



**Escalamiento y evaluación de reproducibilidad de proceso de teñido con control de variables**

Sara Cristina Uribe González

Para optar al título de Ingeniero Químico

Asesor interno

Felipe Bustamante Londoño, PhD

Asesor externo

Alejandro Valencia C

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería química

Medellín

2023

---

<b>Cita</b>	(Uribe González, 2023)
<b>Referencia</b>	Uribe González, S. C. (2023). <i>Escalamiento y evaluación de reproducibilidad de proceso de teñido con control de variables</i> . [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga.

**Jefe Departamento:** Lina María González Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

*Dedico este trabajo a mi madre Piedad Cecilia Uribe González, el motor de mi vida.*

## **Agradecimientos**

*Infinitas gracias a la Universidad de Antioquia por ser el escenario de aprendizaje más representativo en mi vida.*

*Agradezco a mi familia, amigos y novio por ser un apoyo fundamental en este largo y emocionante camino.*

*Agradezco a cada uno de mis profesores, y en especial a Felipe Bustamante por su acompañamiento en mi proceso de formación los últimos años.*

*Gracias a la empresa TINTATEX, que me abrió las puertas y me permitió conocer personas increíbles que compartieron todo su conocimiento y experiencia en el tema.*

## Tabla de contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
1 Objetivos .....	13
1.1 Objetivo general .....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 Marco teórico .....	14
2.1 Fibras textiles .....	14
2.2 Propiedades de las fibras textiles más importantes .....	16
2.3 Tratamientos preliminares .....	20
2.4 Colorantes.....	20
2.5 Fases del proceso de teñido .....	22
2.6 Productos auxiliares .....	24
2.7 Agua .....	26
2.8 Relación de baño .....	26
3 Metodología.....	27
3.1 Revisión del comportamiento de los colorantes.....	27
3.2 Chequeo de la formula actual.....	30
3.3 Reformulación de color .....	33
3.4 Evaluación de la influencia del pH, relación de baño, cantidad de sal, auxiliares, reacción y baño reductivo en el tono .....	35
3.5 Implementación de la nueva formulación .....	39
3.6 Reproducibilidad en planta.....	39
4. Resultados .....	40

4.1 Tono verde manzana .....	40
4.2 Tono rojo .....	40
4.3 Tono verde militar .....	42
5. Análisis .....	43
6. Conclusiones .....	46
7. Recomendaciones .....	48
Referencias .....	49
Anexos.....	51

## **Lista de tablas**

Tabla 1. Composición del algodón.....	16
---------------------------------------	----

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura de la celulosa. (Química Orgánica Industrial, s.f.).....	16
Figura 2. Reacción de la formación de viscosa. (Colaboradores de los proyectos Wikimedia, 2006).....	17
Figura 3. Estructura del tereftalato de polietileno. (Colaboradores de los proyectos Wikimedia, 2006a).....	18
Figura 4. Estructura de las poliamidas 6 y 6,6. (Kumar Parthipan, 2017).....	19
Figura 5. Estructura del spandex. (Archivo:Elastano estructura.jpg - Wikipedia, la enciclopedia libre, s.f.).....	19
Figura 6. Esquema de las etapas de la tintura.(Cegarra Jose et al., 1981).....	21
Figura 7. Curva de teñido (a) colorante directo, (b) colorante reactivo y (c) colorante disperso ..	29
Figura 8. Cinética (a) colorante directo, (b) colorante reactivo y (c) colorante disperso.....	30
Figura 9. Formula original del tono verde manzana. ....	31
Figura 10. Formula original del tono rojo. ....	32
Figura 11. Formula original del tono verde militar.....	33
Figura 12. Recomposición de color del tono rojo. ....	34
Figura 13. Recomposición de color del tono verde militar. ....	35
Figura 14. Fórmula empleada en los experimentos sobre la decisión de auxiliares. ....	37
Figura 15. Fórmula empleada en los experimentos sobre la cantidad de igualador y dispersante.	38
Figura 16. Fórmula final tono verde manzana. ....	40
Figura 17. Fórmula final tono rojo. ....	41
Figura 18. Fórmula final tono verde militar. ....	42



## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

**RB**

Relación de baño

**Tg**

Temperatura de transición vítrea

**PET**

Tereftalato de polietileno

---

## Resumen

La industria textil satisface una de las necesidades vitales del hombre y es uno de los sectores manufactureros de mayor importancia para el desarrollo de la economía Nacional. Este trabajo es un estudio realizado en la empresa TINTATEX, una compañía que ofrece servicios de acabado y tintorería, sobre las condiciones óptimas de reproducibilidad del proceso de tintura con colorantes reactivos, dispersos y directos en tejidos compuestos de poliéster y algodón, por medio del análisis de tres tonos específicos del catálogo de la empresa. Para ello, se reconocieron las condiciones actuales, se realizó un análisis de sensibilidad a escala de laboratorio para establecer las circunstancias y/o factores más viables para el proceso y a fin de realizar algunas modificaciones, y finalmente se validó a través de operación en planta. En este proyecto se pudo establecer el efecto de las condiciones de operación, tales como temperatura, pH, gradiente de calentamiento y dosificación de los productos químicos utilizados en la reacción del algodón con colorantes reactivos, en la viabilidad del proceso, además de la influencia de incrementar o reducir algunos de los auxiliares utilizados en el proceso de teñido. El resultado final, el cual trajo consigo la reformulación de tres tonos (verde manzana, rojo y verde militar) permitió concluir que el control minucioso del pH favorece la intensidad del tono, de manera tal que no es necesario incrementar cantidades de compuestos como electrolito, soda cáustica y álcali que aceleran y mejoran la velocidad de transferencia. Por otro lado, un bajo gradiente de calentamiento en la tintura del colorante disperso garantiza un aumento controlado de las superficies amorfas del poliéster favoreciendo la uniformidad y orden en la difusión, migración, absorción y fijación de las moléculas hacia la fibra y, finalmente, la dosificación en dos o tres partes de la cantidad de reacción (álcali y soda caustica) en la tintura de los colorantes reactivos garantiza una velocidad de circulación controlada que permite una absorción proporcional en cada una las superficies puestas en contacto.

*Palabras clave:* poliéster, algodón, colorantes, tono, pH, dosificación, gradiente.

---

## Abstract

The textile industry satisfies one of man's vital needs and is one of the most important manufacturing sectors for the development of the national economy. The following work is a study carried out in TINTATEX, a company that offers finishing and dyeing services on the optimum conditions of reproducibility of the dyeing process with reactive, disperse and direct dyes in polyester and cotton fabrics by means of the analysis of three specific shades of the company's catalog. For this purpose, the current conditions were recognized, a sensitivity analysis was carried out at laboratory scale to establish the most viable circumstances and/or factors for the process and in order to carry out some modifications and finally it was validated through plant operation. In this project it was possible to establish the effect of the operating conditions such as temperature, pH, heating gradient and dosage of the chemicals used in the reaction of cotton with reactive dyes on the viability of the process, in addition to the influence of increasing or reducing some of the auxiliaries used in the dyeing process. The final result, which brought about the reformulation of three shades (apple green, red and military green) allowed concluding that the careful control of the pH favors the intensity of the shade in such a way that it is not necessary to increase quantities of compounds such as electrolyte, caustic soda and alkali that accelerate and improve the transfer speed, on the other hand, a low heating gradient in the dyeing of the disperse dye guarantees a controlled increase of the amorphous surfaces of the polyester favoring uniformity and order in the diffusion, migration, absorption and fixation of the molecules towards the fiber, and finally, . the dosage in two or three parts of the reaction quantity (alkali and caustic soda) in the dyeing of the reactive dyes guarantees a controlled circulation speed that allows a proportional absorption on each of the surfaces put in contact.

*Keywords:* polyester, cotton, dyes, hue, pH, dosage, gradient

---

## Introducción

Actualmente, el sector textil en Colombia cuenta con 10.000 plantas formales de producción manufacturera, emplea a más de 450.000 personas y produce 950 millones de metros cuadrados de tela al año (Gonzalez Litman, 2016). Es, además, una de las industrias más antiguas cuyo rol en el desarrollo de la economía del País juega un papel muy importante en tanto es un insumo de primera necesidad a nivel mundial.

Dada la elevada demanda, este sector cuenta con alta competitividad, lo que conlleva grandes exigencias en producción y negociación en aras de ofrecer un producto de calidad, siendo algunos obstáculos la baja eficiencia en producción, entregas de pedidos de baja calidad, cancelación de pedidos y penalidades para las empresas ocasionadas por la entrega de estos fuera del plazo acordado, asuntos que requieren acción inmediata y toma de decisiones contundentes.

Empresas como TINTATEX, en la cual centraremos la mirada en este trabajo, no son ajenas a las dificultades mencionadas. TINTATEX, una compañía con trayectoria y reconocimiento desde 2005, tiene como misión lograr un servicio de acabado textil con orientación al cliente, buscando la integración de servicios de la cadena textil que permitan rentabilidad, crecimiento sostenible en el tiempo y calidad de vida laboral.

Mediante un proceso de observación, diálogo y análisis permanente con operarios, supervisores y directores, se ha logrado determinar que un área de mejora en TINTATEX son los reprocesos. La principal causa de este problema es la variabilidad en la reproducibilidad de colores en textiles, de tal modo que aproximadamente en una a tres toneladas (de treinta y siete que se tiñen a diario) el tono del tejido no cumple con los requisitos establecidos para su comercialización (por ejemplo, hay grandes diferencias entre lotes de producción).

Este trabajo se enfocará en el área de tintorería, que es el área de mayor impacto dentro de la empresa, y tiene como objetivo principal optimizar las variables involucradas (pH, temperatura, tiempo de residencia, difusión, presión, gradientes de calentamiento o enfriamiento) en la reproducibilidad/escalamiento del proceso de teñido. Para ello, se llevará a cabo un análisis bibliográfico exhaustivo y una serie de pruebas en el laboratorio, con el fin de llegar a las condiciones que favorezcan el cumplimiento de las especificaciones en cuanto a color establecidas por el cliente.

---

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Determinar las condiciones óptimas de reproducibilidad del proceso de tintura con colorantes reactivos, dispersos y directos en algunos de los tejidos que maneja TINTATEX, compuestos de fibras de diferente naturaleza.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar las condiciones actuales del proceso de teñido que no permiten una reproducibilidad eficiente.
- Realizar un análisis de sensibilidad a los datos a escala de laboratorio para establecer las circunstancias y/o factores más viables para el proceso.
- Validar las condiciones de proceso obtenidas en Laboratorio a través de operación en planta.
- Definir una ruta para el proceso de tintura en favor de optimizar recursos como el consumo de insumos químicos y agua.
- Proponer un método de estandarización de calidad en el proceso de tintorería que facilite la disminución de inconvenientes por tono.

---

## 2 Marco teórico

### 2.1 Fibras textiles

Son un conjunto de filamentos o hebras susceptibles a formar hilos. Para ser considerada como una fibra textil, se deben reunir varias condiciones estructurales y cualidades como: flexibilidad, elasticidad, higroscopicidad y *regain*, finura, longitud, resistencia a la tensión, compresión y abrasión, forma y estabilidad prolongada a temperaturas por debajo de la de transición vítrea.

