

EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE PRODUCTOS AUXILIARES EN EL  
PROCESO DE TEÑIDO DE POLIAMIDA A NIVEL LABORATORIO  
EN PROTELA S.A.

CARMEN TATIANA HURTADO HERNÁNDEZ  
MARIA ALEJANDRA OVIEDO HURTADO

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA  
BOGOTA D.C

2020

EVALUACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN DE PRODUCTOS AUXILIARES EN EL  
PROCESO DE TEÑIDO DE POLIAMIDA A NIVEL LABORATORIO  
EN PROTELA S.A.

CARMEN TATIANA HURTADO HERNÁNDEZ  
MARIA ALEJANDRA OVIEDO HURTADO

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
Marcela Páez Reyes  
Ingeniera Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2020

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Ing. Juan Andrés Sandoval Herrera  
Jurado

---

Ing. Dany José Cárdenas Romay  
Jurado

Bogotá D.C., agosto de 2020

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional y Rector de Claustro.

**Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretaria General

**Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN**

Decano de Facultad de Ingeniería

**Ing. JULIO CESAR CIFUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Química

**Ing. IVÁN RAMIRÉZ MARÍN**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a las autoras.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado se lo dedico a Dios por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante.

A mis padres por brindarme su apoyo incondicional, consejos y comprensión. Gracias a su ayuda hoy logro convertirme en Ingeniera.

A mis hermanas por estar presentes en mi vida, por sus consejos y respaldos en los buenos y los malos momentos.

A mis padrinos que han esperado al igual que yo este día, pues siempre han sido una de mis motivaciones para seguir adelante y conseguir lo que me propongo.

A todas las personas que, de alguno u otra manera, contribuyeron a lograr esta meta y que me ha permitido crecer personal y profesionalmente

**Carmen Tatiana Hurtado Hernández**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedico a Dios porque me ha guiado a lo largo de mi vida y me ha permitido culminar esta etapa de la mejor manera, acompañada de las personas más importantes para mí.

A mis padres por ser mi ejemplo a seguir, mi motivación y mi apoyo en todo momento. Por estar conmigo siempre y brindarme tantos momentos de felicidad, porque gracias a ustedes me convertí en la persona que soy hoy en día. A mi hermano, por ser mi compañero de vida, por creer siempre en mí y darme siempre su apoyo incondicional. Estoy totalmente agradecida por tenerlos en mi vida y me siento muy feliz de poder compartir este momento tan importante con ustedes.

A mis abuelos por todos sus consejos y sabiduría, por tenerme tanta confianza y ayudarme a conseguir cada una de las metas que me propongo.

Finalmente, a todos aquellos que contribuyeron para alcanzar mi objetivo de ser Ingeniera Química.

**María Alejandra Oviedo Hurtado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos ofrecer un agradecimiento especial a la empresa Protela S.A por permitirnos realizar nuestro trabajo de grado y brindarnos todo el apoyo necesario para culminarlo. A nuestra directora de proyecto, Ingeniera Marcela Páez, por su orientación, dedicación en el proyecto y disposición a la hora de compartarnos su conocimiento para crecer a nivel profesional y personal.

Al equipo de laboratorio químico por su colaboración y brindarnos un ambiente de trabajo ameno y agradable.

A nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional a lo largo de la carrera y por darnos la oportunidad de culminar nuestros estudios.

A la Universidad de América y profesores por compartarnos su conocimiento y ser nuestros guías en el proceso para convertirnos en ingenieras químicas.



## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
RESUMEN	24
INTRODUCCIÓN	25
OBJETIVOS	26
1. MARCO TEÓRICO	27
1.1 FIBRA TEXTIL	27
1.1.1 Poliamida.	27
1.2 TEÑIDO DE POLIAMIDA	28
1.2.1 Tipos de teñido.	28
1.2.1.1 Teñido por agotamiento.	28
1.2.1.2 Teñido continuo o por foulard.	29
1.2.2 Colorantes para el teñido de poliamida.	30
1.2.2.1 Colorantes ácidos.	30
1.2.3 Auxiliares de tintura en el proceso de teñido en poliamida.	31
1.2.4 Condiciones de operación.	32
1.2.5 Equipos implementados en el teñido.	32
1.2.5.1 Torpedo.	32
1.2.5.2 Jet.	33
1.2.5.3 Mathis.	34
1.3 TEORÍA DE COLOR	34
1.3.1 Color.	34
1.3.2 Colorimetría.	34
1.3.2.1 Espacio CIELAB.	35
1.3.3 Evaluación visual de tono.	35
1.4 PRUEBAS DE CALIDAD	36
1.4.1 Solidez al lavado (AATCC 61 2A).	36
1.4.2 Solidez al mar (AATCC106).	37
1.4.3 Solidez a la piscina clorada (AATCC 162).	37
1.4.4 Solidez por Crockmeter (AATCC 08).	37
1.4.4.1 Frote seco.	38

1.4.4.2 Frote húmedo.	38
2. DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A	39
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	39
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CADENA TEXTIL EN PROTELA S.A	39
2.3 PRODUCCIÓN DE POLIAMIDA ACTUAL	42
2.3.1 Poliamida procesada.	42
2.3.2 Materias primas.	44
2.3.3 Proceso de tintura.	45
2.3.4 Balance de materia del proceso actual.	51
2.3.4.1 Balance etapa de teñido.	52
2.3.4.2 Balance etapa de lavado.	55
2.3.4.3 Balance etapa de fijado.	56
3. DESEMPEÑO DE LOS PRODUCTOS AUXILIARES EN EL TEÑIDO DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A	59
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS AUXILIARES DE TINTURA PROPUESTOS	59
3.1.1 Detergente 1 propuesto.	59
3.1.2 Dador de ácido propuesto.	59
3.1.3 Fijador propuesto.	60
3.1.4 Detergente 2 propuesto.	60
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO	60
3.3 TEÑIDO DE POLIAMIDA A NIVEL DE LABORATORIO	64
3.4 VALIDACIÓN DE TONO	67
3.5 PRUEBAS DE CALIDAD	71
4. REFORMULACIÓN DE LOS TONOS QUE TIENEN BAJO DESEMPEÑO EN LAS PRUEBAS DE CALIDAD	75
4.1 VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN	76
4.2 AJUSTE DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS AUXILIARES	76
4.3 CAMBIOS ADICIONALES	76

4.4 REFORMULACIÓN Y REVISIÓN DE TONO	77
4.5 PRUEBAS DE CALIDAD	79
4.6. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO PROPUESTO	80
4.6.1 Balance etapa de teñido.	82
4.6.2 Balance etapa de lavado.	84
5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA	86
5.1 COSTO DE LA FÓRMULA	86
5.2 COSTO DE LOS SERVICIOS	87
5.3 COSTO DE MANO DE OBRA	89
6. CONCLUSIONES	91
7. RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	93

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Balance de materia de la etapa de teñido en el proceso actual para la referencia 300001	54
<b>Tabla 2.</b> Balance de materia de la etapa de teñido en el proceso actual para la referencia 100356	55
<b>Tabla 3.</b> Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso actual de la referencia 300001	56
<b>Tabla 4.</b> Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso actual de la referencia 100356	56
<b>Tabla 5.</b> Balance de materia de la etapa de fijado para el proceso actual de la referencia 300001	57
<b>Tabla 6.</b> Balance de materia de la etapa de fijado para el proceso actual de la referencia 100356	58
<b>Tabla 7.</b> Cantidad de productos auxiliares usadas en el teñido de poliamida	65
<b>Tabla 8.</b> Clasificación de los colores de acuerdo a la concentración de colorante	65
<b>Tabla 9.</b> Rango de coordenadas CIELAB para Protela S.A	67
<b>Tabla 10.</b> Coordenadas CIELAB para el proceso propuesto	68
<b>Tabla 11.</b> Coordenadas CIELAB para el proceso actual	68
<b>Tabla 12.</b> Evaluación visual para proceso actual vs propuesta	70
<b>Tabla 13.</b> Resultados pruebas de calidad del proceso propuesto	73
<b>Tabla 14.</b> Resultados pruebas de calidad del proceso usado actualmente	73
<b>Tabla 15.</b> Diseño de experimentos para modificar la concentración del dador de ácido	77
<b>Tabla 16.</b> Evaluación visual para tonos aprobados cambiando la concentración de dador de ácido	78
<b>Tabla 17.</b> Diseño de experimentos para modificar la concentración total de productos auxiliares.	78
<b>Tabla 18.</b> Evaluación visual para tonos rodamina y turquesa reformulados	79
<b>Tabla 19.</b> Resultados pruebas de calidad del proceso propuesto	79
<b>Tabla 20.</b> Resultados pruebas de calidad del proceso actual	80
<b>Tabla 21.</b> Concentración de productos auxiliares para proceso propuesto de teñido.	81
<b>Tabla 22.</b> Balance de materia de la etapa de teñido/fijado en el proceso propuesto en la referencia 300001	83

<b>Tabla 23.</b> Balance de materia de la etapa de teñido/fijado en el proceso propuesto en la referencia 100356	83
<b>Tabla 24.</b> Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso propuesto de la referencia 300001	85
<b>Tabla 25.</b> Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso propuesto de la referencia 100356	85
<b>Tabla 26.</b> Costo de fórmula del proceso actual vs proceso propuesto	87
<b>Tabla 27.</b> Costo de servicios del proceso actual vs proceso propuesto	88
<b>Tabla 28.</b> Tiempo proceso actual vs proceso propuesto	89
<b>Tabla 29.</b> Costo de mano de obra para el proceso actual vs proceso propuesto	90

