染料应用性能 Dye application performance

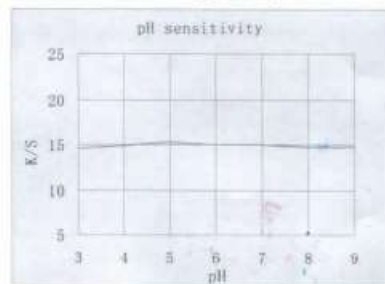
染色温度、时间上染曲线



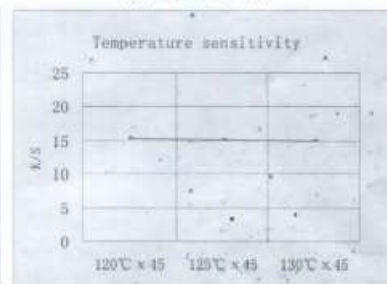
提升性曲线



染色 PH 敏感性曲线



浸染温度敏感曲线



3. Colorante Azul Liandisperse H-ACE



AZUL LIANDISPERSE H-ACE

Aplicación adaptabilidad

深度 Depth	高温高压浸染 High-temperature-high-pressure exhaust dyeing	热熔染色 Thermosol dyeing	载体染色 Carrier dyeing	印花 Printin
浅色 Light				
中等色 Medium				
深色 Dark				



OWF 0.70%



OWF 1.1%



OWF 2.2%



20g/L

Características

- Azul HACE, colorante antraquinonico, baja temperatura de teñido.
- Excelente solidez a la luz y rendimiento de teñido.
- Efectiva cobertura e igualacion
- Principal método de teñido: agotamiento, como tricromía de baja temperatura
- Adecuado para estampado por transferencia

Propiedades de Teñido

Dependencia de PH	3 - 9
Dependencia de Relación de baño	1: (20 - 30)
Dependencia de la Temperatura	(130 - 135) °C
Rendimiento de color a alta temperatura y presión	(1/1) 93.30%
Teñido a Alta Temperatura	B
Igualacion	89.03 %
Descarga	●
Ion- Metálico	Fe ⁺⁺ ≤ 12ppm Mg ⁺⁺ ≤ 50ppm Cu ⁺⁺ ≤ 10ppm Ca ⁺⁺ ≤ 50ppm