- Flexibilidad: Hace referencia a la habilidad o facilidad con la cual los tejidos pueden ser doblados sin disminuir su resistencia a la rotura.
- Elasticidad: Capacidad para recuperar total o parcialmente la longitud original luego de ser sometida a una deformación por acción de una carga de estiraje.
- Resistencia a la tensión: Es el máximo esfuerzo de tensión que un cuerpo puede soportar antes de romperse.
- Higroscopicidad/*regain*: La higroscopicidad hace referencia a la capacidad de una fibra de absorber y retener la humedad del aire. Por otro lado, el *regain* es la masa de agua contenida en la fibra por sí misma dada su naturaleza en relación con su peso seco a condiciones normales.
- Finura: Se refiere al grosor uniforme que conserva la fibra a través de todo el filamento.
- Longitud: Característica física que se utiliza para medir la distancia o largo de los objetos o cosas. La fabricación de hilos finos y gruesos se hace en función de esta propiedad y puede modificarse en los procesos de hilatura, al sufrir fraccionamiento. Se dividen en:
  - Fibras continuas: Fibras de longitud constante, teóricamente ilimitada.
  - Fibras discontinuas: Fibras de pequeña longitud, generalmente de algunos centímetros (menor o igual a 12 cm) (Vocabulario básico de los geotextiles., 2013)
- Resistencia a la abrasión: Es la capacidad de una fibra de soportar, absorber y disipar eficazmente las fuerzas de rozamiento sin daño.
- Forma: Silueta/configuración definida, uniforme y constante.

- 
- Resistencia a la compresión: Capacidad de una masa de fibras de recuperar su volumen después de haber sido sometida a una fuerza de compresión.
  - Temperatura de transición vítrea: En el caso de fibras con polímeros amorfos, es la temperatura en la cual un polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a otro blando y maleable (Muñoz Pinto, 2014).

En relación con su origen, las fibras textiles pueden ser de tres tipos: **naturales, artificiales y sintéticas:**

- Fibras naturales: Se encuentran en la naturaleza y no requieren de una transformación química inicial. Se clasifican en:
  - Fibras vegetales: Se obtienen de la celulosa de tallos, hojas, frutos o semillas de distintas plantas. Entre las fibras de este origen está el algodón que se extrae de la velloidad de algunas semillas; el lino y el cáñamo que provienen de los tallos; el sisal que sale de los follajes; y el bonote que se obtiene de las cáscaras del coco.
  - Fibras animales: Están constituidas principalmente por materia proteínica y las principales son la lana y la seda.
  - Fibras minerales: Se obtiene mediante el procesamiento de vidrio, de roca, de escoria y de cerámicas refractarias. Entre las principales se encuentran la fibra de vidrio y metales, y el asbesto o amianto, el cual ha sido sustituido por fibras sintéticas ya que su inhalación al ser manipulado causa cicatrización del tejido pulmonar y falta de aire.
- Fibras artificiales: Parten de polímeros naturales, pero necesitan tratamientos químicos previos para su regeneración. Entre ellas se encuentran el rayón viscosa, el acetato de celulosa, vicora, ardil, etc.
- Fibras sintéticas: Se obtienen a partir de síntesis química y utilizan como materia prima productos de origen petroquímico. Son muy variadas, generalmente termoplásticos, aunque dentro de su amplitud pueden considerarse fundamentalmente las siguientes: poliamídicas (nylon), poliésteres, acrílicas, vinílicas y poliolefínicas (Bukele Kattan, 1969).

---

## 2.2 Propiedades de las fibras textiles más importantes

Entre las fibras naturales se distingue el **algodón**. Es una fibra producida por una familia de plantas del género *Gossypium*. Su composición varía según su procedencia y variedad, pero está constituida principalmente por:

Tabla 1. Composición del algodón.

Materia	Porcentaje [%]
Celulosa	80-90 (ver figura 1)
Agua	6-8
Pectinas	4-6
Ceras y grasas	0,5-1
Proteínas	0-1,5
Cenizas	1-1,8

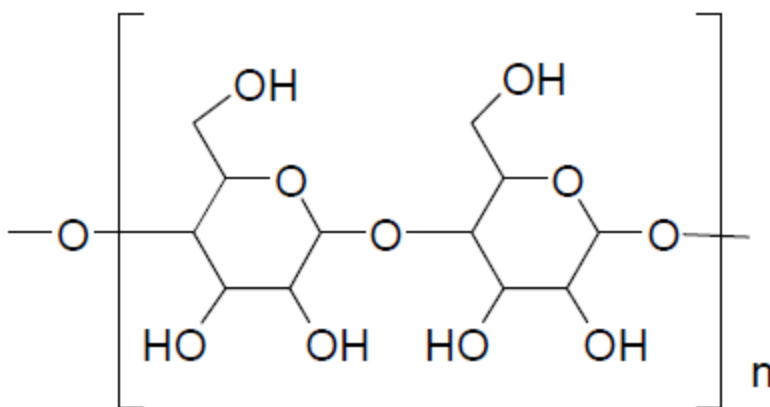


Figura 1. Estructura de la celulosa. (Química Orgánica Industrial, s.f.)

Se caracteriza principalmente por ser resistente y duradero frente al uso continuo y lavado, cuenta con gran capacidad para absorber la humedad, es muy versátil, tiene suavidad notable y, finalmente, permite que el aire fluya libremente. Dentro de sus desventajas se encuentra que es sensible a los microorganismos y a la luz solar; además, tiene muy poca flexibilidad por lo que las prendas se encogen al lavarse y necesitan de calor para no tener arrugas.

Entre las fibras artificiales se encuentra el **Rayón viscosa**. Este se obtiene a partir de la pulpa de celulosa extraída de ciertos árboles (eucaliptos, bambús, pinos, etc.) y del linter del algodón. La celulosa se impregna en una solución de soda caústica (NaOH) y se comprime, obteniendo así una



pulpa seca llamada celulosa de álcali ( $C_6H_9O_4ONa$ ). Luego, esta pasta desmenuzada, con apariencia similar al aserrín, se mezcla con una cantidad de bisulfuro de carbono ( $CS_2$ ) para formar un polvo de color naranja llamado xantato celulósico de sodio ( $CS_2NaOC_6H_9O_4$ ). Finalmente, este material plástico soluble se mezcla con agua y con nuevas cantidades de soda cáustica diluida, hasta llegar a una solución viscosa que se parece mucho a la miel (Fuentes G, 1972).

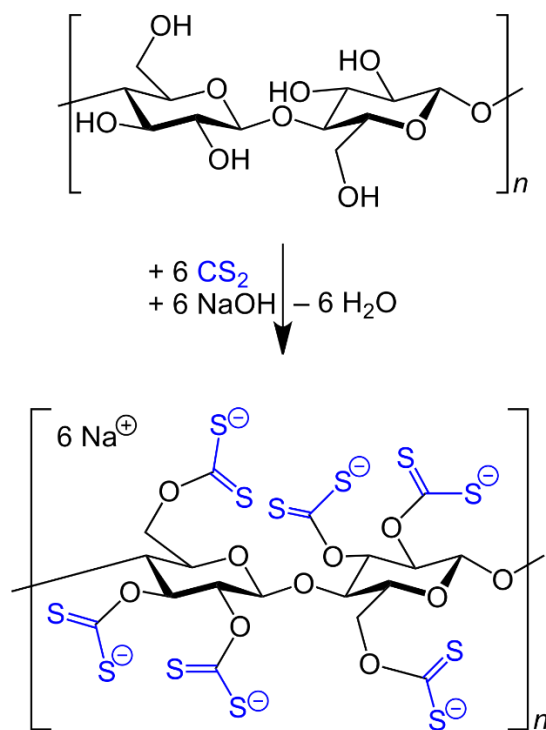


Figura 2. Reacción de la formación de viscosa. (Colaboradores de los proyectos Wikimedia, 2006)

Esta fibra se distingue especialmente por el alto lustre que le otorga brillantez, la baja tenacidad y elevado alargamiento a la rotura por tracción, baja resistencia a la abrasión, sensibilidad a los microorganismos, y, por último, baja resiliencia, es decir, poca capacidad para recuperarse de las arrugas después de experimentar compresión o aplastamiento.

Entre las fibras sintéticas se destacan el poliéster, el elastano y las poliamidas.

**Poliéster:** Obtenido de una reacción de transesterificación de dimetiltereftalato con etilenglicol. Su unidad fundamental es el politereftalato cuya cadena contiene un mínimo del 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico

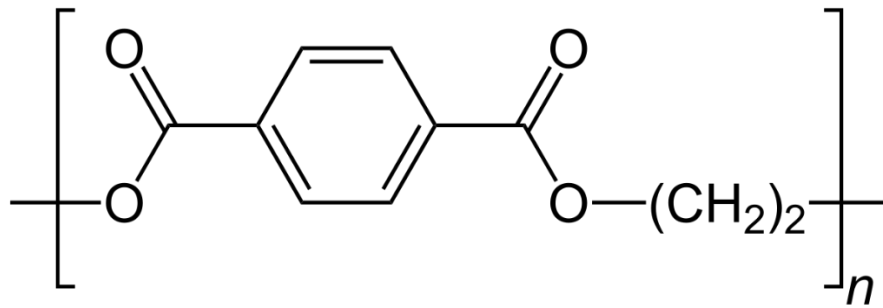


Figura 3. Estructura del tereftalato de polietileno. (Colaboradores de los proyectos Wikimedia, 2006a)

Tiene bajo *regain* estándar, lo que la hace muy apta para mezclarla con fibras naturales y mejorar su comportamiento, especialmente la facilidad de secado. Presenta buena resistencia a la abrasión, superada solo por la poliamida y poliolefina, y una buena resistencia a la luz solar y agentes atmosféricos.

Experimenta un bajo encogimiento al lavado. Por su elevada resiliencia, las arrugas desaparecen al colgar las prendas en húmedo. Presenta una elevada estabilidad dimensional, es decir, mantiene su tamaño incluso bajo condiciones ambientales cambiantes. Es termoplástico con memoria térmica, permitiendo el termofijado y el texturizado. Es un gran aislante eléctrico y tiene una excelente resistencia a los hipocloritos, oxidantes, reductores y a los disolventes orgánicos usados en el lavado en seco. También muestra buena resistencia a la polilla, bacterias y hongos (Eduardo & Lavado, 2013)

**Poliamida:** Existen diferentes tipos, con propiedades físicas y químicas similares: no se pudren, resisten al moho y no son atacadas por los insectos, presentan bajo encogimiento al lavado, resisten los lavados a alta temperatura y tienen una elevada resiliencia, por lo que los tejidos no se arrugan. Adicionalmente, presentan elevada resistencia a la abrasión y a la tracción, se cargan mucho de elasticidad estática y resisten poco la exposición prolongada a luz solar.

- Poliamida 6: obtenida de la caprolactama y tiene seis átomos de carbono.
- Poliamida 6,6: obtenida por la condensación de la hexametildiamina y el ácido adípico, que le otorgan a la molécula doce átomos de carbono en cada unidad de repetición (Eduardo & Lavado, 2013)

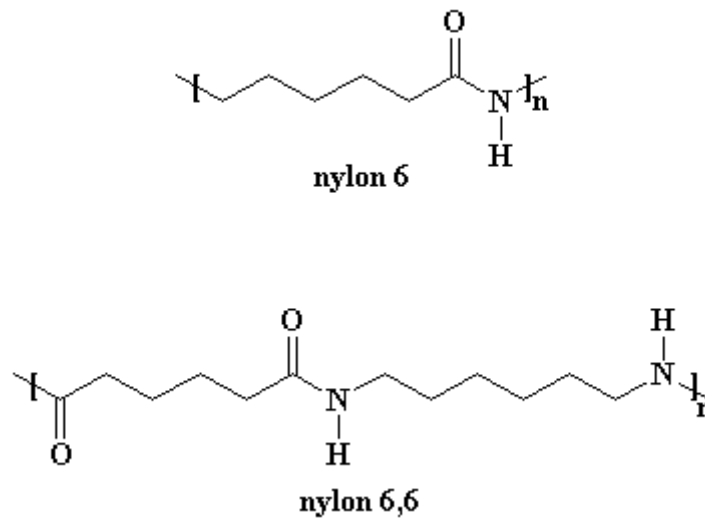


Figura 4. Estructura de las poliamidas 6 y 6,6. (Kumar Parthipan, 2017)

**Elastano:** Se le conoce también como *spandex*; es un poliuretano segmentado a base de un éter polibutilénico que actúa como resorte entre los grupos funcionales de poliuretano. Se utiliza conjuntamente con otras fibras para fabricar tejidos óptimos para ropa interior, ropa femenina, calcetines, ropa deportiva y ropa de baño, ya que gracias a sus propiedades elásticas otorga libertad de movimientos.