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Estructura química poliamida 6 y poliamida 66	27
<b>Imagen 2.</b> Teñido por agotamiento	28
<b>Imagen 3.</b> Teñido por impregnación o Foulard	30
<b>Imagen 4.</b> Estructura de la poliamida junto al colorante.	31
<b>Imagen 5.</b> Autoclave/ Torpedo para teñido textil en planta	33
<b>Imagen 6.</b> Maquina Jet para teñido textil en planta	33
<b>Imagen 7.</b> Maquina Mathis para teñido textil en laboratorio	34
<b>Imagen 8.</b> Coordenadas CIELAB	35
<b>Imagen 9.</b> Caja de luces para evaluación visual	36
<b>Imagen 10.</b> Rango estándar de coordenadas CIELAB	67
<b>Imagen 11.</b> Escala de grises para cambio de color	72
<b>Imagen 12.</b> Escala de grises para transferencia de color	72

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Producción de poliamida 2019	42
<b>Gráfica 2.</b> Cantidad de tela procesada anualmente de cada tono seleccionado para la referencia 300001	43
<b>Gráfica 3.</b> Cantidad de tela procesada anualmente de cada tono seleccionado para la referencia	43
<b>Gráfica 4.</b> Proceso actual para los tonos amarillo (U146801), gris (U955003) y azul (U775011)	46
<b>Gráfica 5.</b> Proceso actual para el tono rojo (U356518)	47
<b>Gráfica 6.</b> Proceso actual para el tono rodamina (U348602)	47
<b>Gráfica 7.</b> Proceso actual para el tono azul (U770016)	48
<b>Gráfica 8.</b> Proceso actual para el tono negro (U985001)	49
<b>Gráfica 9.</b> Proceso actual para el tono beige (U425537)	49
<b>Gráfica 10.</b> Proceso actual para el tono rodamina (U338520)	50
<b>Gráfica 11.</b> Proceso actual para el tono turquesa (U841011)	51
<b>Gráfica 12.</b> Proceso propuesto para tonos claros	61
<b>Gráfica 13.</b> Proceso propuesto para tonos medios	62
<b>Gráfica 14.</b> Proceso propuesto para tonos oscuros e intensos	63
<b>Gráfica 15.</b> Proceso propuesto para tonos rodamina y turquesa	64
<b>Gráfica 16.</b> Diferencia total de color del proceso propuesto vs actual para la referencia 100356	69
<b>Gráfica 17.</b> Diferencia total de color del proceso propuesto vs actual para la referencia 300001	70

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
<b>Diagrama 1.</b> Cadena textil de la empresa Protela S.A	41
<b>Diagrama 2.</b> Etapa de teñido del proceso actual	52
<b>Diagrama 3.</b> Etapa de lavado del proceso actual	55
<b>Diagrama 4.</b> Etapa de fijado del proceso actual.	57
<b>Diagrama 5.</b> Procedimiento para el teñido de poliamida en laboratorio.	66
<b>Diagrama 6.</b> Metodología para la reformulacion de tonos	75
<b>Diagrama 7.</b> Diagrama del proceso de teñido propuesto	81
<b>Diagrama 8.</b> Etapa de teñido del proceso propuesto	82
<b>Diagrama 9.</b> Etapa de lavado del proceso propuesto.	84



## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Primera ley de Fick	29
<b>Ecuación 2.</b> Masa de producto con concentración en g/L	51
<b>Ecuación 3.</b> Masa de producto con concentración en %	52
<b>Ecuación 4.</b> Balance de la etapa teñido/fijado referencia 300001	53
<b>Ecuación 5.</b> Masa de antiespumante 1 alimentado	53
<b>Ecuación 6.</b> Masa de igualador alimentado	53
<b>Ecuación 7.</b> Masa de lubricante alimentado	53
<b>Ecuación 8.</b> Masa de dador de ácido alimentado	53
<b>Ecuación 9.</b> Masa de colorante alimentado	53
<b>Ecuación 10.</b> Masa de tela teñida	53
<b>Ecuación 11.</b> Balance de la etapa teñido/fijado referencia 100356	54
<b>Ecuación 12.</b> Masa de antiespumante 1 alimentado	54
<b>Ecuación 13.</b> Masa de ácido fórmico o acético alimentado	54
<b>Ecuación 14.</b> Masa de colorante alimentado	54
<b>Ecuación 15.</b> Masa de tela teñida	54
<b>Ecuación 16.</b> Balance de la etapa de lavado proceso actual para referencia 300001	55
<b>Ecuación 17.</b> Masa de detergente alimentado	55
<b>Ecuación 18.</b> Masa de tela lavada	55
<b>Ecuación 19.</b> Balance de la etapa de lavado proceso actual para referencia 100356	56
<b>Ecuación 20.</b> Masa de detergente alimentado	56
<b>Ecuación 21.</b> Masa de tela lavada	56
<b>Ecuación 22.</b> Balance de la etapa de fijado proceso actual para referencia 300001	57
<b>Ecuación 23.</b> Masa de fijador alimentado	57
<b>Ecuación 24.</b> Masa de ácido acético/ fórmico alimentado	57
<b>Ecuación 25.</b> Masa de tela fijada	57
<b>Ecuación 26.</b> Balance de la etapa de fijado proceso actual para referencia 100356	58
<b>Ecuación 27.</b> Masa de fijador alimentado	58
<b>Ecuación 28.</b> Masa de ácido acético/ fórmico alimentado	58

<b>Ecuación 29.</b> Masa de tela fijada	58
<b>Ecuación 30.</b> Diferencia total de color	77
<b>Ecuación 31.</b> Balance de la etapa teñido/fijado	82
<b>Ecuación 32.</b> Masa de colorante alimentado	82
<b>Ecuación 33.</b> Masa de dador de ácido alimentado	83
<b>Ecuación 34.</b> Masa de detergente 1 alimentado	83
<b>Ecuación 35.</b> Masa de fijador alimentado	83
<b>Ecuación 36.</b> Masa de soda cáustica alimentada.	83
<b>Ecuación 37.</b> Masa de tela teñida	83
<b>Ecuación 38.</b> Balance de la etapa de lavado proceso propuesto	84
<b>Ecuación 39.</b> Masa de ácido fórmico alimentado.	84
<b>Ecuación 40.</b> Masa de detergente 2 alimentado	84
<b>Ecuación 41.</b> Masa de tela final	84
<b>Ecuación 42.</b> Costo de colorantes o productos auxiliares con concentración en g/L	86
<b>Ecuación 43.</b> Costo de colorantes o productos auxiliares con concentración en %	86
<b>Ecuación 44.</b> Costo total de la fórmula por Kg de tela procesada	87
<b>Ecuación 45.</b> Ahorro del proceso propuesto con respecto al actual	87
<b>Ecuación 46.</b> Costo de mano de obra	89
<b>Ecuación 47.</b> Ahorro en el costo de mano de obra para el proceso propuesto con respecto al actual.	89

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Costo de la fórmula por tono para las referencias 300001 y 100356	99
<b>Anexo B.</b> Servicios auxiliares por tono para las referencias 300001 y 100356	109
<b>Anexo C.</b> Comparación de costos de servicios auxiliares por tono para las referencias 300001 y 100356	112

## ABREVIATURAS Y UNIDADES

A: Transferencia de Color

AC: Acido

ACI: Dador de ácido

ACI,P: Dador de ácido propuesto

ANT: Antiespumante

B: Cambio de Color

C: Desangre

COL: Colorantes

°C: Grados Celsius

°C/min: Grados Celsius por minuto

Da: Delta rojo/verde

Db: Delta azul/amarillo

DET: Detergente Actual

DET,P1: Detergente Propuesto 1

DET,P2: Detergente Propuesto 2

DL: Delta de Oscuridad

FIJ: Fijador

FIJ,P: Fijador

g: Gramos

IGU: Igualador

H: Hora

kg: Kilogramo

KWH: Kilo watts hora

L: Litro

LUB: Lubricante

m: Masa

min: Minutos

mL: Mililitros

#: Porcentaje

pH: Índice de acidez y basicidad

R/B: Relación de baño

## GLOSARIO

**ADSORCIÓN:** pasaje del colorante a la fibra.<sup>1</sup>

**AUXILIARES DE TINTURA:** productos que se agregan al baño de tintura con el fin de mejorar el teñido.

**DIFUSIÓN:** capacidad del colorante ya adsorbido de penetrar en la fibra.<sup>2</sup>

**DISPERSIÓN:** partículas muy pequeñas de productos o colorantes distribuidos uniformemente en el baño.<sup>3</sup>

**ESPECTROFOTÓMETRO:** equipo que ayuda a evaluar los tonos según la cantidad de luz absorbida en el color de la fibra.<sup>4</sup>

**JET:** son máquinas empleadas en la tintura por agotamiento en las que el sustrato y el baño circulan simultáneamente<sup>5</sup>

**MATHIS:** equipo de laboratorio para teñidos de muestras textiles en vasos de acero inoxidable<sup>6</sup>

**MIGRACIÓN:** igualación en la que el colorante, después de subir a la fibra, regresa para el baño y vuelve a subir sucesivamente.<sup>7</sup>

**RELACIÓN DE BAÑO:** es la cantidad de agua con auxiliares de tintura y colorantes utilizada por kilogramo de tela.<sup>8</sup>

**SOLIDEZ:** mayor o menor resistencia del color al uso o a los procesos después de la tintura: acabado, termofijado, vaporizado y mercerizado.<sup>9</sup>