○Muy recomendado ⊙ Recomendado ●No recomendado

Manchado sobre algodón 3

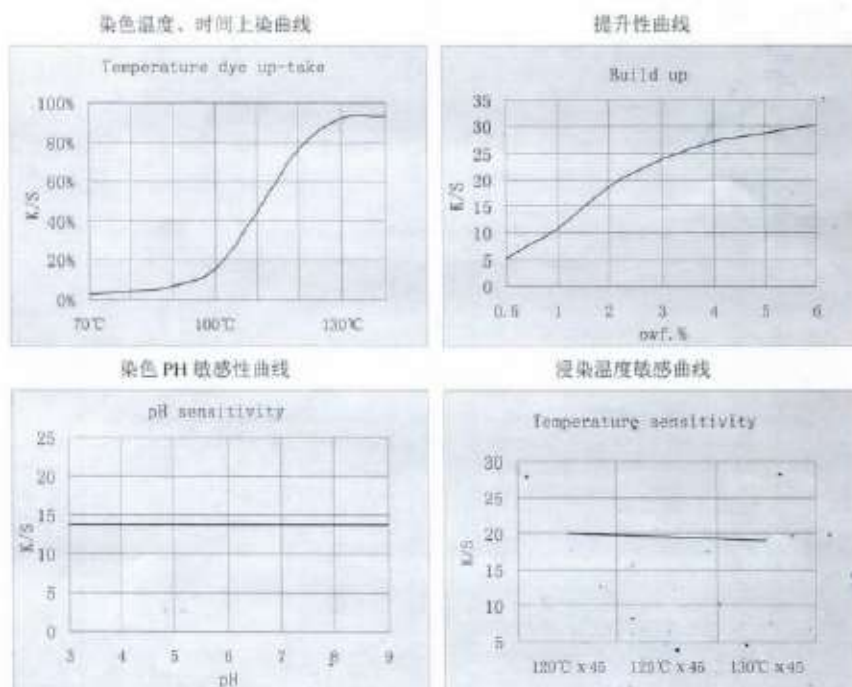
Manchado en Nylon 1

Propiedades de Solidez

坚牢度 Fastness properties

测试条件/ Test conditions	耐洗 60°C - 30min/ Washing							摩擦/ Rubbing	
	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	干/ dry	湿/ wet
ISO 105 CO3; 1989	4-5	4	4	3	4-5	4-5	4	4-5	4-5
AATCC 49°C 11A	4-5	4	4-5	4	4-5	4-5	4		
测试条件/ Test conditions	耐汗渍/ Perspiration							热压/ Hot pressing	
ISO 105-X11; 1994	CH	Ace	CO	Nyl	Pes	Aes	Wo	200°C x 15s	
ISO 105/E04-1994								Instant	4hours
Alkaline								4	4-5
Acid	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	
测试条件/ Test conditions	耐光/ Light			耐升华/ Sublimation			耐氧化水	耐氧化水	
ISO 105-B02; 1994				150	180	200	/Swimming-Po/	/Swimming-Po/	
ISO 105 P01; 1993	1/25	1/1	2/1	染色/ Pes	染色/ Pes	染色/ Pes	of Water20ppm	of Water50ppm	
ISO 105-E03; 1994	5-6	6	6-7	4-5	3	2	4	3-4	

Comportamiento del colorante



4. Colorante Negro Liandisperse EXSF 300%



HANGZHOU TIANKUN CHEM CO.,LTD.

TECHNICAL DATA SHEET

DESCRIPTION: DISPERSE BLACK EXSF 300%

No.	Items	Specifications
1	Appearance	Black Powder
2	Strength %	300%
3	Diffusivity	≥4
4	O.W.F.%	4.0
5	Washing	PES 6 / CO 4-5
6	Sublimation(210℃)	4
7	Light fastness	6
8	Dispersing Ability (71℃)	≥A/3
9	Dispersing Ability (130℃)	≥B/3
10	Dyeing temperature	125-130℃(30-60min)
11	PH VALUE	4-8
12	PES/CO	Suitable
13	Thermofixation(optimum temperature)	200-210℃
14	MICROFIBRE	Suitable

	TEST METHOD	STANDARD
LIGHT FASTNESS	ISO 105-B02 Xenon	6
WASHING FASTNESS	ISO 105-C03:1989	4-5
SUBLIMATION	ISO 105-X11 Color Change	4-5

This information and our technical advice submitted in this data are based on our current knowledge and experience. In view of many factors that may affect processing and application, these data do not relieve processors of the responsibility of carrying out their own tests and experiments; neither do they imply any legal binding assurance of certain properties or of suitability for a specific purpose.

杭州天昆化工有限公司
HANGZHOU TIANKUN CHEM CO., LTD

Lene

5. Auxiliar Compound de teñido disperso



COMPOUND PES

*dispersante, igualante, emulsionante, buffer y secuestrante
para el teñido de fibras de poliéster y mezclas*

PROPIEDADES:

Composición:	eteres-esteres poliglicólicos
Apariencia	líquido limpio amarillento
Peso específico a 20°C	1.05 g/mL
Carga iónica	no iónico
pH (10 g/L)	2.0
Estabilidad al agua dura	óptima hasta 20° dH
Solubilidad en agua	dispersible
Estabilidad a las variaciones de pH	óptima de pH 2 hasta pH 12
Poder humectante a 25° C (DIN 53901)	0.9 g/L para humectación en 100"
Poder espumante a 25° C (DIN 53902)	mínimo
Compatibilidad	compatible con productos y colorantes aniónicos, catiónicos y no iónicos
Estabilidad al almacenaje	óptima en condiciones normales durante 12 meses

CARACTERISTICAS:

COMPOUND PES es un producto con múltiples acciones, permite obtener teñidos perfectamente reproducibles en fibra poliéster sin necesidad de un lavado previo.

La acción múltiple de *COMPOUND PES* se desarrolla de la siguiente forma:

- ✓ confiere la acidez necesaria al baño para un teñido óptimo sin ulterior uso de ácido acético o buffer, manteniendo constante el pH por todo el proceso y protegiendo los colorantes dispersos sensibles a la reducción a pH mayor de 6.
- ✓ manteniendo el pH constante garantiza reproducibilidad y repetibilidad en teñidos por agotamiento.
- ✓ posee una acción detergente-emulsionante de los aceites de encimajes y de lubricación.
- ✓ tiene propiedades retardantes y de migración, permitiendo la combinación de ternas de colorantes que agotarán uniformemente sobre el material.
- ✓ iguala posibles diferencias en el comportamiento de los colorantes en condiciones de alta temperatura.
- ✓ mejora la dispersión de los colorantes favoreciendo su penetración en telas compactas o teñidos en borra. Eso permite en los artículos que serán perchados, tener el mismo tono en la zona con superficie levantada y superficie no perchada.
- ✓ posee propiedades secuestrantes hacia iones Ca y Mg, evitando efectos no deseados originados por agua dura.