Los porcentajes de elastano que se pueden incorporar a los tejidos son muy variables. Con tan solo un 2% se mejora sustancialmente la retención de la forma del tejido. Contribuye a que las prendas no se arruguen (Eduardo & Lavado, 2013)

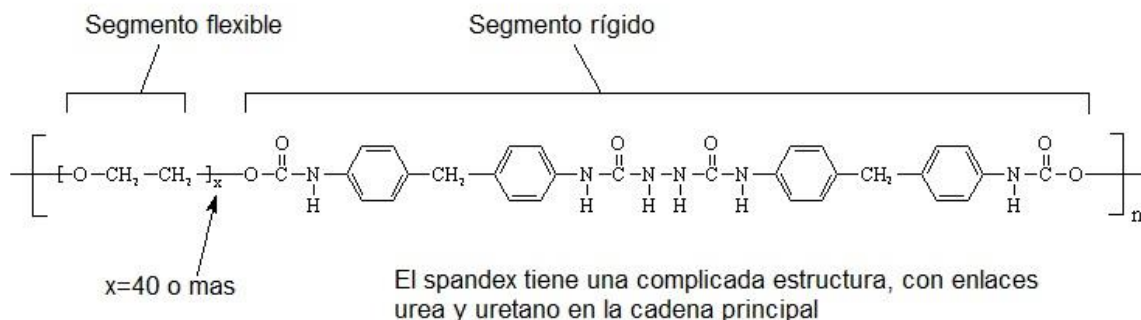


Figura 5. Estructura del spandex. (Archivo:Elastano estructura.jpg - Wikipedia, la enciclopedia libre, s.f.)

---

## 2.3 Tratamientos preliminares

Hacen referencia a todos aquellos procesos que alteran física o químicamente el tejido antes de pasar al proceso de tintorería. En este caso, los procesos son lavado, termofijado, perchado y cepillado.

- Lavado: El propósito es eliminar de los hilos los agentes de preparación y/o remover las impurezas adquiridas en el proceso de tejeduría, almacenamiento y distribución.
- Termofijación: Se realiza con el fin de relajar las tensiones y eliminar materiales extraños en el tejido, para mejorar su afinidad con los colorantes y tratamientos de acabado. También, para mejorar la estabilidad dimensional de estos.
- Cepillado: El cepillado cambia el estilo físico de la tela. Consiste en la extracción del cuerpo del hilo con el fin de cubrir toda la superficie con una capa de pelusa corta, densa y fina.
- Perchado: Se extraen fibras de trama a la superficie, produciendo una capa de pelo que cubre toda la superficie del tejido. Este proceso le confiere a la tela calor extra que almacena el espesor, actuando como aislante del tejido; disimula y difumina el ligamento, mejora el tacto y suavidad y le da la capacidad de repeler el agua y manchas.

## 2.4 Colorantes

El color es un fenómeno físico a través del cual se perciben visualmente a nivel cerebral los diferentes estímulos de luz que son parte de la porción visible del espectro electromagnético y que se presentan con diferentes longitudes de onda (Rodríguez, 2015). Está asociado a la energía involucrada en las transiciones electrónicas que puedan sufrir sus átomos y enlaces de las moléculas que la constituyen.

En el ámbito textil, mediante un conjunto de procesos químicos se le da al tejido un cambio en su coloración para que de esta manera se pueda incrementar su valor económico y artístico. Esta etapa del proceso se llama tintorería y comprende básicamente cinco pasos:

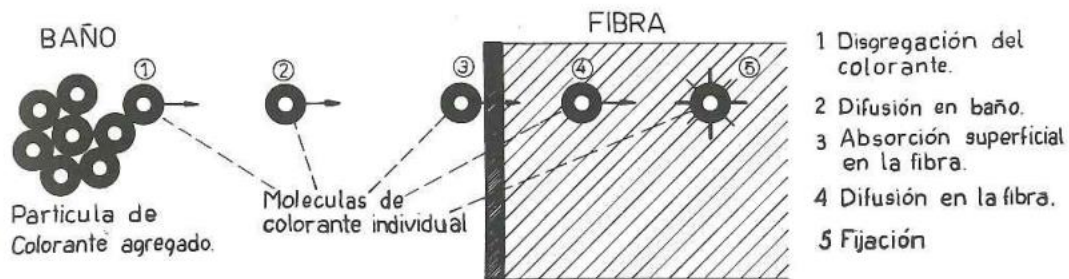


Figura 6. Esquema de las etapas de la tintura. (Cegarra Jose et al., 1981)

Un colorante es una combinación de estructuras no saturadas que contienen ciertos grupos conocidos como cromóforos y auxocromos. Los primeros son los que imparten el color a la molécula, es decir, son los que determinan el matiz del colorante, y los segundos son los encargados de intensificar el color y mejorar la afinidad del colorante por la fibra, ya que son responsables del tipo y velocidad de reacción.

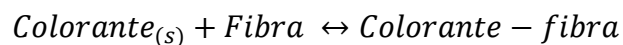
Los colorantes se clasifican en:

- Colorantes directos: Aquellos que contienen grupos polares ( $\text{RNH}_3^+$ ,  $\text{SO}_3^-$ , etc.); son aplicables directamente en solución y se adhieren a las fibras por interacciones electrostáticas o por la formación de sales. Por costumbre se conocen como colorantes directos aquellos aniónicos que tienen especial afinidad por fibras celulósicas, en este grupo se encuentran:
  - Colorantes ácidos: aniónicos solubles en agua que contienen grupos ácidos como:  $\text{SO}_3\text{H}$ ,  $\text{CO}_2\text{H}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{OH}$  (fenólicos) y por lo tanto pueden teñir fibras con grupos básicos como la seda, la lana y la poliamida, fijándose por formación de sales.
  - Colorantes básicos: catiónicos solubles en agua con grupos básicos como  $\text{NHMe}_2^+$ ,  $\text{NH}_2\text{Me}^+$ ,  $\text{NMe}_2$ ,  $\text{NH}_2$ ; tienen afinidad por las fibras con grupos ácidos como las de lana, seda, poliacrilonitrilo. Las fibras celulósicas pueden ser teñidas con colorantes básicos, pero para fijarlos es necesario pre-tratar la fibra con una sustancia ácida por ejemplo taninos.
  - Colorantes sustantivos: tienen como grupos polares las sales sódicas, potásicas o de amonio de un sustituyente ácido sulfónico en la estructura molecular. Los colorantes sustantivos se denominan a menudo, colorantes directos, presentan estructuras alargadas que se adaptan paralelamente a las fibras celulósicas (algodón, lino) a la cual se mantienen unidos por puentes de hidrógeno (colorantes directos simples).

- 
- Colorantes dispersos: Son sustancias poco solubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos y/o en fibras sintéticas no polares. Se aplican a partir de una suspensión acuosa, casi coloidal, con la ayuda de agentes dispersantes, generalmente jabones, que se conocen como *Dye Carriers*, con el fin de que la fibra extraiga el colorante de la dispersión y forme una solución sólida. Los colorantes dispersos pueden ser del tipo de alta, media o baja energía. Los de alta energía tienen mucha resistencia a la sublimación, baja velocidad de difusión en la fibra y requieren de altas temperaturas para su aplicación. Es frecuente el uso de mezclas de colorantes para obtener un tono particular y como cada tipo tiene un rango propio de velocidad para ser transferido a la fibra, sólo pueden mezclarse los colorantes de un mismo tipo para lograrse las tonalidades deseadas.
  - Colorantes reactivos: Bajo este nombre se engloban aquellos que poseen en su molécula un grupo reactivo que se une a la fibra mediante enlaces covalentes formando ésteres o éteres (generan una unión permanente en la fibra que no se elimina ni con lavados ni tratamientos posteriores). Para ello se aprovechan las funciones hidroxilo del algodón y de la lana o el grupo amino de la lana, seda y otras poliamidas. Estos grupos reactivos contienen generalmente halógenos que son sustituidos por las funciones OH y NH de la fibra (Marcano, 2018a).

## 2.5 Fases del proceso de teñido

El proceso de teñido es una reacción química compleja que se produce entre el colorante en dispersión y la fibra sumergida en solución:



Este proceso se lleva a cabo en diferentes etapas:

1. Disolución y dispersión del colorante: en esta primera etapa el colorante, en estado sólido, se equilibra según el baño ya sea de forma molecular o en forma micelar (agregados de muchas moléculas con buena solubilidad) o en forma de micropolvo disperso (microcristales de moléculas de colorante poco solubles).

- 
2. Adsorción: durante esta etapa, por el efecto de la afinidad colorante-fibra, el colorante es retenido en la superficie de la fibra, formando de este modo enlaces químicos con ella.
  3. Difusión: el colorante absorbido en forma molecular por la superficie mediante la ruptura y formación de enlaces muchas veces tiende a penetrar dentro de las fibras a través de sus zonas amorfas, distribuirse homogéneamente y fijarse continuamente. Es la etapa más lenta del proceso y es extremadamente importante, pues establece los tiempos para una buena penetración, esencial para la óptima solidez y, en consecuencia, para una buena relación costo-eficacia y excelente calidad.

Los factores fundamentales son:

- La cristalinidad de la fibra: los colorantes penetran las fibras a través de las áreas amorfas y por lo tanto cuanto mayor es la cristalinidad, menor es la velocidad de difusión.
- El tamaño molecular del colorante: en colorantes son tamaño de molécula más grande se hace más difícil su difusión a través de las zonas amorfas.
- La fuerza del enlace colorante-fibra (afinidad): mientras más fuerte sea, más difícil será la difusión.
- Temperatura de teñido: el aumento de la temperatura facilita el rompimiento del enlace colorante-fibra y libera los enlaces intramoleculares de las fibras. Esto conduce a un hinchamiento de las mismas y hace la difusión más rápida, pero al mismo tiempo reduce la afinidad y por lo mismo el agotamiento del baño (Eduardo & Lavado, 2013)

La velocidad de la transferencia depende de la difusión del colorante en la fibra, es decir de su movilidad iónica o molecular, y de la constitución de la fibra. La velocidad se expresa por la ley general de difusión de Fick (Marcano, 2018b):

$$\frac{dm}{dt} = DS \frac{dc}{dx}$$

Donde:

$\frac{dm}{dt}$  es la cantidad de colorante que se difunde durante el tiempo

$S$  es la sección transversal

$\frac{dc}{dx}$  es el gradiente de concentración del colorante en función de la distancia

$D$  es el coeficiente de difusión, que en los colorantes es del orden de  $10^{-7}$  a  $10^{-10}$

---

## 2.6 Productos auxiliares

Los auxiliares del teñido forman un grupo muy heterogéneo de compuestos químicos que aceleran, incrementan y mejoran la calidad del teñido.

Algunos de los auxiliares comúnmente usados son:

- **Humectantes:** reducen la tensión superficial en la preparación facilitando la saponificación y ayudando a la penetrabilidad del colorante dentro de la fibra ya que hacen que la fibra gane hidrofiliidad.
- **Detergentes:** son mezclas de sustancias no iónicas y/o aniónicas que actúan sobre la tensión superficial de los baños de tratamiento con el fin de deshacer y eliminar la suciedad de los sustratos. Una característica adicional de los detergentes es su capacidad de eliminar suciedades de tipo oleoso. Además de sus propiedades principales, los detergentes también deben vigilar la formación de espuma y sus características humectantes para poder ser usados en las máquinas actuales.
- **Dispersantes:** disgregan el colorante en los baños de tintura y lo distribuyen de manera uniforme en el medio. Se basan en polímeros, alcoholes grasos muy etoxilados y sulfonatos. Existen dos tipos en aplicaciones textiles: surfactantes y coloides protectores. Los primeros actúan como agente humectante para reducir la tensión superficial y permitir una mayor cantidad de esparcimiento y los segundos son utilizados en los casos donde el porcentaje de color supera el 3% y cumplen la función de agentes estabilizantes, ya que retrasan o hacen más lenta la aproximación sólido-líquido con el fin de garantizar una distribución más uniforme.