**TINTURA POR AGOTAMIENTO:** proceso en el cual el colorante pasa del baño de tintura a la fibra.<sup>10</sup>

---

<sup>1</sup> SALEM, V. DE MARCHI, A and GOLÇALVES DE MENDEZ, F. Ennoblecimiento textil en la práctica. Sao Pablo. 2005. P. 185

<sup>2</sup> Ibid., p.186

<sup>3</sup> Ibid., p.186

<sup>4</sup> BERNABE, G. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida (nylon). p. 9

<sup>5</sup> SALEM, V. DE MARCHI, A and GOLÇALVES DE MENDEZ, F. op. cit, p.186

<sup>6</sup> APARELHOS DE LABORATÓRIO MATHIS LTDA. Teñido y acabado por agotamiento. Disponible en : <http://www.mathis.com.br/es/produtos/industria-textil/4-agotamiento>

<sup>7</sup> SALEM, V. DE MARCHI, A and GOLÇALVES DE MENDEZ, F. op. cit, p.188

<sup>8</sup> BERNABE, G. op. cit, p. 10

<sup>9</sup> SALEM, V. DE MARCHI, A and GOLÇALVES DE MENDEZ, F. op. cit, p.189

<sup>10</sup> BERNABE, G. op. cit, p. 10

**TORPEDO:** es un recipiente metálico con cierre hermético usado para el teñido textil en el cual el baño circula mientras el tejido se mantiene en reposo.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> SALEM, Vidal. Tingimiento textil: fibras, conceptos e tecnológicas. Sao Paulo: Blucher: GOLDEN TECNOLOGIA, 2010, vol. 2010. p. 65

## RESUMEN

La empresa Protela S.A es una compañía colombiana con más de media década de experiencia en el sector textil, con presencia en varios países de Latino América y Centro América, la cual se dedica a la fabricación de tejidos de punto, diseño, tejeduría, tintura, estampación, acabados y confección. El área de tintorería es una de las más relevantes en la compañía junto con estampación, ya que es allí donde se le da un valor agregado a la fibra.

Hoy en día, la compañía trabaja en la mejora de sus procesos de teñido con el objetivo de tener mejores estándares de calidad para poder ofrecer precios competitivos con la intención de ser reconocidos en el sector textil. Por dicha razón, se presentó una propuesta de mejora la cual consiste en sustituir la cantidad de productos auxiliares empleados en el proceso de teñido de poliamida, los cuales cumplen con la norma OEKO-TEX solicitada por la empresa.

Para llevar a cabo la evaluación de la propuesta se determinó trabajar con los 5 tonos más críticos y demandados en la empresa en dos tipos de tela con diferente composición de poliamida. Se evidenció que era posible reemplazar varios productos auxiliares entre los cuales se encontraban detergentes, lubricantes, antiespumante, fijadores, igualadores, entre otros, por solo cuatro auxiliares. Para este proceso se obtuvo un ahorro de más del 10% en el costo de la fórmula de 7 tonos y en el caso del costo de los servicios, un ahorro considerable.

**Palabras clave:** Productos auxiliares, poliamida, curva de teñido, calidad, industria textil



## INTRODUCCIÓN

La industria textil en Colombia es uno de los sectores más importantes en la industria del país, ya que para el 2018 aportó el 6% del PIB y representa el 24% de los empleos del país<sup>12</sup>. A inicios del 2019, el mercado de la moda presentó un tamaño de \$2.09 billones de pesos, mientras que el año anterior fue de \$1.09, es decir, tuvo un crecimiento del 5%. Sin embargo, según el informe del sector textil y confecciones del año 2019, los principales problemas de los industriales a nivel nacional son el tipo de cambio, el costo de la materia prima y la falta de demanda<sup>13</sup>, por lo que las compañías han tenido que empezar a reducir costos de producción y al mismo tiempo implementar procesos más rentables.

Protela S.A es una compañía dedicada a la producción y distribución de textiles, para ello cuenta con dos plantas dedicadas a la tejeduría y al acabado. La primera de ellas se encarga de obtener telares con tecnologías como Tricot, Rashel y Circular y en la segunda se destaca tintorería, ya que, cuenta con procesos de teñidos continuos y discontinuos, además del área de estampación y finalmente el perchado y bondeo. Esta compañía se destaca entre sus competidores por ser la principal productora de fibras de poliamida a nivel nacional, debido a que cuenta con una capacidad instalada de 800 toneladas al mes, de las cuales más de la mitad es poliamida.

La poliamida es empleada para la fabricación de prendas de ropa interior, vestidos de baño y ropa deportiva, lo cual le exige a la compañía manejar altos estándares de calidad, entre los cuales se encuentra la solidez, descrita en la norma AATCC. Además, todos los productos químicos deben cumplir con el control OEKO-TEX que indica que el producto no es tóxico ni perjudicial para el medio ambiente y el ser humano.

---

<sup>12</sup> GARZÓN, Juan. Industria Textil Colombiana 2018: telas inteligentes y tendencias ecológicas. {en línea}. {20 de marzo de 2020}. Disponible en: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Prendas-de-Vestir/Noticias/2018/Febrero-2018/Industria-Textil-Colombiana-2018-telas-inteligentes-y-tendencias-ecologicas>

<sup>13</sup> SECTORIAL. Informe del sector textil y confecciones. Emis. 2019. p 4.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la sustitución de productos auxiliares en el proceso de teñido de poliamida a nivel laboratorio en Protela S.A.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar el proceso actual de teñido de poliamida.
2. Verificar el desempeño de productos auxiliares en el teñido de poliamida mediante ensayos experimentales en laboratorio.
3. Reformular los tonos que tienen bajo desempeño en las pruebas de calidad.
4. Realizar un análisis de costos de la nueva propuesta de teñido de poliamida en planta.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 FIBRA TEXTIL

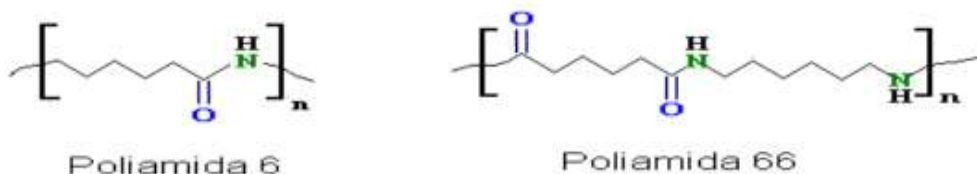
Las fibras textiles son polímeros lineales que cuentan con alto peso molecular y pueden ser hilados debido a sus características de longitud, finura y flexibilidad. De acuerdo a su naturaleza, estos materiales se pueden clasificar en fibras naturales, artificiales y sintéticas.<sup>14</sup>

Las fibras naturales son aquellas provenientes de animales o plantas, entre las cuales se destaca la lana y el algodón respectivamente. Las fibras artificiales son obtenidas a partir de la celulosa de las que se destacan la lana viscosa, lana de cobre y lana de acetato. Finalmente, las fibras sintéticas son derivadas del petróleo y cuentan con un elevado punto de fusión lo que les permite ser termoplásticas, además de ser hiladas directamente a partir del polímero. En esta última categoría se puede encontrar la poliamida 6 y 6.6, el politerftalato de etileno y el polipropileno.

**1.1.1 Poliamida.** Es un polímero de cadenas macromoleculares compuestas de grupos amino que en su mayoría están unidos a radicales lineales o cíclicos.<sup>15</sup>

También es conocida como Nylon, nombre otorgado por la compañía Du Pont, el cual aplica a toda la amina polimerizada que tiene cadena larga y es capaz de formar filamentos en dirección a un eje. Existen clases de poliamida las cuales tienen tipos de compuestos diferentes, por ejemplo, las alifáticas, cicloaliráticas y aromáticas, algunas de ellas son ampliamente utilizadas a nivel industrial para la fabricación de prendas de vestir, como es el caso de la poliamida 6 y 6.6, cuya estructura se aprecia en la Imagen 1. Estas dos clases de poliamida son obtenidas a partir de la caprolactama y la condensación de la hexametildiamina y el ácido adípico, respectivamente.

**Imagen 1.** Estructura química poliamida 6 y poliamida 66



**Fuente:** GONZÁLES, V. GUERRERO, C. MÉNDEZ, U. Estructura y compatibilidad de mezclas de poliamidas con quitina y quitosán. Tomado el 22 de febrero de 2020. Disponible en <<https://pdfs.semanticscholar.org/8309/f004e17fdf87da4ee7210a24bf08763f832c.pdf> >

<sup>14</sup> MONDRAGÓN, Jaime. Fibras textiles. {en línea}. Tomado el 5 de marzo de 2020. Disponible en: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/organica/directorio/jaime/fibras%20textiles.pdf>  
00

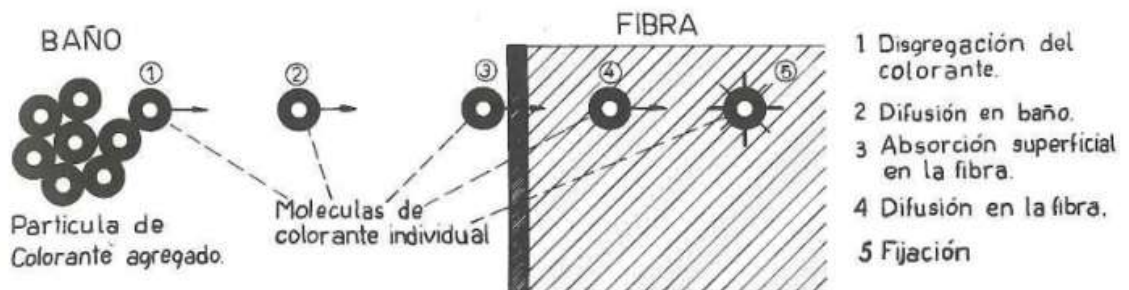
## 1.2 TEÑIDO DE POLIAMIDA

**1.2.1 Tipos de teñido.** Para que las fibras tengan un valor agregado se someten a un proceso de teñido en el cual se le adicionan distintos colorantes y productos auxiliares. Para este proceso existen varios métodos que permiten transferir el colorante a la fibra ya sea mediante adsorción o reacción entre ellos, de manera que al final se pueda realizar una evaluación de solidez (lavado, frote seco y húmedo, etc.) dependiendo del uso específico de cada fibra.