Preparación de las soluciones

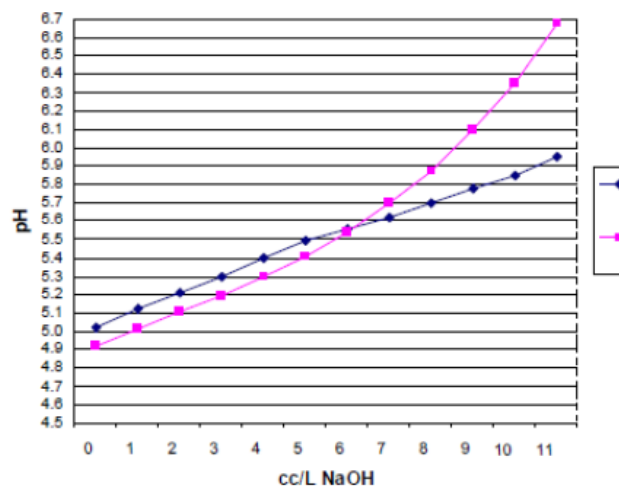
COMPOUND PES se prepara adicionándolo al agua fría o tibia agitando ligeramente.
COMPOUND PES puede ser dosificado automáticamente.

MODE DE EMPLEO

CONCENTRACION g/l	pH
1	5,6 – 5,7
1.5	4,9 – 5,0
2	4,2 – 4,3
2.5	3,6 – 3,7

Resultados óptimos como propiedades de buffer, emulsificante, igualante y dispersante son obtenidos con 2,5 – 3 g/l dependiendo de la calidad del agua utilizada para el proceso.

Poder Tamponante 1.5 g/L Compound PES



Compound PES
2g/L Sulfato de amonio
y acético

6. Auxiliar proceso posterior Dispersante



Productos químicos especiales para textiles

Levocol WS Power

Introducción

Un agente dispersante universal para aplicaciones de tinte dispersa y en cuba.

Características

- Mejora la dispersión del baño de tinte.
- Evita la aglomeración de colorantes y su redeposición sobre la fibra. Mejora la nivelación del tinte.

Especificaciones

Apariencia física	Polvo de flujo libre de color marrón claro
Composición química	A base de ácido naftalenosulfónico Aniónico de condensación
Naturaleza iónica	
solubilidad en agua	Bien
pH de 1% ac. Compatibilidad de la solución	6 - 8
Aniónico / No iónico	Bien
Estabilidad al ácido/álcali	Bien

Aplicaciones

1. Se recomienda una solución predisuelta/filtrada de 30 - 50 % **Levocol CWS** utilizado en casa de tinte

2. Para teñido en cuba de algodón

Colorante Coravat	X	% (FPO)
Levocol CWS	1 - 2	g/l
Copos de soda cáustica	8	g/l
hidrosulfito de sodio	8	g/l

A los 60°C durante 45 min.

3. Para lavar

Levocol CWS **1 - 2 g / litro**

Estabilidad de almacenamiento

Buena vida útil en condiciones de almacenamiento adecuadas.