Teniendo en cuenta que dependen de la cantidad de color y que es gracias a ellos que se da o no una buena disgregación, se recomienda utilizarlos en un porcentaje equivalente a la dosis de color.

- **Igualadores:** distribuyen el baño de tintura en el sustrato de manera homogénea, mejorando la uniformidad del agotamiento y evitando las desigualdades del color. Dado que, aunque tienen afinidad por el colorante, realmente la reacción se da es con la fibra, se recomienda utilizarlos en una porción de 1/2 o 1/3 según el porcentaje de color.



- 
- **Secuestrantes:** eliminan los metales pesados y alcalinotérreos de las fibras vegetales y el agua.
  - **Antiespumantes:** reducen la tensión superficial entre el baño de tratamiento y el sustrato provocando una humectación espontánea del material sin presencia de espuma.
  - **Antiquiebres:** confieren buenas propiedades deslizantes y reducen el efecto mecánico sobre el material en todos los procesos en húmedo necesarios para su tintura.
  - **Buffers (tampones):** se utilizan para asegurar el valor requerido de pH sobre el material en el baño de tintura independientemente de la temperatura (Eduardo & Lavado, 2012) sin causar reacción con otras sustancias. Generalmente se utilizan ácidos débiles, los cuales solo se disocian parcialmente en la solución y no involucran/afectan el color y la fibra o bases fuertes, la base conjugada de un ácido débil que se ionizan completamente en una solución acuosa.
  - **Carrier:** Funciona como acelerador en el proceso del teñido del poliéster, ya que propicia una mayor dispersión a menor temperatura y tiempo.
  - **Jabonador:** Remueve el color residual en la etapa final del proceso de tintura y neutraliza la tela para ser llevada al proceso siguiente.
  - **Reductor:** elimina la porción de colorante que no alcanza a absorber el poliéster y limpia el algodón. El más común es el Hidrosulfito de Sodio, una sal inorgánica inflamable que se descompone naturalmente ante la luz y humedad. Una vez utilizado deber ser removido ya que, para tinturas posteriores como en el caso de un poliéster algodón, no permite el paso del colorante hacia la fibra vegetal y puede reaccionar con el cromóforo de los colorantes reactivos/directos para formar otros productos no deseados.
  - **Álcali:** Base fuerte que solidifica el enlace químico entre la fibra y el color garantizando una condición de pH exacta.
  - **Electrolito:** Utilizado en los procesos de tintura que involucran colorantes directos y reactivos. Cumple la función de puente de carga debido a que contrarresta las cargas negativas de la celulosa facilitando la aproximación del colorante a la fibra de forma que las fuerzas de afinidad venzan las fuerzas de repulsión, ya que tanto la fibra como el colorante poseen la misma carga eléctrica.

---

## **2.7 Agua**

Es el solvente en el que se realiza el proceso de teñido y actúa como medio de intercambio químico, de transferencia de calor, de transporte mecánico y de mecanismo disolutor (Eduardo & Lavado, 2012). Es una sustancia polar inerte, que posee control de su fase líquida y es fácil de remover, además, no aporta cromóforos y no cambia las propiedades físicas y químicas de la tela.

## **2.8 Relación de baño**

Se define como la cantidad de agua (litros) utilizada para teñir un kilogramo de materia textil. La R:B incide principalmente en la reproducibilidad del color de laboratorio a planta y la repetibilidad del color de lote a lote. Varía desde 1:2.7 (2.7 L/kg) hasta 1:10 (10 L/kg), dependiendo de las características estructurales de las máquinas.

---

### 3 Metodología

Con el fin de conocer el estado actual del proceso de teñido, se realizó en el laboratorio un análisis exhaustivo de la fórmula de tres de los tonos que se realizan con frecuencia en TINTATEX y tienen una desviación en cuanto a color en comparación al estándar. Los tonos asignados fueron verde manzana, rojo y verde militar, y el procedimiento constó de los siguientes pasos:

#### 3.1 Revisión del comportamiento de los colorantes

El primer acercamiento a la fórmula consistió en la evaluación de cada uno de los colorantes (también llamadas “básicas”) usados en los tres tonos asignados. Para ello, inicialmente se tiñeron, para cada uno, 10 g de tela (base de cálculo estándar) de una referencia específica según el tipo de colorante a diferentes concentraciones. Por ejemplo, para los colorantes reactivos y directos se usó una referencia cuya composición era algodón en un 100% y para los colorantes dispersos otra compuesta en su totalidad de poliéster.

La finalidad de estos ensayos era conocer la intensidad de cada colorante a diferentes concentraciones. Las tres fórmulas, en total, contenían 2 tipos de colorantes directos, 5 colorantes reactivos y 6 colorantes dispersos, de los cuales este informe reserva su nombre por efectos de confidencialidad solicitados por la Compañía. Los porcentajes de color definidos para realizarlos fueron: 0.01%, 0.1% y 1% para un total de 39 ensayos.

El procedimiento en general para teñir las básicas fue el siguiente:

1. Preparación de la tela, la cual incluyó la toma de exactamente 10 g de la misma y, en el caso del algodón, un procedimiento previo llamado blanqueo, el cual tiene como fin eliminar las impurezas del sustrato y obtener un grado de blanco que homogeniza las posibles variaciones no deseadas de tono.
2. Pesaje del porcentaje o toma del volumen de colorante según la concentración del ensayo.
3. Adición de los auxiliares como igualador, antiqiebre, detergente, *buffer*, electrolito, álcali y/o dispersante conforme el tipo de colorante.

- 
4. Ajuste de agua según la RB: a nivel de laboratorio la relación de baño que se maneja es 1:5 (5 L/kg), en este caso, se completó el baño a 50 ml, haciendo la respectiva resta de los componentes agregados previamente en estado líquido.
  5. Puesta en marcha de la curva.

La figura 7 muestra las curvas utilizadas en el proceso de tintura de las básicas de los colorantes directos, reactivos y dispersos respectivamente. En el caso de los colorantes directos, la cantidad utilizada de sulfato de sodio fue 15 g/L para las concentraciones de 0,01% y 0,1% de color, y 30 g/L para la de 1%. En cuanto a los colorantes reactivos, la sal empleada fue 20 g/L, 30 g/L y 50 g/L para el mismo orden de porcentaje de colorante mencionado previamente. Además, la cantidad de álcali fue 5 g/L, 8 g/L y 8 g/L, este último valor de concentración contó adicionalmente con la adición de 1 g/L de soda caustica.

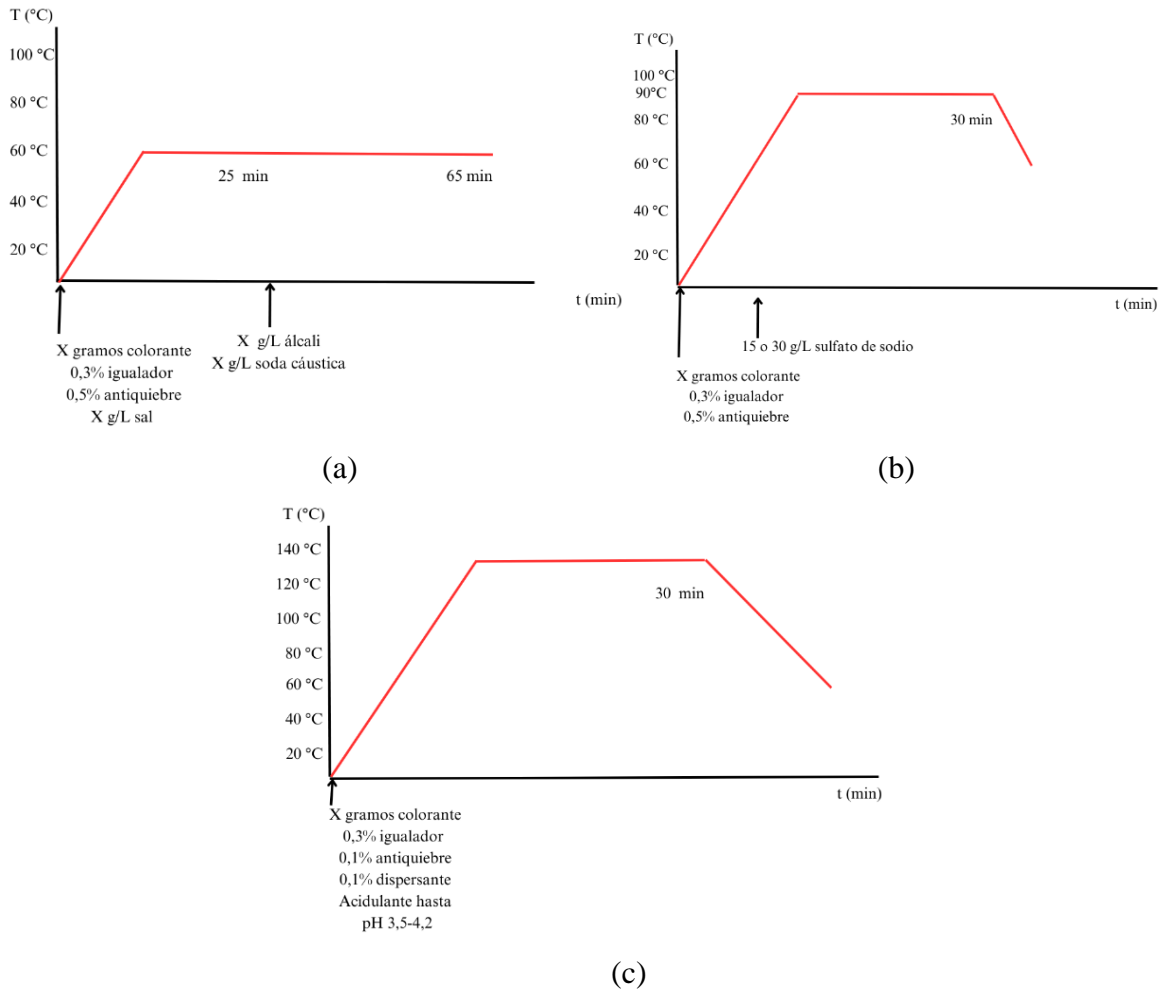


Figura 7. Curva de teñido (a) colorante directo, (b) colorante reactivo y (c) colorante disperso

Adicionalmente, se realizó un seguimiento de cada uno de ellos durante toda la curva de teñido, a propósito de conocer su comportamiento ante la temperatura y la adición de algunas sustancias. Este monitoreo tiene por nombre cinética y sigue el procedimiento utilizado en las básicas, con un elemento diferenciador en cuanto a que se replica en cuantas muestras hayan sido definidas según el paso de temperatura elegido y el tiempo de igualación. Por ejemplo, para la cinética de los colorantes directos se prepararon 11 muestras, todas con la misma cantidad de color y auxiliares y se extrajeron cada 10°C a partir de 60°C, y al inicio, mitad y final del tiempo de igualación. En los colorantes reactivos por otro lado, fueron 9 muestras y la cantidad de álcali se adicionó en dos partes; el retiro de cada muestra se realizó a un promedio de cada 10 minutos, exceptuando la muestra 8 que se sustrajo 30 minutos después de la adición de soda en el caso de concentración de

colorante a 1%. Finalmente, el colorante disperso siguió el mismo procedimiento del colorante directo en el gradiente en cuanto a temperatura y tiempo para un total de 12 muestras. A continuación, en la figura 8, se evidencian cada uno de los momentos en los que fueron extraídos los ensayos:

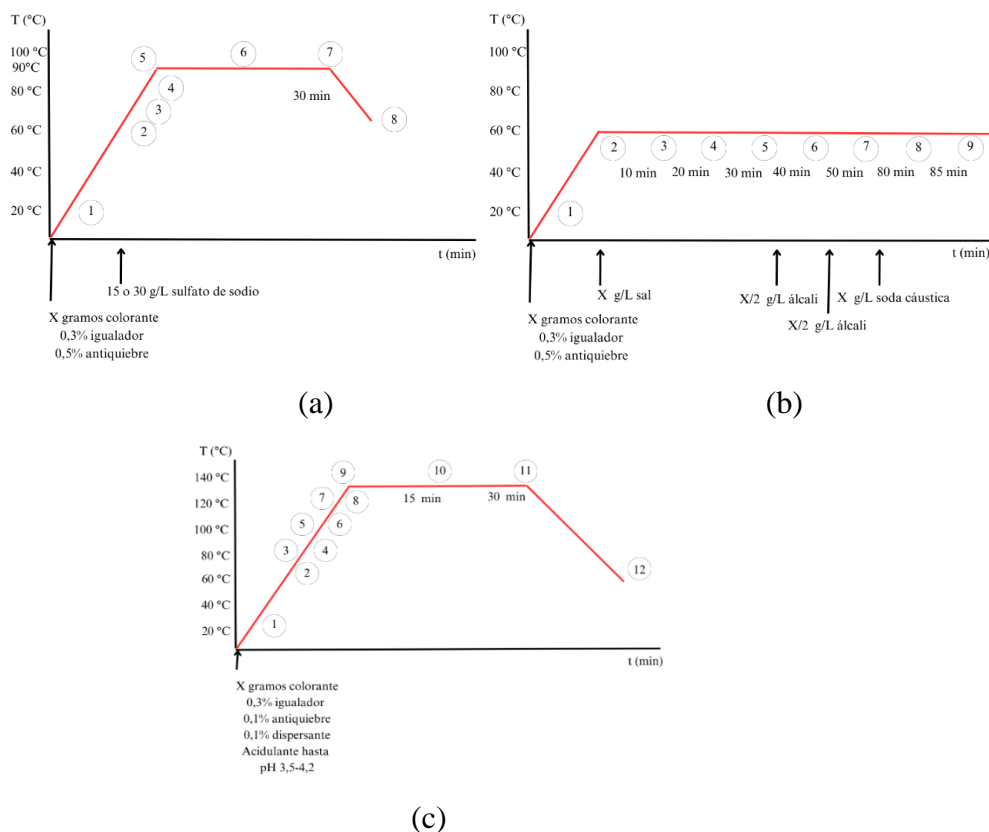


Figura 8. Cinética (a) colorante directo, (b) colorante reactivo y (c) colorante disperso.

### 3.2 Verificación de la fórmula actual

Se llevaron a cabo los ensayos reproduciendo exactamente la misma fórmula aplicada en tintorería a propósito de corroborar si la fórmula que se está aplicando en el momento (ya que por reducción de costos y necesidades cambiantes en el mercado estas a menudo sufren algunas modificaciones) corresponde al estándar con el que cuenta el cliente.

Las fórmulas asimiladas fueron las siguientes:

El tono verde manzana se realizó en una referencia cuya composición es 65% poliéster y 35% algodón en un solo baño tintóreo, es decir, tanto los colorantes dispersos como directos se cargaron al mismo tiempo.

<b>TINTURA DISPERSO/DIRECTO A 130 °C</b>		
Detergente 1DT	0,15	%
Igualador 1A (algodón)	0,4	%
Igualador 1P (poliéster)	0,4	%
Antiquebre 1	0,1	%
Buffer (acidulante)	0,55	g/L
Electrólito	8	g/L
Amarillo 1DS (colorante disperso)	0,045	%
Turquesa 1DS (colorante disperso)	0,18	%
Turquesa 1D (colorante directo)	0,088	%
Amarillo 1D (colorante directo)	0,07	%
<b>BLANQUEO A 80°C</b>		
Soda cáustica	2,5	g/L
Peróxido de Hidrógeno	2,5	g/L
<b>ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN</b>		
Acidulante	2	g/L

*Figura 9. Fórmula original del tono verde manzana.*

En el caso del tono rojo, la composición de la tela fue 60% poliéster, 35% algodón y 5% lycra, y la tintura se dividió en dos partes: en primer lugar, a 130°C se tiñó el poliéster en un baño y, luego del lavado reductivo a 80°C, se cargaron en segundo lugar los colorantes y auxiliares para el procedimiento del algodón. A nivel de laboratorio, etapas como la de lavado y neutralización no se realizaron ya que dada la poca cantidad de tela que se maneja es posible enjuagar y lavar manualmente.

<b>TINTURA DISPERSO</b>		
Antiquebre 2	0,4	g/L
Igualador 1P	0,35	g/L
Acidulante	1,5	g/L
Amarillo 1DS	0,17	%
Rojo 1DS	0,57	%
Rubina 1DS	0,23	%
<b>REDUCTIVO A 80 °C</b>		
Reductor	1,2	%
Soda cáustica	2,8	g/L
<b>TINTURA REACTIVO</b>		
Acidulante	1,2	g/L
Igualador 2A	0,5	g/L
Electólito	70	g/L
Rojo 1R	0,56	%
Rojo 2R	1,6	%
<b>Reacción</b>		
Álcali	3	g/L
Soda cáustica	3	g/L
<b>ETAPA DE LAVADO</b>		
Acidulante	2,3	g/L
Jabonador	1,8	%

*Figura 10. Fórmula original del tono rojo.*

Finalmente, el tono verde militar se realizó en una referencia cuya composición es 80% poliéster y 20% algodón con un procedimiento similar al del anterior. La única diferencia fue en cuanto al lavado reductivo, ya que en este caso no se programa debido a que la cantidad de color no es considerable. De igual manera, se omitieron las etapas de lavado y de neutralización en el laboratorio debido a la posibilidad de realizar la jabonada de manera manual y solo con agua.



TINTURA DISPERSO		
Detergente 1DT	0,125	%
Antiquiebre 1	0,15	%
Igualador 1P	0,3	%
Igualador 3P	0,5	%
Detergente 2DT	0,5	%
Dispersante	0,5	g/L
Buffer	0,8	g/L
Amarillo 1DS	0,19	%
Rubina 2DS	0,045	%
Marino 1DS	0,2	%
ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN		
Álcali	1	g/L
TINTURA REACTIVO		
Igualador 2A	0,3	%
Electrólito	40	g/L
Amarillo 1R	0,53	%
Rojo 3R	0,09	%
Marino 1R	0,31	%
Reacción		
Álcali	2	g/L
Soda cáustica	1,5	g/L
ETAPA DE LAVADO		
Acidulante	1	g/L
Jabonador	0,6	%

Figura 11. Fórmula original del tono verde militar.

### 3.3 Reformulación de color

Después de realizar un análisis y comparación de lo obtenido en el paso anterior con los estándares de tonos que posee el cliente, se propusieron algunas modificaciones en cuanto a la composición de algunos de los colorantes en la fórmula. La pista inicial para realizar esto fue la revisión por separado de los diferentes tipos de fibras que constituyen cada una de las referencias, con el fin de observar en cuál de ellas el tono se acercaba más a lo requerido y ajustar la que no, pues el conjunto de fibras se deben ver compensadas, es decir, deben tener la misma intensidad y matiz.

En primer lugar, en el tono verde manzana se hizo una variación en la cantidad del color amarillo en el algodón, ya que la descomposición en las fibras mostraba claramente que el color faltante era el mencionado.

En segundo lugar, en el tono rojo se realizaron unos ensayos variando el porcentaje de color en el algodón, ya que se evidenció del punto anterior que el baño residual quedaba saturado de color, lo que permitió concluir que hay colorante en exceso y que reducirlo en principio

no cambiaría en gran magnitud el tono final. La fórmula aplicada en cada uno de los experimentos se muestra a continuación en la figura 12.

	1	2	3	4	5	6
<b>TINTURA DISPERSO</b>						
Antiquiebre 2			0,4 g/L			
Igualador 2P			0,35 g/L			
Acidulante			1,5 g/L			
Amarillo 1DS			0,17%			
Rojo 1DS			0,57%			
Rubina 1DS			0,23%			
<b>REDUCTIVO A 80 °C</b>						
Reductor			1,20%			
Soda cáustica			2,8 g/L			
<b>TINTURA REACTIVO</b>						
Acidulante			1,2 g/L			
Igualador 2A			0,5 g/L			
Electólito			70 g/L			
Rojo 1R	0,5 %	0,56 %	0,56 %	0,56 %	0,56 %	0,56 %
Rojo 2R	1,44 %	1,44 %	1,28 %	1,12 %	0,96 %	0,8 %
<b>Reacción</b>						
Álcali			3 g/L			
Soda cáustica			3 g/L			
<b>ETAPA DE LAVADO</b>						
Acidulante			2,3 g/L			
Jabonador			1,8 g/L			

*Figura 12. Recomposición de color del tono rojo.*

En tercer lugar, en el tono verde militar se realizaron 10 ensayos variando entre el 5% y 20% de algunos de los colorantes, en base a la metodología manejada actualmente a nivel de la empresa. En general, si las fibras se ven descompensadas se empiezan a manipular los porcentajes de los colorantes, sea de manera individual por tipo de fibra o ambas al mismo tiempo dependiendo de cuál se encuentre más alejada al estándar. Las cantidades utilizadas en cada una de las muestras se encuentran en la figura 13.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>TINTURA DISPERSO</b>										
Detergente 1DT					0,125%					
Antiquiebre 1					0,15%					
Igualador 1P					0,30%					
Igualador 3P					0,50%					
Detergente 2DT					0,50%					
Dispersante					0,5 g/L					
Buffer					0,8 g/L					
Amarillo 1DS					0,19%					
Rubina 2DS	0,0495%	0,054%	0,045%	0,0495%	0,045%	0,045%	0,045%	0,045%	0,045%	0,045%
Marino 1DS	0,22%	0,24%	0,20%	0,22%	0,20%	0,20%	0,17%	0,18%	0,17%	0,18%
<b>ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN</b>										
Álcali					1 g/L					
<b>TINTURA REACTIVO</b>										
Igualador 2A					0,30%					
Electrólito					40 g/L					
Amarillo 1R	0,53%	0,53%	0,53%	0,53%	0,53%	0,53%	0,5035%	0,5035%	0,53%	0,53%
Rojo 3R	0,081%	0,072%	0,081%	0,072%	0,072%	0,081%	0,081%	0,081%	0,081%	0,081%
Marino 1R	0,279%	0,248%	0,31%	0,279%	0,31%	0,279%	0,2945%	0,2945%	0,31%	0,31%
<b>Reacción</b>										
Álcali					2 g/L					
Soda cáustica					1,5 g/L					
<b>ETAPA DE LAVADO</b>										
Acidulante					1 g/L					
Jabonador					0,60%					

Figura 13. Recomposición de color del tono verde militar.

### 3.4 Evaluación de la influencia del pH, relación de baño, cantidad de sal, auxiliares, reacción y baño reductivo en el tono

Se efectuaron una serie de experimentos variando las cantidades de sal, auxiliares, reacción y baño reductivo partiendo de lo recomendado por la literatura y contemplando si es posible la reducción de costos en fórmula sin afectar el tono. Adicionalmente, se realizaron unos ensayos evaluando un rango de pH en la tintura de los diferentes tipos de colorantes con el objetivo de comprobar su importancia y encontrar el óptimo que favorezca la apariencia, matiz, intensidad y rendimiento de los mismos. Finalmente, se ejecutaron unas pruebas a distintas relaciones de baño, buscando entender y mostrar cómo influye de manera positiva y negativa una mayor cantidad de medio.