**1.2.1.1 Teñido por agotamiento.** Este proceso consiste en sumergir la fibra en un baño de teñido, el cual contiene el colorante disuelto, para que de esta manera se adsorba el colorante en la superficie de la tela. Posteriormente, se dispersa en el núcleo de la fibra para finalmente migrar dando así uniformidad y consistencia al teñido. Una vez se termina el proceso el material se debe lavar o enjuagar para eliminar el colorante no fijado.<sup>16</sup>

En la Imagen 2 se aprecia el proceso de teñido, que consiste en una reacción química entre el colorante en dispersión y la fibra sumergida en la solución. Este ocurre en 4 etapas, entre las cuales se encuentran la disolución y dispersión del colorante, la adsorción, dispersión y migración.

**Imagen 2.** Teñido por agotamiento



**Fuente:** CEGARRA, J. Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles. Barcelona: Terrassa. 1981. p. 03.

En la primera fase se hace la preparación del baño de tintura mediante la disolución de los colorantes en agua. Luego se tiene la fase de adsorción en la que, por efecto de la afinidad colorante-fibra, el colorante del baño es adsorbido en la superficie de la fibra, formando enlaces químicos entre ambos. Posteriormente, en la etapa de difusión o dispersión el colorante adsorbido se distribuye de forma homogénea en la fibra, esta es una de las etapas más importantes del proceso ya que permite establecer el tiempo adecuado para obtener buena penetración y solidez.

<sup>16</sup> LOCKUÁN, F. La industria textil y su control de calidad: tintorería. 2012. p. 31

Finalmente, en la etapa de migración el colorante se va hacia las zonas donde hay menor concentración, mejorando de esta manera la igualación de color.<sup>17</sup>

Estas etapas de teñido se basan principalmente en las leyes de Fick y se dan debido a la existencia de un gradiente de concentración. La primera ley de Fick propone que el flujo de moléculas de colorante es directamente proporcional al gradiente de concentración, como se observa en la Ecuación 1.

**Ecuación 1.** Primera ley de Fick

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

Donde

$J_x$  corresponde al flujo de colorante (mol/m<sup>2</sup> \* s)

$\frac{\partial C}{\partial x}$  es el gradiente de concentración (mol/m<sup>3</sup> \* m)

$D$  es el coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s)

En esta ecuación el signo negativo se debe a que el sentido del gradiente de concentración es opuesto al del flujo.<sup>18</sup>

**1.2.1.2 Teñido continuo o por *foulard*.** Este proceso se lleva a cabo utilizando medios mecánicos (humectación por impregnado y exprimido), mediante los cuales el baño de teñido se distribuye homogéneamente sobre la tela. Posteriormente, el colorante penetra el tejido, se fija y una vez acabado el proceso la fibra se lava para eliminar los residuos de colorante.<sup>19</sup>

El procedimiento por impregnación consta de tres operaciones básicas: la impregnación, el exprimido entre rodillos y el fijado<sup>20</sup>. Las dos primeras operaciones se realizan en el *foulard*, allí el tejido pasa por el chasis, que contiene el baño de tinte, y es saturado con la solución de colorante para ser exprimido posteriormente mediante unos rodillos que eliminan el exceso del baño.<sup>21</sup> Lo anterior se puede apreciar en la Imagen 3.

---

<sup>17</sup> Ibid., p.37

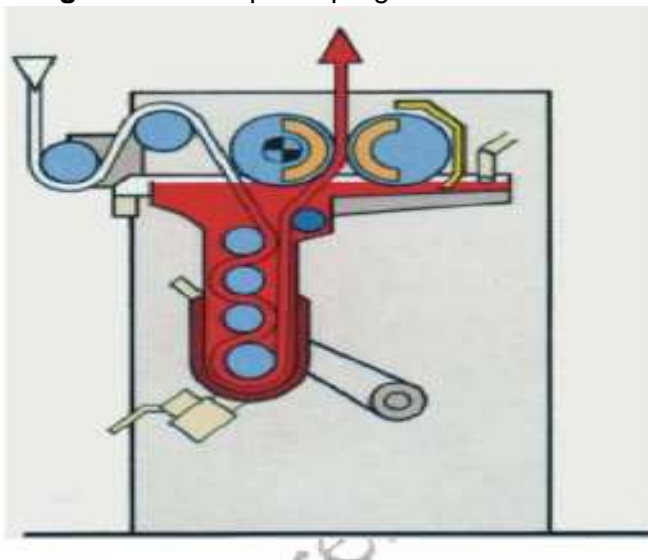
<sup>18</sup> CEGARRA, J. Fundamentos científicos y aplicados de la tinte de materias textiles. Barcelona: Terrassa. 1981. p. 03

<sup>19</sup> LOCKUÁN. op. cit, p. 31.

<sup>20</sup> PESOK, Juan. Introducción a la tecnología textil. Uruguay: Universidad de Montevideo, Facultad de Ingeniería, 2005. p.128.

<sup>21</sup> SALEM. op. cit, p. 68

**Imagen 3.** Teñido por impregnación o Foulard



**Fuente:** SOLÉ, Antonio. Máquinas de tintura por impregnación. Tomado el 19 de marzo de 2020. En línea. Disponible en: <<https://pdfslide.net/documents/maquinas-de-tintura-por-impregnacion-asolengin-la-distribucion-del-vapor.htm>>

**1.2.2 Colorantes para el teñido de poliamida.** Existe variedad en la selección de colorantes para teñir poliamida entre los que se encuentran los colorantes dispersos, pre metalizados y ácidos. Los dispersos se utilizaron inicialmente para teñir acetato, son compuestos orgánicos con muy baja solubilidad y se ligan a la fibra mediante fuerzas de Van der Waals. En el caso de los pre metalizados se emplean para el teñido de lana y se clasifican según la cantidad de moléculas de colorante que forman un complejo con ion metálico. Por último, los colorantes ácidos que son empleados para teñir lana y poliamida y se fijan a la fibra por medio de fuerzas de Van der Waals y enlaces iónicos.<sup>22</sup>

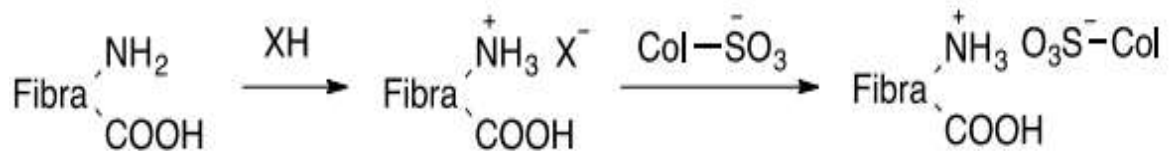
**1.2.2.1 Colorantes ácidos.** Son sustancias orgánicas de alto peso molecular, anicónicas, solubles en agua y poseen en su estructura grupos ácidos como  $\text{SO}_3\text{H}$ ,  $\text{CO}_2\text{H}$  y  $\text{OH}$  (fenólicos)<sup>23</sup>. Solo es posible teñir en fibras que tengan centros catiónicos al momento de la tintura y cuyas moléculas formen con el agua una

<sup>22</sup> LOCKUÁN, F. op. cit. p.82

<sup>23</sup> MARCANO, Deanna. Introducción a la química de los colorantes. {en línea}. Tomado el 5 de marzo de 2020. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf>

estructura dipolar capaz de reaccionar con los colorantes en un medio ácido. En la imagen 4 se muestra la reacción entre el colorante y la fibra.

**Imagen 4.** Estructura de la poliamida junto al colorante.



**Fuente:** CABO, S. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. Tomado el 22 de febrero de 2020. Disponible en < <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5> >

### 1.2.3 Auxiliares de tintura en el proceso de teñido en poliamida.

**1.2.3.1 Detergentes:** son mezclas de sustancias tensoactivas 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. Adicionalmente, tienen la capacidad de eliminar suciedades de tipo oleoso.<sup>24</sup>

**1.2.3.2 Lubricante:** son productos anti quebraduras, es decir que previenen los quiebres o arrugas que se forman durante la tintura.

**1.2.3.3 Dispersantes:** son auxiliares textiles que facilitan la dispersión de las sustancias sólidas de cualquier tipo, en los baños de teñido y en especial de colorantes dispersos y pigmentos.

**1.2.3.4 Fijadores:** se emplean como un tratamiento después de realizar el proceso de tintura de fibras textiles. Permiten fijar el colorante que se encuentra en la superficie de la fibra con el fin de obtener buenos resultados de calidad, especialmente solidez al lavado.

**1.2.3.5 Igualador:** son sustancias que ayudan a la penetración del baño de tintura en el sustrato, mejorando la uniformidad del agotamiento y la igualación de color<sup>25</sup>.