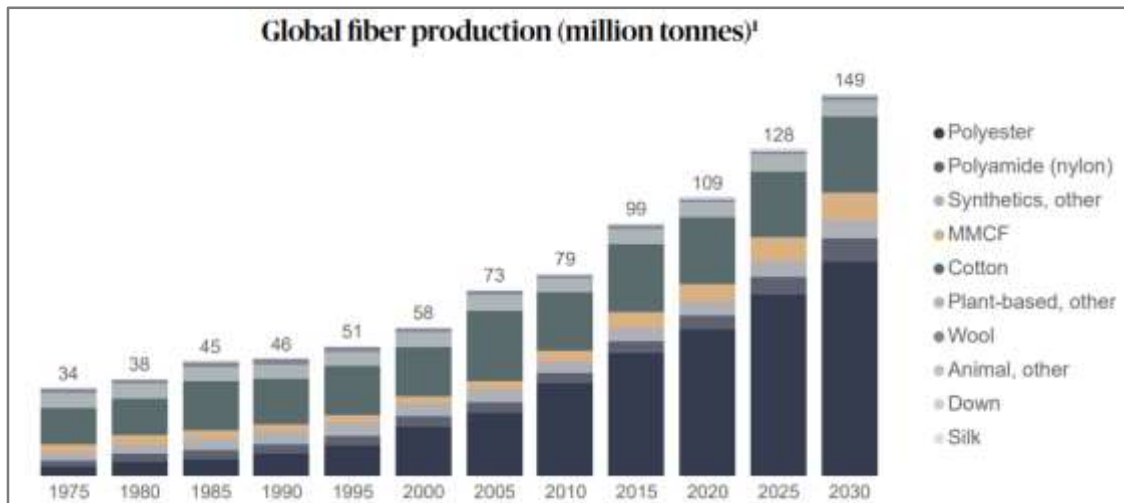
Embalaje

50 kilos Bolsas tejidas de HDPE

La información proporcionada aquí es de buena fe, según nuestro mejor conocimiento y sin responsabilidad.

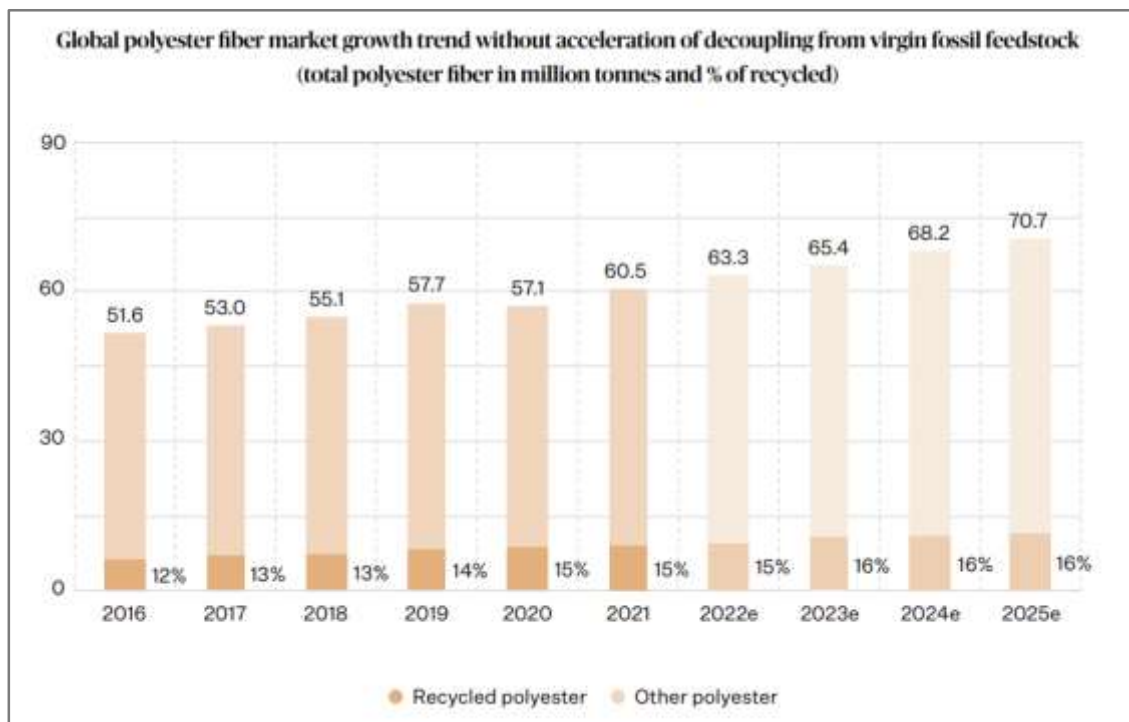
Anexo V: Tendencia del mercado mundial de fibras de poliéster

1. Proyección de la producción mundial de fibra (millones de toneladas)



Nota. Producción mundial de fibra (millones de toneladas). Tomado de *Preferred Fiber & Materials Market Report*, por Textile Exchange, 2022.

2. Proyección de la tendencia de crecimiento de fibras de poliéster



Nota. Tendencia de crecimiento del mercado mundial de fibras de poliéster sin acelerar el desacoplamiento de las materias primas fósiles vírgenes (fibra de poliéster total en millones de toneladas y % de reciclado). Tomado de *Preferred Fiber & Materials Market Report*, por Textile Exchange, 2022.