---

En el tono verde manzana, la serie de experimentos se realizó de la siguiente manera:

- Se evaluó el pH en un rango de 4,8 y 5,7 a un paso de 0,1 para un total de 11 muestras.
- Se estudió la influencia de la cantidad de igualador tanto del poliéster como del algodón mediante una prueba que comprendió 16 muestras en total, nuevamente a un paso de 0,1% para un rango entre 0,4% y 1,2%.

Por otro lado, para el tono rojo la serie de ensayos comprendió lo siguiente:

- 3 muestras a diferente relación de baño cada una: 1:5 (5 L/kg), 1:7 (7 L/kg) y 1:10 (10 L/kg).
- 10 muestras a diferentes pH (3,3-4,2) en la tintura del colorante disperso, cada 0,1.
- 13 muestras a distintas concentraciones de soda cáustica en el lavado reductivo. 10 de ellas a un paso de 0,1 g/L en un rango de 2,8-1,8 g/L, y las restantes a 0,4, 0,6 y 0,8 g/L respectivamente.
- 6 muestras con una variación de sal de 0,5 g/L partiendo de 70 g/L hasta 85 g/L para un total de 4 y las dos sobrantes a 55 g/L y 60 g/L.

Por último, en el verde militar los experimentos fueron desarrollados así:

- Teniendo en cuenta que la fórmula contaba con dos tipos de igualador y detergente, se realizaron una serie de ensayos en los cuales se evaluó el efecto que tiene omitir algunos de ellos sin afectar el tono final. En total se plantearon 13 escenarios y la distribución se muestra a continuación en la figura 14, donde las casillas en rojo denotan los auxiliares que fueron eliminados de cada muestra:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>TINTURA DISPERSO</b>														
Detergente 1DT	0,125%	■		■		■					■			■
Antiquebre 1	0,15%													
Igualador 1P	0,30%	■			■				■				■	■
Igualador 3P	0,50%		■	■						■			■	■
Detergente 2DT	0,50%		■		■		■	■						
Dispersante	0,5 g/L					■	■	■				■		
Buffer							0,8 g/L							
Amarillo 1DS							0,19%							
Rubina 2DS							0,05%							
Marino 1DS							0,18%							
<b>TINTURA REACTIVO</b>														
Igualador 2A							0,30%							
Electrólito							40 g/L							
Amarillo 1R							0,53%							
Rojo 3R							0,081%							
Marino 1R							0,31%							
<b>Reacción</b>														
Álcali							2 g/L							
Soda cáustica							1,5 g/L							
<b>ETAPA DE LAVADO</b>														
Acidulante							1 g/L							
Jabonador							0,60%							

Figura 14. Fórmula empleada en los experimentos sobre la decisión de auxiliares.

Seguidamente, a partir del mejor escenario de los experimentos anteriores y considerando que la cantidad de igualador debería ser 1/2 o 1/3 del porcentaje de color, y que el dispersante debería estar en la misma cantidad del mismo se desarrollaron 10 ensayos utilizando las cantidades recomendadas y se estudió su influencia. La figura 15 contiene las cantidades empleadas en cada muestra.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>TINTURA DISPERSO</b>										
Detergente 1DT					0,13%					
Antiquiebre 1					0,15%					
Igualador 3P	0,50%	0,21%	0,21%	0,14%	0,14%	0,80%	0,14%	0,21%	0,50%	0,50%
Detergente 2DT					0,50%					
Dispersante	0,83 g/L	0,83 g/L	0,5 g/L	0,83 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L	0,5 g/L
Buffer					0,8 g/L					
Amarillo 1DS					0,19%					
Rubina 2DS					0,045%					
Marino 1DS					0,18%					
<b>TINTURA REACTIVO</b>										
Igualador 2A	0,30%	0,46%	0,46%	0,31%	0,31%	0,30%	0,30%	0,30%	0,46%	0,31%
Electrólito					40 g/L					
Amarillo 1R					0,53%					
Rojo 3R					0,08%					
Marino 1R					0,31%					
<b>Reacción</b>										
Álcali					2 g/L					
Soda cáustica					1,5 g/L					
<b>ETAPA DE LAVADO</b>										
Acidulante					1 g/L					
Jabonador					0,60%					

Figura 15. Fórmula empleada en los experimentos sobre la cantidad de igualador y dispersante.

- Luego, se efectuaron 5 pruebas modificando la cantidad de sal en la tintura del colorante reactivo. Para ello se tomó como base la cantidad de sal que recomienda el proveedor según el porcentaje de color y se examinó el impacto que tiene aumentarla y reducirla según la medida que tiene la formula original (40 g/L). El rango tomado fue 30-55 g/L a un paso de 0,5 g/L exceptuando el valor anteriormente mencionado.
- También, se hicieron 8 ensayos cambiando la cantidad de soda cáustica involucrada en la reacción del colorante reactivo. Se estimó el efecto de no usarla y aumentarla en 2,5 g/L partiendo de la cantidad de la fórmula original con una variación de 0,5 g/L por muestra. Además, se realizó una prueba

---

aumentando la cantidad de álcali en 0,5 g/L y manteniendo constante la cantidad de soda de la fórmula original.

- Finalmente, los experimentos para encontrar el pH óptimo para la reproducibilidad del tono comprendieron 6 muestras. La variación solo se hizo en la tintura del poliéster ya que de todos los ensayos previos se observó que independientemente de la cantidad de soda cáustica y álcali utilizada en la tintura del algodón, el pH se sostenía en los mismos valores sin alteración alguna. El pH ácido evaluado en los colorantes dispersos comprendió el rango de 3,6-4,2 a un paso de 0,1.

### **3.5 Implementación de la nueva formulación**

De los escenarios probados en cada uno de los colorantes en el paso anterior, se eligieron las mejores variaciones, se agruparon y se probaron nuevamente. Además, se realizó la cinética de cada uno de ellos.

### **3.6 Reproducibilidad en planta**

La nueva formulación del color rojo se implementó en planta con un seguimiento riguroso, teniendo en cuenta cada una de las variables consideradas a escala laboratorio, en un lote de 16 rollos, es decir, 406,68 kg a una RB de 1:3,6 (3,6 L/kg) para un volumen total de 1460 L de agua.

## 4. Resultados

Después de realizar cada una de las pruebas que incluyeron recomposición de color, influencia de pH, relación de baño, cantidad de sal, auxiliares, reacción y baño reductivo, la nueva formulación que se propuso para obtener un tono más cercano al estándar en cada uno de los tonos asignados fue la siguiente:

### 4.1 Tono verde manzana

La nueva fórmula, con respecto a la fórmula original, sufrió una modificación en cuanto a la composición de colorante amarillo 1D en el algodón y a la cantidad de igualador de poliéster. En el caso del primero, se aumentó dicho color en un 10% y en el del segundo en un 50%. El pH óptimo que proporcionó un mejor rendimiento de ambos colorantes fue 5,2 (valor promedio entre un pH ácido para la tincura del poliéster y un pH neutro para el algodón).

TINTURA DISPERSO/DIRECTO A 130 °C		
Detergente 1DT	0,15	%
Igualador 1A (algodón)	0,4	%
Igualador 1P (poliéster)	0,6	%
Antiquiebre 1	0,1	%
Buffer (acidulante)	0,55	g/L
Electrólito	8	g/L
Amarillo 1DS (colorante disperso)	0,045	%
Turquesa 1DS (colorante disperso)	0,18	%
Turquesa 1D (colorante directo)	0,088	%
Amarillo 1D (colorante directo)	0,077	%
BLANQUEO A 80°C		
Soda cáustica	2,5	g/L
Peróxido de Hidrógeno	2,5	g/L
ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN		
Acidulante	2	g/L

Figura 16. Fórmula final tono verde manzana.

### 4.2 Tono rojo

Contrario del tono anterior, los cambios en este obedecieron a una disminución en la cantidad de colorante rojo 2R en un 10% y en la cantidad de álcali involucrado en la reacción del colorante



reactivo en un 26,6%. El valor de pH en la tintura del colorante disperso que favoreció la intensidad del tono y el rendimiento de los colorantes fue de 4,0.

TINTURA DISPERSO		
Antiquiebre 2	0,4	g/L
Igualador 2P	0,35	g/L
Acidulante	1,5	g/L
Amarillo 1DS	0,17	%
Rojo 1DS	0,57	%
Rubina 1DS	0,23	%
REDUCTIVO A 80 °C		
Reductor	1,2	%
Soda cáustica	2,8	g/L
TINTURA REACTIVO		
Acidulante	1,2	g/L
Igualador 2A	0,5	g/L
Electólito	70	g/L
Rojo 1R	0,56	%
Rojo 2R	1,44	%
Reacción		
Álcali	2,2	g/L
Soda cáustica	3	g/L
ETAPA DE LAVADO		
Acidulante	2,3	g/L
Jabonador	1,8	%

*Figura 17. Fórmula final tono rojo.*

La reproducibilidad en planta se realizó siguiendo la fórmula de la figura 17, y, adicional a los variables analizadas en el laboratorio (pH, gradiente de calentamiento y dosificación de los productos químicos involucrados en la reacción), se hizo un control riguroso de las variables operacionales de la máquina, como tiempo de rotación, apertura del acumulador, presión de la tobera, presión del medio y nivel del agua, además del cambio en la relación de baño que se recalcula en cada lote según la capacidad de la máquina y la carga a teñir.

El principio de funcionamiento de la máquina consta de un carrete conductor que guía el tejido a la exposición de la tobera de aire presurizado rociándolo con una cantidad controlada de baño. La velocidad y la igualación de la tintura la determina el tiempo de rotación, que es el tiempo que tarda la cuerda en dar una vuelta dentro de la máquina, así como la caída y la acomodación de la tela se define por medio del ajuste del acumulador.

Las presiones, tanto de la tobera como del medio, coexistieron de manera tal que garantizaron el equilibrio para que el medio no sufriera ningún tipo de alteración. De igual manera, el valor definido para la rotación del rodillo (420 m/min) y el acumulador contribuyó a obtener un tono

final bien igualado, sin ningún tiempo de problema en calidad (mareo, manchas, quiebres) y similar en intensidad al estándar. El nivel del agua permaneció constante, el gradiente de calentamiento fue de 2 °C/min hasta 90 °C y, de ahí en adelante, hasta 130°C fue de 1,5 °C/min, la tintura del poliéster se inició en un pH de 4, la del algodón en un pH neutro (6,75) y el pH después de agregar la soda cáustica y el álcali alcanzó un valor de 12,3.

### 4.3 Tono verde militar

Teniendo en cuenta que la formulación original fue la más robusta comparando con los demás tonos, debido a que incluía dos tipos de igualador y detergente en el poliéster, además de dispersante y que este tono es uno de los que presenta mayores problemas en cuanto a igualación y tono, el reajuste comprendió cambios en el igualador 1P y 3P, y en el marino 1DS en la tintura del poliéster, y en el rojo 3R en la tintura del algodón. En el caso de las sustancias agregadas en el primer tipo de fibra, se eliminó la adición del igualador 1P, se aumentó el del 3P en un 60% y se redujo la cantidad de marino 1DS en un 10%. Del mismo modo, en el segundo tipo de fibra se bajó en un 10% el porcentaje de rojo 3R. El pH óptimo en cada tipo de fibra que proporcionó un mejor tono fue de 4 en la tintura del poliéster y 11,4 en la tintura del algodón.