<sup>24</sup> LOCKUÁN, F. op. Cit. p. 80

<sup>25</sup> *Ibíd.*, p. 80

**1.2.3.6 Secuestrante:** son moléculas orgánicas capaces de mantener en solución metales pesados que producen interferencias en los procesos húmedos de la tintorería.<sup>26</sup>

## **1.2.4 Condiciones de operación**

**1.2.4.1 Temperatura:** permite obtener una migración correcta del colorante a la fibra, que para el caso de la poliamida se establece entre 90°C y 115°C. Además, es importante porque puede llegar a afectar la reproducibilidad

**1.2.4.2 pH:** el pH es esencial, ya que, se necesita de un medio ácido en el caso de la poliamida para que se lleve a cabo el teñido.

**1.2.4.3 Tiempo:** es importante determinar los tiempos de agotamiento del colorante con el fin de evitar problemas de solidez y diferencias de tono.

**1.2.4.4 Adición de colorantes y auxiliares:** se debe establecer el orden de adición y las cantidades exactas de cada producto y colorante, pues esto puede generar problemas de teñido y gasto innecesario de auxiliares y colorantes.<sup>27</sup>

**1.2.5 Equipos implementados en el teñido.** Para llevar a cabo la tintura de fibras textiles se tiene una gran variedad de máquinas según el tipo de proceso, ya sea continuo o por agotamiento. Para el caso de teñido continuo se tiene la máquina Foulard mientras que para los procesos por agotamiento son los Jigger, bobinas cruzadas, torniquetes, jets, torpedos, entre otros<sup>28</sup>. Sin embargo, en el caso de la empresa Protela S.A las principales máquinas utilizadas son el torpedo, Jet y, en el caso de laboratorio, la Mathis.

**1.2.5.1 Torpedo.** Los torpedos o también llamados autoclaves son recipientes herméticos generalmente construidos de acero inoxidable, que soportan alta presión y temperatura. Su principal característica es que la tela se encuentra en reposo y el baño en movimiento, eso se da debido a que la tela es enrollada en un cilindro metálico que posee diferentes orificios y un boquete circular en donde transita el baño de tinte.<sup>29</sup>

---

<sup>26</sup> SUÁREZ ARAUJO, Carlos Alberto. Evaluación y análisis de productos auxiliares que intervienen en la reproducibilidad del color en fibras de poli algodón. 2017. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE. p. 14

<sup>27</sup>SALAZAR QUISIGÜIÑA PAULINA ELIZABETH. Reutilización De Baños De Tintura De Fibra De Poliamida Con Colorantes Ácidos En La Industria Textil. 2018.

<sup>28</sup> SALEM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. *São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia*, 2010, vol. 2010. p. 60

<sup>29</sup> FAJARDO PORTILLO, Sergio Javier. Optimización del proceso de teñido de fibra nailon implementando insumos biodegradables. 2016. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala. P. 47



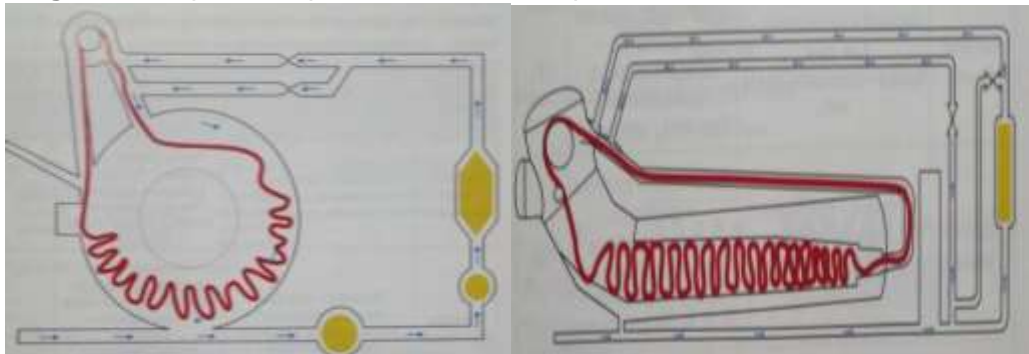
**Imagen 5.** Autoclave/ Torpedo para teñido textil en planta



**Fuente:** PESOK, Juan. Introducción a la tecnología textil. Uruguay: Universidad de Montevideo, Facultad de Ingeniería, 2005. p .117.

**1.2.5.2 Jet.** Como se evidencia en la Imagen 6, los Jets son equipos cerrados que trabajan a alta presión y en su interior contienen una tobera por donde pasa la tela, junto con el baño; en estas máquinas, gracias a la diferencia de presión generada por el efecto “Venturi”, se puede impulsar el baño con la tela a teñir.<sup>30</sup> Estos equipos permiten realizar procesos de teñido en gran cantidad debido a que cuentan con un sistema de inyección de colorante que permite la reducción de tiempos de operación, ahorro de energía y de materias primas.<sup>31</sup>

**Imagen 6.** Maquina Jet para teñido textil en planta



**Fuente:** SALEM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010, vol. 2010. p. 67

<sup>30</sup> PESOK, Juan. Op. Cit. P. 124

<sup>31</sup> FAJARDO PORTILLO, Sergio Javier. Op. Cit. P.38

**1.2.5.3 Mathis.** Es un equipo de laboratorio empleado para realizar teñidos de textiles en vasos de acero inoxidable mediante el proceso de agotamiento, calentadas por resistencias infrarrojas. Una característica de este equipo es que posee un sistema de control del proceso, con tiempos de permanencia, gradiente de calentamiento y enfriamiento<sup>32</sup>. A continuación, en la Imagen 7 se muestra la máquina Mathis.

**Imagen 7.** Maquina Mathis para teñido textil en laboratorio



**Fuente:** APARELHOS DE LABORATÓRIO MATHIS LTDA. Teñido y acabado por agotamiento. Disponible en : <http://www.mathis.com.br/arquivos/PDF/esp/alt-ii-esp.pdf>

## 1.3 TEORÍA DE COLOR

**1.3.1 Color.** El color es resultado de las diferencias de percepciones del ojo a distintas longitudes de onda que componen el espectro de luz blanca. Por ello, los seres humanos son capaces de percibir solo aquellas que se encuentran entre los 400 y los 700 nanómetros.<sup>33</sup>

**1.3.2 Colorimetría.** Ciencia del color que permite a través de un sistema numérico delimitar la percepción visual. Consta de un objeto, sujeto y la fuente luminosa el primero de ellos tiene en cuenta las características referentes a la textura como lo es la opacidad y el brillo. El sujeto hace referencia al observador, pues es allí en el cerebro donde se produce la sensación de color. Dicho estímulo se debe a la reflexión de la luz que se divide en tres sensaciones: una roja, verde y azul.

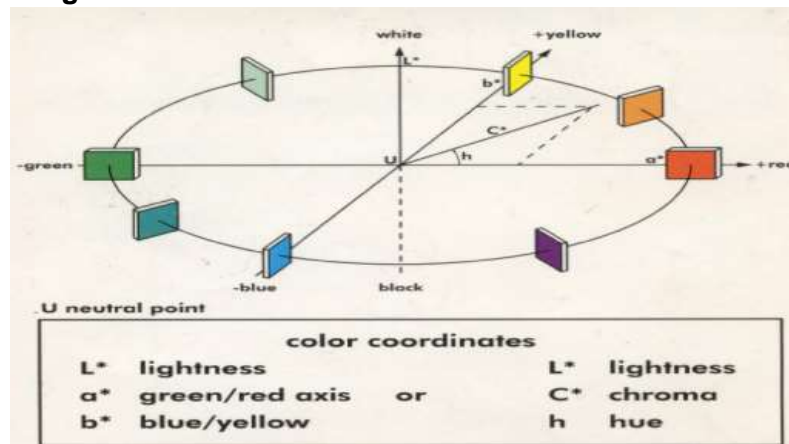
<sup>32</sup> APARELHOS DE LABORATÓRIO MATHIS LTDA. Teñido y acabado por agotamiento. Disponible en : <http://www.mathis.com.br/arquivos/PDF/esp/alt-ii-esp.pdf>

<sup>33</sup> De los Santos Anibal. La Teoría Del Color.

Finalmente, se encuentra la fuente luminosa, pues también se debe tener en cuenta su cromaticidad, ya que puede afectar las intensidades lumínicas que inciden sobre el objeto y variar su color.<sup>34</sup>

**1.3.2.1 Espacio CIELAB.** Las siglas CIE corresponden a Comisión Internacional de la Luz. Es un método de identificación tridimensional en donde se utilizan la teoría de los tres pares antagónicos: blanco-negro ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ) y amarillo-azul ( $b^*$ )<sup>35</sup>, como se observa en la Imagen 8.

**Imagen 8.** Coordenadas CIELAB



**FUENTE.** Salge Ferro Manuel. Capítulo 3. En: [Anónimo]El Principio Arcóntico Del Patrimonio. 1 ed. Universidad de los Andes, Colombia, 2018. p. 99. ISBN 9587747119 Tomado el 17 de marzo de 2020. Disponible en < <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/631/3/capitulo3.pdf> >

**1.3.3 Evaluación visual de tono.** La evaluación visual se usa en la industria para elegir colores, exhibir reproducibilidad de colores, monitorear procesos de producción de colores e inspeccionar productos terminados<sup>36</sup>. Se deben tener en cuenta aspectos como el ángulo de observación y la selección del iluminante. Esta evaluación se realiza en una caja de luces, como la que se encuentra en la Imagen 9, la cual contiene los iluminantes estándar.

<sup>34</sup> Salge Ferro Manuel. Capítulo 3. En: [Anónimo]El Principio Arcóntico Del Patrimonio. 1 ed. Universidad de los Andes, Colombia, 2018. p. 97. ISBN 9587747119

<sup>35</sup> Ibid., p. 99

<sup>36</sup> TESTEX. Evaluación visual de los colores y las diferencias de color del método de materiales opacos - ASTM D1729. {En línea}. {23 de junio de 2020}. Disponible en: <https://www.testextextile.com/es/Evaluaci%C3%B3n-visual-de-los-colores-y-las-diferencias-de-color-del-m%C3%A9todo-de-materiales-opacos-astm-d1729/>

**Imagen 9.** Caja de luces para evaluación visual



**Fuente:** ALIBABA. Textil Color Evaluación de laboratorio de Color caja de luz de Color. {en línea} {23 de junio de 2020}. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/textile-color-assessment-cabinet-lab-color-matching-light-box-light-box-for-color-matching-60663505951.html>

## 1.4 PRUEBAS DE CALIDAD

Debido a la alta demanda de productos textiles que cumplan con los estándares de calidad requeridos por los consumidores, algunas entidades se han encargado de promulgar una serie de normas, regulaciones y especificaciones para garantizar la entrega de buenos productos terminados. Algunas de ellas son: American Society for Testing and Materials (ASTM), American Association of Textile Chemist and Colorists (AATCC), International Organization for Standardization (ISO) y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC).<sup>37</sup>

En Protela S.A se utilizan las normas AATCC. Para el caso específico de la poliamida se realizan pruebas de lavado, piscina, mar, frote seco y frote húmedo debido a que es usada principalmente para ropa interior y vestidos de baño.

**1.4.1 Solidez al lavado (AATCC 61 2A).** Este método permite evaluar la pérdida de color y el cambio en la superficie de la tela mediante el uso de una solución de detergente y acción abrasiva.<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> LAFAYETTE. ¿cuáles son las principales pruebas de calidad en la industria textil? [en línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://www.lafayette.com/cuales-son-las-principales-pruebas-de-calidad-en-la-industria-textil/>>

<sup>38</sup> AATCC. Colorfastness to Laundering: Accelerated. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm61/495/>>

Para realizar esta prueba inicialmente se debe cortar una muestra de 10 x 6 cm de la tela teñida y se coloca en medio de dos muestras del mismo tamaño de poliamida cruda. Luego se adicionan 200 mL de solución de detergente y agua en un recipiente metálico en el cual se ingresa las muestras ya cortadas junto con 10 balines metálicos. Posteriormente, el recipiente se somete a una agitación constante en la maquina Roaches durante 45 minutos a 40 °C. Finalmente, la muestra es llevada al horno para secar.

**1.4.2 Solidez al mar (AATCC106).** Esta prueba es utiliza para medir la resistencia al agua de mar de hilos textiles y telas de todo tipo, para ello la muestra se sumerge en agua de mar artificial en condiciones específicas de presión, temperatura y tiempo con el fin de observar el cambio en el color de la tela.<sup>39</sup>

La prueba inicia cortando una muestra de 10 x 6 cm de la tela teñida y se coloca en medio de dos muestras del mismo tamaño de poliamida cruda, las cuales se sumergen en una solución de 100 mL de cloruro de sodio y agua por 15 minutos. Luego la muestra se pasa por el foulard para retirar el exceso de dicha solución y se envía al perspirómetro durante 6 horas. Finalmente se deja secar a temperatura ambiente.

**1.4.3 Solidez a la piscina clorada (AATCC 162).** Con esta prueba se determina la resistencia de la fibra textil al agua clorada de la piscina, mediante la evaluación del cambio de color de la muestra al ser agitada a una velocidad fija en una solución de cloro diluido en condiciones específicas de temperatura, tiempo, pH y dureza.<sup>40</sup>

Consiste en pesar 5 g de la fibra teñida y colocarla en medio de dos muestras del mismo tamaño de poliamida cruda. Luego dichas muestras son llevadas a la maquina Roaches durante 1 hora, acompañadas de una solución de 250 mL de hipoclorito de sodio en 5 L de agua. Finalizado dicho tiempo la muestra se enjuaga con agua y es secada a temperatura ambiente.

**1.4.4 Solidez por Crockmeter (AATCC 08).** Con esta prueba se puede determinar la cantidad de color transferido desde la superficie de los materiales textiles teñidos a otras superficies cuando es sometido al frote. El color transferido a la tela de prueba blanca se evalúa mediante una comparación con la Escala de grises para tinción o la Escala de transferencia cromática y se asigna una calificación.<sup>41</sup> A continuación se describen las pruebas de frote seco y húmedo, respectivamente.

---

<sup>39</sup> AATCC. Colorfastness to Water: Sea. [en línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm106/518/>>

<sup>40</sup> AATCC. Colorfastness to Water: Chlorinated Pool. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm162/562/>>

<sup>41</sup> AATCC. Colorfastness to Crocking: Crockmeter Method. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm8/481/>>

**1.4.4.1 Frote seco.** En el Crockmeter se coloca la muestra de tela teñida al revés con el fin de frotarla con una muestra cruda blanca y se realizan 10 ciclos durante 10 segundos.

**1.4.4.2 Frote húmedo.** En el Crockmeter se coloca la muestra de tela teñida húmeda al revés con el fin de frotarla con una muestra cruda blanca y se realizan 10 ciclos durante 10 segundos.<sup>42</sup>

---

<sup>42</sup> MEJIA, Francisco. Aseguramiento de calidad textil. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://programadetextilizacion.blogspot.com/2017/05/capitulo-12a-aseguramiento-de-calidad.html>>

## **2. DIAGNOSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A**

En este capítulo se pretende contextualizar la situación actual del proceso de teñido de poliamida realizado en la empresa Protela S.A, mediante la descripción de las operaciones llevadas a cabo y de las materias primas trabajadas. Así mismo, se describe brevemente la empresa, su cadena productiva y las cantidades de poliamida procesada anualmente.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

Protela es una empresa colombiana fundada el 13 de julio de 1950 por el alemán Alfred Weil. Inicialmente la empresa se encontraba en el barrio Ricaurte y se dedicaba exclusivamente a la tejeduría para confección de ropa interior. Años después se trasladó a Álamos, donde actualmente se encuentra el área administrativa y la planta de tejeduría, que tiene una capacidad instalada de 800 toneladas por mes. Luego, la empresa decide adquirir una planta dedicada a los procesos de tintorería, acabado y estampación con el fin de ofrecer un producto acabado a sus clientes, la cual se encuentra ubicada en la Avenida El Dorado.

Actualmente la compañía se cataloga como líder en el mercado del tejido de punto ofreciendo gran variedad de productos textiles destinados para el uso de ropa interior, vestidos de baño, ropa deportiva, encajes, ropa de baño, toallas y tela automotriz. Además, cuenta con sucursales en Colombia, Ecuador, Brasil y México lo cual le ha permitido tener gran reconocimiento en la industria textil en Latino América.

### **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CADENA TEXTIL EN PROTELA S.A**

La planta de tejeduría cuenta con un almacén de materia prima, encargada de la recepción, identificación, almacenamiento y preservación de toda la materia prima requerida para el proceso. Seguido, se encuentra el laboratorio de calidad de hilazas donde se verifica la calidad de las fibras antes de ingresar al proceso mediante pruebas de desempeño como resistencia, encogimiento y afinidad de los colorantes.

Los productos de la planta de tejeduría pueden ser clasificados como tejidos de punto y no tejidos. Para los primeros es necesario obtener una urdimbre, mediante un conjunto de hilos en paralelo que se enrollan en carretes para formar un juego de bobinas, que puede ser utilizado en las tecnologías Rashel y Tricot. Por otro lado, está la trama, donde los hilos se entrelazan sobre sí mismos mediante la tecnología circular. Los no tejidos son pelos de fibras elaborados por medios mecánicos, químicos y térmicos, un ejemplo de ello es la guata (tejido fabricado con filamentos

de algodón). Finalmente los productos tejidos y no tejidos son llevados al depósito de crudos para posteriormente transportarlos a la planta de acabados.<sup>43</sup>