TINTURA DISPERSO		
Detergente 1DT	0,125	%
Antiquiebre 1	0,15	%
Igualador 1P		
Igualador 3P	0,8	%
Detergente 2DT	0,5	%
Dispersante	0,5	g/L
Buffer	0,8	g/L
Amarillo 1DS	0,19	%
Rubina 2DS	0,045	%
Marino 1DS	0,18	%
ETAPA DE NEUTRALIZACIÓN		
Álcali	1	g/L
TINTURA REACTIVO		
Igualador 2A	0,3	%
Electrolito	40	g/L
Amarillo 1R	0,53	%
Rojo 3R	0,081	%
Marino 1R	0,31	%
Reacción		
Álcali	2	g/L
Soda cáustica	1,5	g/L
ETAPA DE LAVADO		
Acidulante	1	g/L
Jabonador	0,6	%

Figura 18. Fórmula final tono verde militar.

---

## 5. Análisis

La difusión de colorantes dispersos en el poliéster, incluidas todas las fibras termoplásticas, se describe mediante la teoría del volumen libre. De acuerdo con esta teoría, los colorantes dispersos se adsorben en la superficie de la fibra y se difunden a través de pasajes transitorios, como resultado del movimiento segmentario de las cadenas de polímero en el sustrato del material cuando se proporciona suficiente energía térmica. Cuando el poliéster (Tereftalato de polietileno (PET)) alcanza la  $T_g$  (70 °C) (Wilkes, 2005), la temperatura más baja a la que las cadenas de polímero comienzan a vibrar y deslizarse entre sí cuando se aplica una fuerza, el tinte disperso comienza a difundirse en la fibra "saltando" de un sitio a otro. Con energía térmica continua, los tintes se incrustan gradualmente en el sustrato de la fibra, hasta que la distribución en la fibra y el baño de tinte alcanzan el equilibrio (Shang, 2013).

A partir del desarrollo de las cinéticas de los colorantes dispersos, se observó que la tintura del poliéster requiere una alta energía de activación, es decir, una alta temperatura. La tendencia de todos los colorantes evaluados de este tipo muestra que la velocidad de teñido y la solubilidad del colorante se aceleran considerablemente brindando una mejor migración del tinte cuando se alcanza una temperatura de 90 °C a 130 °C, una temperatura mayor que la  $T_g$  del poliéster en aproximadamente 20°C, en la cual se debe empezar a controlar minuciosamente la tasa de aumento para evitar la aglomeración indeseada de colorantes

La tintura del poliéster se realiza en condiciones ácidas ya que estas podrían minimizar la reducción y la hidrólisis de algunos colorantes dispersos con grupos químicos que son sensibles a los álcalis a alta temperatura (Shang, 2013). En cuanto a esta variable, los ensayos del tono rojo y verde militar mostraron que la intensidad del tono se vio favorecida en ambos casos por un pH de 4. La razón es el amarillo 1DS, un colorante disperso que tienen en común las fórmulas y que a valores de pH menor que el mencionado, evidencia ausencia y bajo rendimiento ya que el rango óptimo recomendado para el agotamiento por el proveedor se encuentra entre 4 y 5.

En cuanto a la cantidad de auxiliares, específicamente del igualador, su capacidad de aumentar la migración del colorante durante el teñido evitando la deposición de oligómeros en la superficie de la fibra, ante un incremento, evidencia una mejor y una distribución más uniforme del colorante. De igual manera, los ensayos desarrollados manipulando la cantidad de soda cáustica en el lavado reductivo, el cual se hace con el fin de eliminar del color suelto en la tela, mostraron que una menor

---

cantidad, aunque favorece la intensidad del tono influye directamente en la solidez del color. La solidez se define como la resistencia de un material a cambiar en cualquiera de sus características de color y transferir su coloración a materiales adyacentes, o ambos como resultado de la exposición del material a cualquier entorno que pueda existir durante su procesamiento, análisis, almacenamiento y uso (Eduardo & Lavado, 2012)

Por otro lado, como su nombre lo indica, el colorante reactivo tiene grupos reactivos para formar enlaces covalentes químicamente con el algodón y convertirse en parte de él, en lugar de ser una sustancia coloreada independiente dentro de la fibra. En condiciones alcalinas suaves, los grupos reactivos de la molécula de colorante pueden reaccionar con el átomo de oxígeno del grupo hidroxilo de la celulosa, ya sea por sustitución nucleófila, o por adición, y a veces por ambos mecanismos para un colorante con dos o más grupos reactivos (Shang, 2013).

En este caso, de la evaluación del comportamiento de los colorantes reactivos y directos en función de la temperatura, adición de auxiliares y tiempos de igualación, fue posible observar que una de las variables principales en la tintura del algodón es la adición de electrolito. La presencia de Cloruro o Sulfato de Sodio en el baño de tintura reduce la fuerza de repulsión electrostática que se genera debido a las cargas negativas entre la superficie de la fibra y los colorantes, aumentando la capacidad de este último de ser absorbido y resistirse a la desorción cuando la fibra teñida se someta a lavados posteriores.

Con respecto al pH, en el caso de los colorantes reactivos, teóricamente se recomienda controlarlo en un rango de 10,5 a 11 ya que un pH indebidamente alto influirá en la hidrólisis del colorante y reducirá la eficacia del teñido en términos de profundidad y fijación. Experimentalmente, en cada uno de los tonos se evidenció que un incremento en la cantidad NaOH o álcali proporciona tonos más intensos, ya que estos mejoran notablemente la velocidad de tintura solidificando una mayor cantidad de enlaces fibra-colorante y evitando desigualdades. La dosificación controlada de estos componentes que hacen parte de la reacción garantizará que la medida exacta de principio activo (cromóforo) sea eficaz y tenga el redimiendo necesario para causar el efecto deseado en el tono final, un montaje del color de manera uniforme, sin aglomeraciones.

Con relación a la temperatura, en el caso del colorante directo fue posible concluir que esta es la variable de principal influencia en el mecanismo de agotamiento. Se observó que la penetración del tinte se ve favorecida ante el aumento de la temperatura hasta 90°C, una mayor energía cinética de las moléculas aumenta la probabilidad de que las colisiones sean productivas y que la difusión

---

se acelere de manera tal que causa una buena uniformidad. Referente a los colorantes reactivos, la temperatura de igualación es 60 °C debido a efectos mecánicos ya que a temperaturas mayores como 80°C el cloruro de sodio causa corrosión en las máquinas.

Del mismo modo, se observó que, a mayor tiempo de igualación mejor agotamiento de todos los tipos de colorantes. Un tiempo de igualación de 30 minutos para el poliéster y el algodón proporciona el espacio necesario para una buena interacción y reacción siempre y cuando todo lo demás se encuentre controlado y cuente con las cantidades necesarias y requeridas

Finalmente, referente a la relación de baño, los ensayos implementados en el tono rojo mostraron que la intensidad se ve favorecida cuando esta se incrementa. La razón principal son las cantidades que vienen expresadas en concentración (g/L) ya que estas tienen como base de cálculo el volumen de agua. En este caso agregar más anti-quebre, igualador, electrolito, soda cáustica y álcali potenció más el tono por las razones explicadas anteriormente.

---

## 6. Conclusiones

- Estos ensayos permitieron identificar los factores clave para la viabilización de la operación en planta de tres tonos con una ligera desviación en el color en comparación al estándar.
- La reformulación de color no implica necesariamente que el porcentaje de cada uno de los colorantes se deba reducir o aumentar en la misma proporción. Bastó con realizar un análisis por separado del teñido en cada tipo de fibra para saber cuál(es) es(son) el(los) color(es) faltante(s) o sobrante(s) a manipular.
- La implementación de un bajo gradiente de calentamiento a partir de 90°C en la tintura del colorante disperso garantiza un aumento controlado de las superficies amorfas del poliéster favoreciendo la uniformidad y orden en la difusión, migración, absorción y fijación de las moléculas hacia la fibra.
- El pH fue la variable que proporcionó las condiciones óptimas para iniciar/finalizar los procesos de tintura. Un medio con la cantidad necesaria de grupos ácidos, básicos, neutros o alcalinos según fuera el caso, influyó positivamente en el rendimiento de colorantes, auxiliares químicos y fibras.
- El control minucioso del pH favoreció la construcción de la nueva formulación de manera tal que no fue necesario incrementar cantidades de compuestos como electrolito, soda cáustica y álcali (base fuerte) que aceleran y mejoran la velocidad de transferencia.
- Un pH <3,5 en el agotamiento del poliéster, debilita la acción de algunos de los grupos funcionales que conforman la molécula del colorante, haciendo ver la fibra teñida más opaca y carente de intensidad. Se evidenció que a pH >11,5 en la reacción del algodón, aunque aumenta la concentración de aniones de hidroxilo, las partículas no se atraen con la misma fuerza hacia la fibra debido a que también empiezan a sentir atracción por el medio (agua), permitió una buena tintura.
- La dosificación por partes de la cantidad de reacción (álcali y soda caustica) en la tintura de los colorantes reactivos garantiza una velocidad de circulación controlada que permite una absorción proporcional en cada una de las superficies puestas en contacto.
- Aunque las nuevas fórmulas del tono rojo y verde militar evidentemente aumentaron en costo debido al incremento en la cantidad de algunos productos químicos, esta modificación garantizará siempre y cuando se tengan en consideración las variables mencionadas (pH,

---

gradiente de calentamiento y dosificación por partes de los componentes de la reacción del algodón) que no habrá reproceso por tono ni mareo.

- La metodología empleada para la reformulación de los tonos es la ruta ideal a implementar si el objetivo es la optimización de recursos como el consumo de insumos químicos y agua. Las modificaciones realizadas en aras de obtener un tono con el mismo matiz e intensidad del estándar eliminarán las matizadas en marcha y los reprocesos por devolución.
- Las pruebas realizadas para validar la formulación serán de mucha utilidad y es lo que se debería hacer en casos de inconvenientes constantes por tono en referencias y códigos de color específicos y ante cambios de proveedores de colorantes y auxiliares.

---

## 7. Recomendaciones

- Se recomienda implementar las demás fórmulas atendiendo a las modificaciones realizadas, a la condición de pH definida y al especial cuidado en el gradiente de calentamiento y la dosificación por partes de los productos que hacen parte de la reacción en el algodón.
- Se recomienda hacer una recopilación de las fórmulas que a diario se desarrollan en planta y necesitaron de una matizada en marcha, para trabajar nuevamente en ellas siguiendo el procedimiento desarrollado en este proyecto.
- Para los nuevos desarrollos de tono, hacer énfasis especial en el pH. El pH manejado en planta debe ser el mismo que el de laboratorio para así garantizar una buena reproducibilidad.