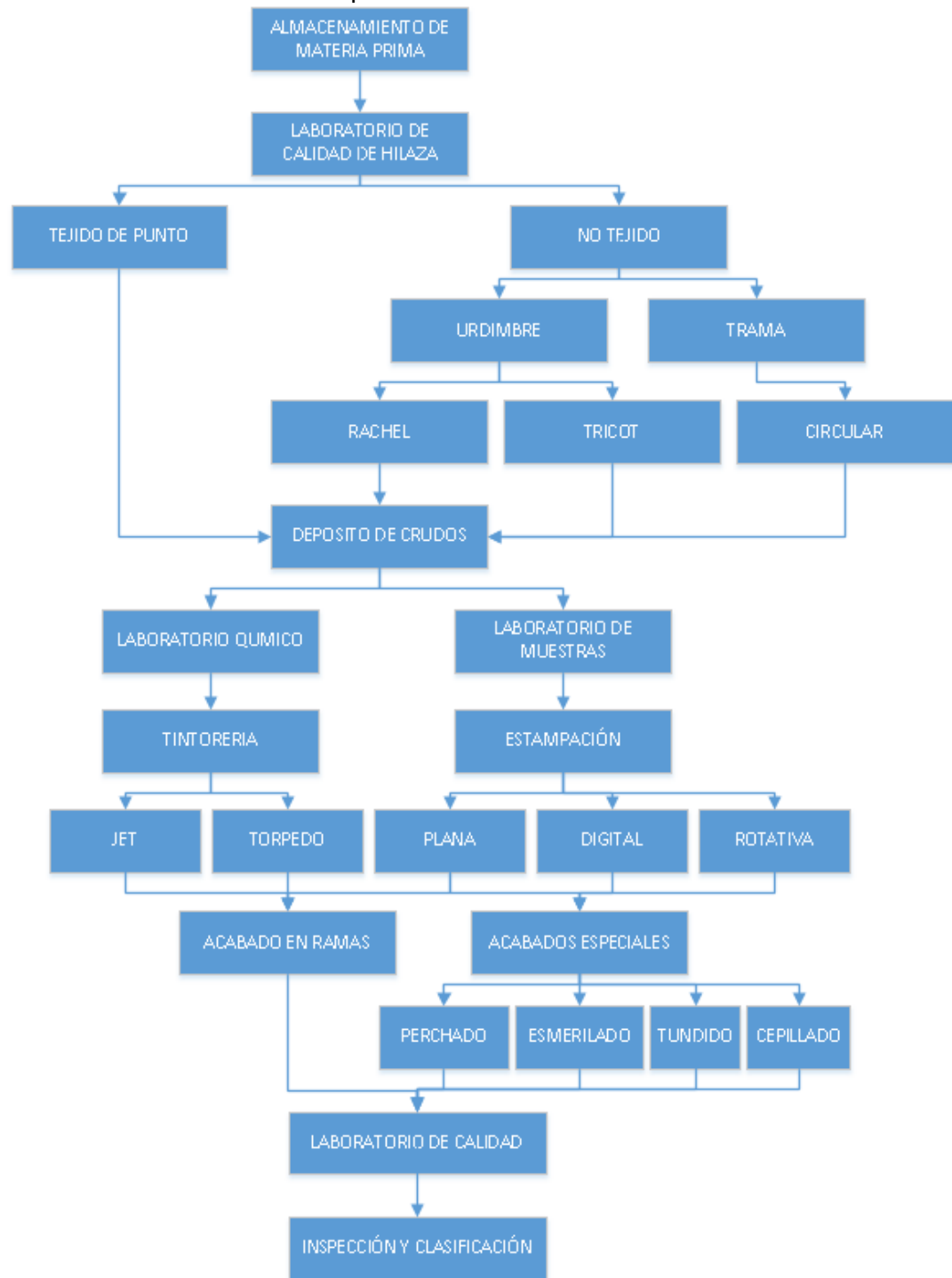
La planta de acabado cuenta también con un depósito de crudos, que recibe y distribuye las fibras para su acabado. Antes de ingresar la fibra a tintorería o a estampación, debe pasar por laboratorio químico o laboratorio de muestras de estampación, respectivamente. En el área de tintorería se emplean dos tipos de máquinas, jet y torpedo, donde se realiza el proceso de teñido por agotamiento; mientras que en estampación se trabaja la tecnología plana, rotativa y digital. Posteriormente, los teñidos o estampados son enviados al área de acabado en rama o especial (perchado, esmerilado, tundido y cepillado). Finalmente, los productos acabados son llevados al laboratorio de calidad donde se verifica que la fibra cuente con los estándares solicitados por el cliente. En el Diagrama 1 se ilustra el proceso de la cadena textil de la empresa:

---

<sup>43</sup> ROGRIGUEZ, Sebastián. Iniciamos con pie derecho la “Experiencia Protela”. [en línea]. Tomado el 14 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://prezi.com/yrfi37yfswwf/iniciamos-con-pie-derecho-la-quotexperiencia-protelaquot/>>



**Diagrama 1.** Cadena textil de la empresa Protela S.A



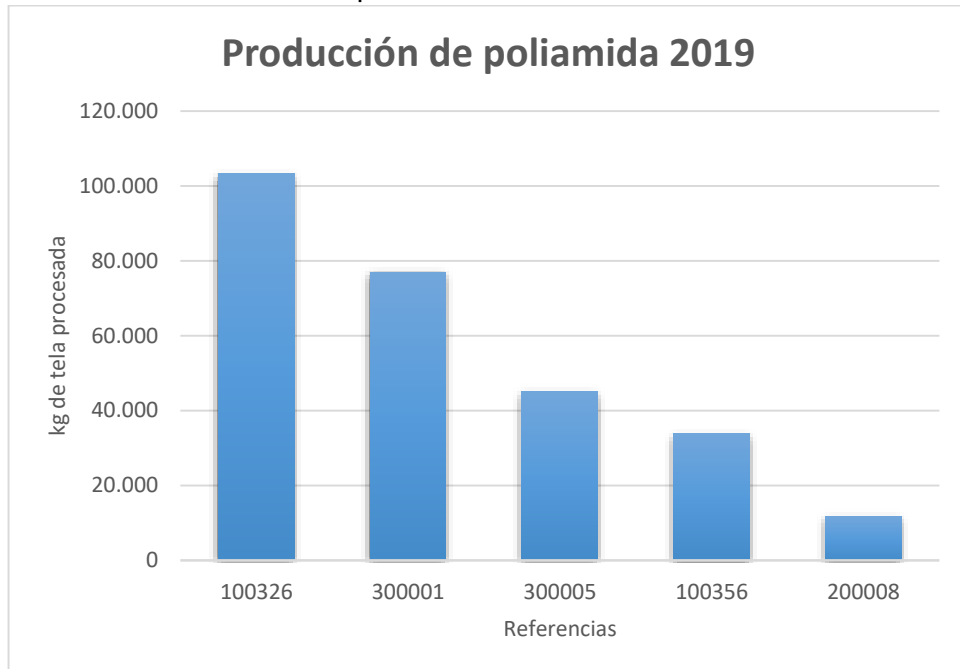
**Fuente:** elaboración propia con base en RODRIGUEZ, Sebastián. Iniciamos con pie derecho la experiencia PROTELA. 2017. [En línea] Tomado el 14 de marzo de 2020. Disponible en: <https://prezi.com/yrfi37yfswwf/iniciamos-con-pie-derecho-la-quotexperiencia-protelaquot/>

## 2.3 PRODUCCIÓN DE POLIAMIDA ACTUAL

**2.3.1 Poliamida procesada.** La empresa Protela S.A procesa gran variedad de fibras entre las que se encuentran poliéster, algodón, viscosa, elastan y poliamida, esta última es la que se produce en mayor cantidad, representando un 30% de la producción total anual de la empresa.

Para este proyecto se seleccionaron dos referencias de poliamida, teniendo en cuenta la cantidad producida de cada una de ellas. Según la Gráfica 1 se eligieron las referencias 100356 y 300001, ya que, representan una producción significativa y la empresa requiere realizar mejoras en los procesos de estas.

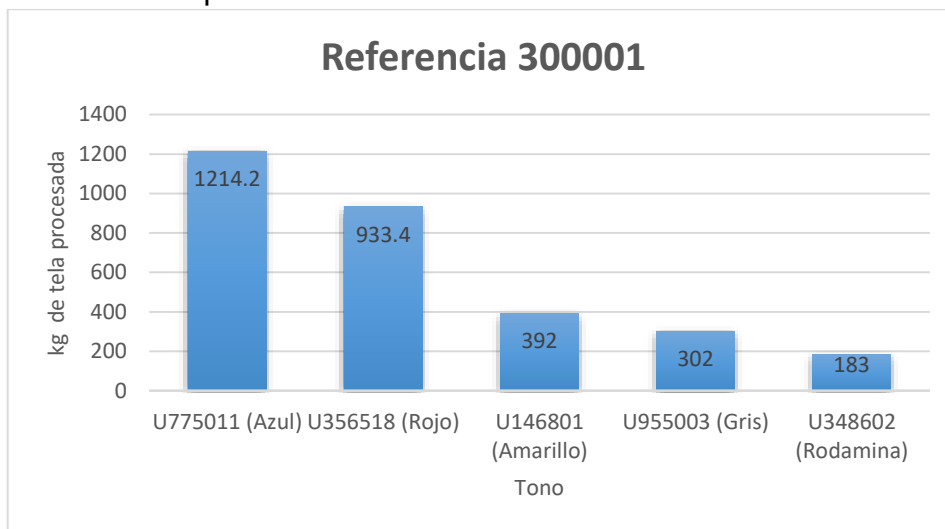
**Gráfica 1.** Producción de poliamida 2019



**Fuente:** elaboración propia con base a la información proporcionada por PROTELA S.A.

A continuación, en las Gráficas 2 y 3 se presentan los 5 tonos seleccionados por cada referencia y su cantidad procesada para el año 2019. Cabe resaltar que la selección de tonos se realizó teniendo en cuenta aquellos tonos críticos que presentan problemas de reproducibilidad y solidez en planta.