---

## Referencias

- Archivo: Elastano estructura.jpg - Wikipedia, la enciclopedia libre.* (s.f.). Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Elastano\\_estructura.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Elastano_estructura.jpg)
- Bukele Kattan, A. (1969). *Introducción a la química textil algunas consideraciones básicas y su adaptabilidad a nuestro medio* [Trabajo de grado inédito]. Universidad de El Salvador
- Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2006a, 28 de enero). *Tereftalato de polietileno - Wikipedia, la enciclopedia libre.* Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado el 28 de enero de 2023 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato\\_de\\_polietileno](https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno)
- Colaboradores de los proyectos Wikimedia. (2006b, 30 de agosto). *Rayón - Wikipedia, la enciclopedia libre.* Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperado el 28 de enero de 2023 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Rayón>
- eIndustria.com, Q.N./ M./ (2008) *Auxiliares en el proceso de teñido textil, QuimiNet.com.* <https://www.quiminet.com/articulos/auxiliares-en-el-proceso-de-tenido-textil-28123.htm>
- Eduardo, F, & Lavado, L. (2012). *La industria textil y su control de calidad. Tintorería.*
- Eduardo, F, & Lavado, L. (2013). *La industria textil y su control de calidad.*
- Fuentes G, M.M. (1972). *Ingeniería química en la industria textil.* [Trabajo de grado inédito]. Universidad de Antioquia
- Gonzalez Litman, T. (2016, 22 de abril). *Industria textil en Colombia: 150 años de historia.* FashionNetwork.com. <https://pe.fashionnetwork.com/news/Industria-textil-en-colombia-150-anos-de-historia,685234.html>
- Kumar Parthipan, A. (2017). *Why is the melting point of nylon 6 lower than nylon 66?* Quora. <https://www.quora.com/Why-is-the-melting-point-of-nylon-6-lower-than-nylon-66>
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes. En: Colección Divulgación Científica y Tecnológica.*
- Muñoz Pinto, F. (2014). *Procesamiento y propiedades de algunas poliolefinas.* Ehu.Eus, 13. <http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/DIC/Fidel.PDF>
- Química Orgánica Industrial.* (s.f.). Escuela de Ingenierías Industriales - UVA. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

---

Rodríguez, D. (2015, 6 de febrero). *¿Qué es el Color?» Definición, Paletas y Lista de Colores 2021*. Concepto de - Definición de. <https://conceptodefinicion.de/color/>

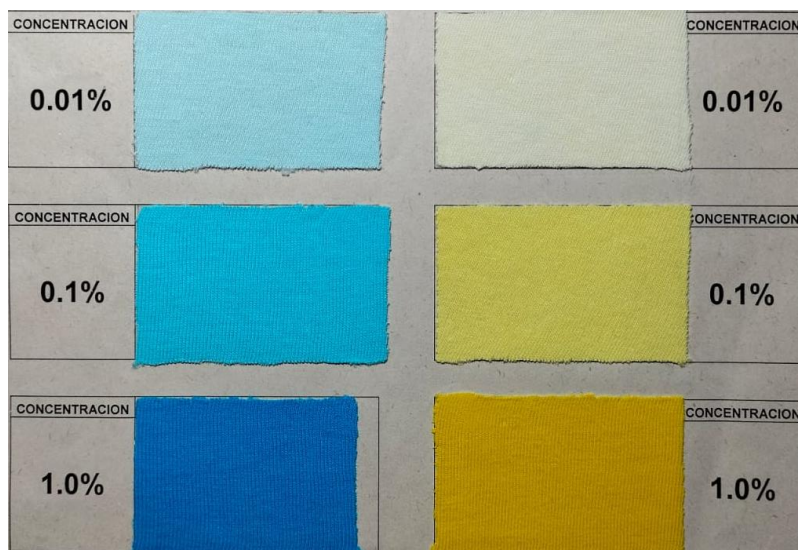
Sánchez, J.C., Valleperas, J., & Puente, P. (1981). *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*.

Shang, S. (2013). Process control in dyeing of textiles. En *Elsevier eBooks* (pp. 300-338). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1533/9780857095633.3.300>

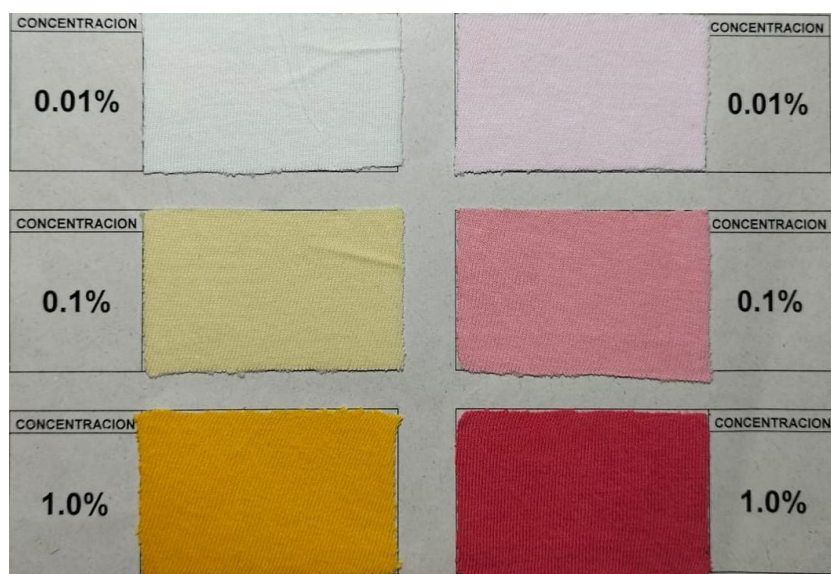
Wilkes, C. E. (2005). *PVC Handbook*. Hanser Verlag

---

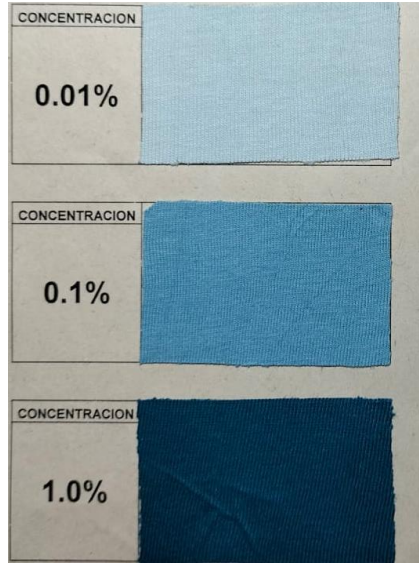
## Anexos



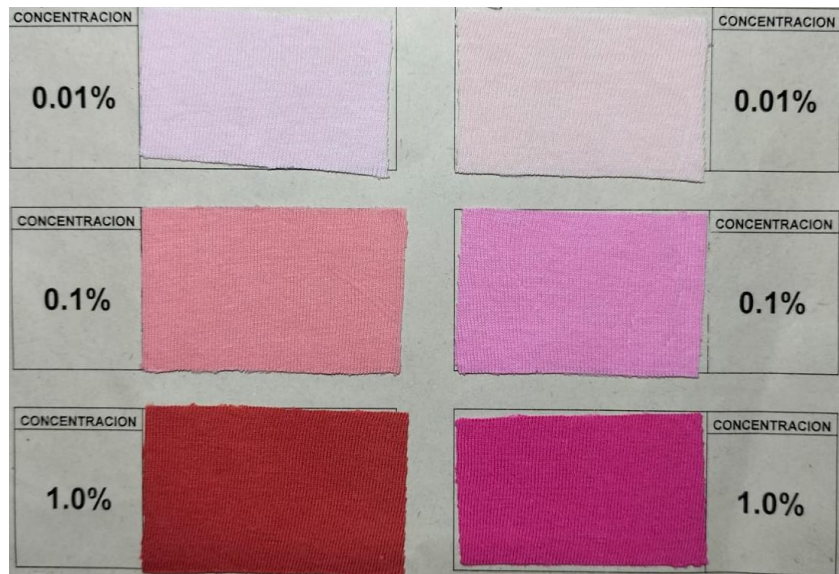
Anexo 1. Básicas de los colorantes directos Turquesa 1D y Amarillo 1D.



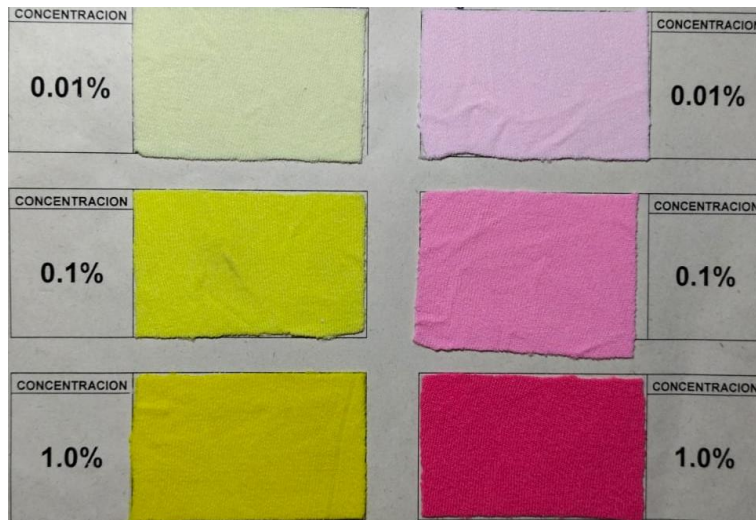
Anexo 2. Básicas de los colorantes reactivos Amarillo 1R y Rojo 2R



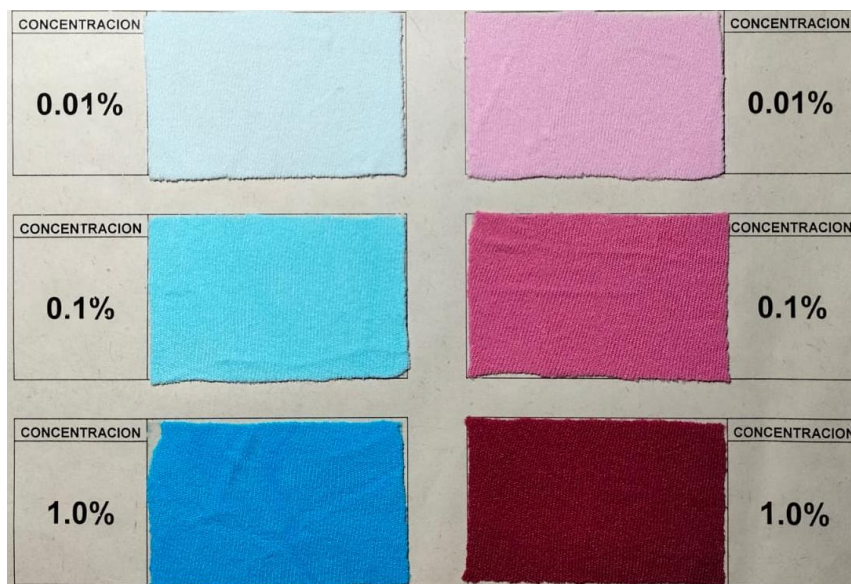
Anexo 3. Básicas del colorante reactivo Marino 1R



Anexo 4. Básicas de los colorantes reactivos Rojo 3R y Rojo 1R.



Anexo 5. Básicas de los colorantes dispersos Amarillo 1DS y Rojo 1DS



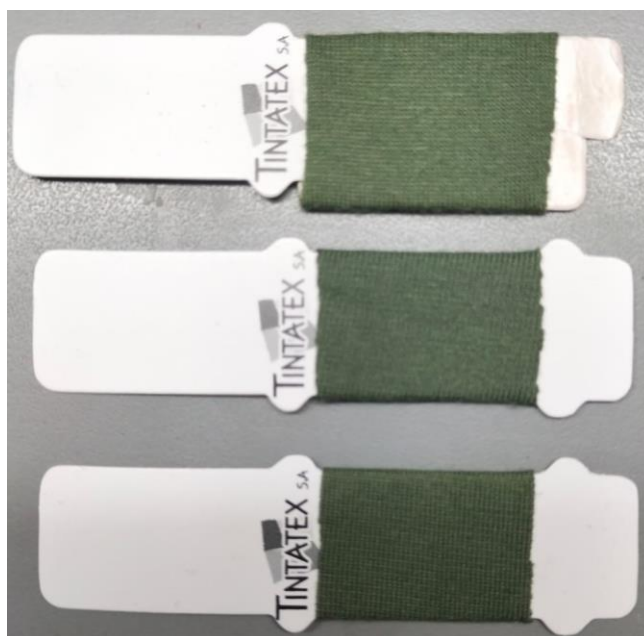
Anexo 6. Básicas de los colorantes dispersos Turquesa 1DS y Rubina 1DS.



Anexo 7. Tono verde manzana: estandar, formula original y reformulación a nivel laboratorio respectivamente



Anexo 8. Tono rojo: estandar, formula original, reformulación a nivel laboratorio y reformulación en planta respectivamente.



Anexo 9. Tono verde militar: estandar, formula original y reformulación a nivel laboratorio respectivamente.



Anexo 10. Cinéticas tono verde manzana y rojo.





Anexo 11. Cinética tono verde militar.