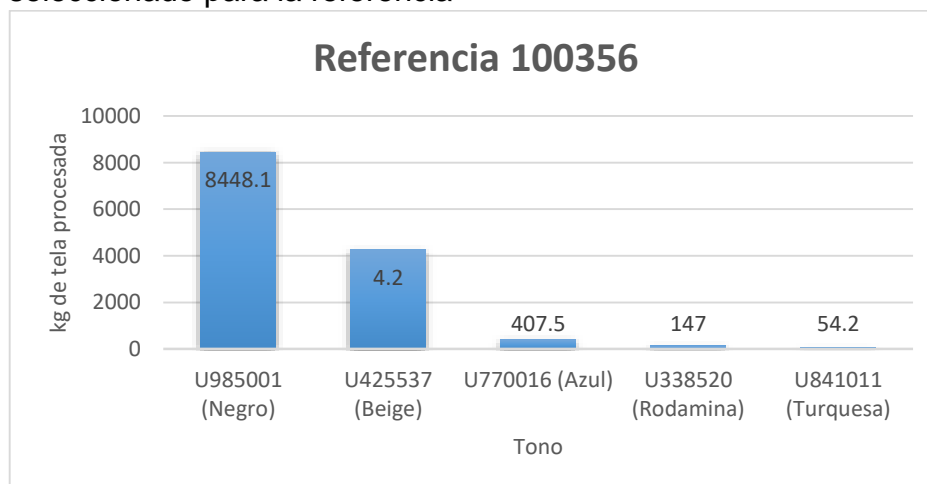
**Gráfica 2.** Cantidad de tela procesada anualmente de cada tono seleccionado para la referencia 300001



**Fuente:** elaboración propia con base a la información proporcionada por PROTELA S.A.

Para el caso de la referencia 300001, los colores azul y rojo presentan una alta demanda, aproximadamente 1 tonelada. Por otro lado, como se puede observar en la Gráfica 3, el color negro es el que presenta mayor demanda mientras que el turquesa en la referencia 100356 y la rodamina en las dos referencias se producen en una baja cantidad debido a que son tonos demasiado delicados y presentan problemas de solidez y reproducibilidad.

**Gráfica 3.** Cantidad de tela procesada anualmente de cada tono seleccionado para la referencia



**Fuente:** elaboración propia con base a la información proporcionada por PROTELA S.A.

### 2.3.2 Materias primas.

- **Antiespumante:** se encuentra compuesto por una emulsión de polisiloxano reactivo, el cual es estable a altas temperaturas y fácilmente dispersable. Cuenta con un pH entre 7,0 – 8,0 y es de carácter no iónico, lo que le permite ser compatible con productos no iónicos y aniónicos. Su principal función es prevenir la formación de espuma y destruir la que se haya formado con el fin de evitar quiebres y atascamientos en la máquina.
- **Dador de ácido:** está compuesto por esterres hidrolizables y 2,2-oxidietanol con una apariencia incolora y de carácter no iónico. Se emplea como donante de ácido e igualador en teñidos por agotamiento con colorantes ácidos y pre-metalizados en fibras de poliamida.
- **Igualador:** es una combinación de tensoactivos anicónicos y aminas grasas etoxilados, líquido, cuenta con baja viscosidad y una apariencia un poco amarillenta. Es un producto que garantiza una migración efectiva y balanceada a la fibra, es decir, retarda la adherencia del colorante a la tela ayudando una migración pareja.
- **Lubricante:** ee encuentra compuesto por poliamida modificada de alto peso molecular en solución acuosa, líquido ligeramente turbio y viscoso. Ayuda a inhibir la formación de pliegues en los equipos, protegiendo los tejidos contra la abrasión, quiebres, arrugas y marcas de cuerda durante los tratamientos textiles.
- **Fijador 1:** su composición es sulfonatos aromáticos, cuenta con un carácter aniónico, un aspecto liquido parduzco y un pH entre 8.5 – 9.5. Se emplea como un producto de post-tratamiento para mejorar las solidez en húmedo de tinturas y estampaciones.
- **Ácido fórmico:** líquido incoloro, fumante, olor picante, soluble en agua, alcohol y éter. Se emplea para teñido y acabado en la industria textil y de papel.
- **Detergente 1:** solución acuosa de amina grasa etoxilada, liquido amarillento y de carácter catiónico. Agente de baja espuma para el tratamiento posterior de lana, seda y poliamida que se han teñido con colorantes ácidos, complejo metálicos y reactivos.
- **Detergente 2:** compuesto de amonio orgánico, líquido amarillento de carácter catiónico y de pH 8,1 – 11,0. Producto especial para jabonado posterior con colorantes ácidos y de complejo metálico sobre poliamida.
- **Secuestrante:** está compuesto por una combinación de sales de ácidos fosfónicos de color transparente, incoloro y de carácter aniónico. Es empleado para el descruce y blanqueo con peróxido.

- **Fijador 2:** producto de condensados de ácidos sulfónicos aromáticos, de alto peso molecular, cuenta con un aspecto en polvo y de carácter anionactivo. Es un producto de post-tratamiento en la tintura de poliamida con colorantes ácidos.
- **Tripolifosfato de sodio:** polvo de color blanco e inodoro. Empleado como dispersante y agente tensoactivo en la coloración de textiles.
- **Ácido acético:** es empleado como modificador de pH con el fin de obtener las condiciones adecuadas para iniciar el teñido.

**2.3.3 Proceso de tintura.** Actualmente Protela S.A cuenta con una gran cantidad de curvas de teñido que dependen del tono y la fibra, allí se describe la temperatura, el tiempo y la adición de cada producto requerido durante el proceso. Para realizar dichas curvas la empresa se basa en el catálogo del proveedor de los colorantes, donde se especifican cantidades y curvas recomendadas, sin embargo, la empresa realiza modificaciones de acuerdo a la experiencia del manejo de sus fibras. Además, es importante aclarar que la temperatura inicial de las curvas depende de las propiedades de cada producto auxiliar, ya que se debe garantizar una buena solubilidad en el baño de tintura para evitar precipitaciones que provoquen problemas como manchas y mareo en la tela.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que en la tintura de poliamida 6,6 se debe alcanzar una temperatura máxima de 115 °C ya que esta es idónea para obtener buenos resultados de igualación sin alterar las condiciones del hilado de la fibra, si se eleva la temperatura por encima de dicho valor se podrían dar pérdidas notables en la elasticidad de los hilos<sup>44</sup>. Finalmente, de acuerdo a la experiencia del personal de la empresa, se establece desmontar la tela de la máquina a una temperatura de 60 °C para evitar quiebres en la fibra.

A continuación, se muestran las curvas de teñido para los 5 tonos a trabajar en las 2 referencias escogidas (300001 y 100356), las cuales se componen de poliamida 6,6 al 78 % y 82,84 %, respectivamente.

- Referencia 300001

A continuación se muestran los procesos actuales llevado a cabo por la empresa Protela para teñir 5 tonos (Amarillo, negro, azul, rojo y rodamina) en la referencia 300001. Como se dijo anteriormente, para cada uno de ellos se tiene un proceso especial que se compone principalmente de 3 etapas básicas (Teñido, lavado y fijado). Sin embargo, existen tonos críticos, por ejemplo la rodamina, que necesitan procesos adicionales como igualación y mayor número lavados y fijados.

---

<sup>44</sup> GAMBÚS, Esteban. Preparación y tintura texturizados de poliamida. [En línea] [Tomado el 3 de agosto de 2020]. Disponible en: <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/5866/Article03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

**Gráfica 4.** Proceso actual para los tonos amarillo (U146801), gris (U955003) y azul (U775011)

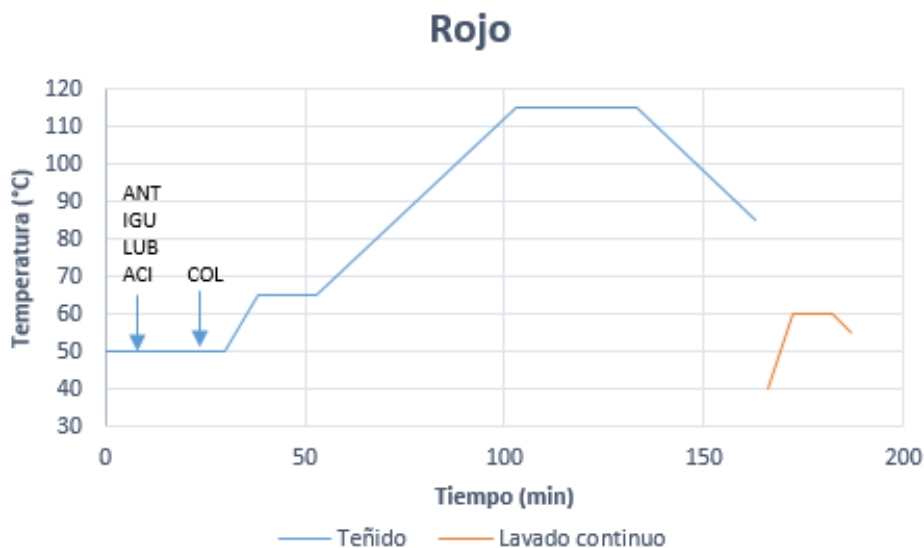


**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

Para los tonos amarillo (U146801), gris (U955003) y azul (U775011) se trabaja la curva que se muestra en la Gráfica 4. Dicha curva inicia cargando la tela junto con la cantidad de agua necesaria. Seguido, se aumenta la temperatura hasta 50 °C para ingresar el antiespumante, igualador, ácido y los colorantes en un tiempo de 10 minutos, se registra el pH del baño y se deja circular la tela durante 30 minutos. Se aumenta la temperatura a un gradiente de 2 °C/min hasta 65 °C donde se mantiene por 15 minutos. Posteriormente se continúa con un segundo gradiente de 1 °C/min hasta 115 °C y mantiene por 30 minutos. Por último, se refrigera hasta una temperatura de 85 °C y desagua.

Posteriormente, se ingresa el detergente 2 (detergente 1 para el caso del gris) a 40 °C para iniciar el lavado a 60 °C por 10 minutos y finalmente se hace el fijado a 80 °C por 20 minutos con el fijador 1) y el ácido.

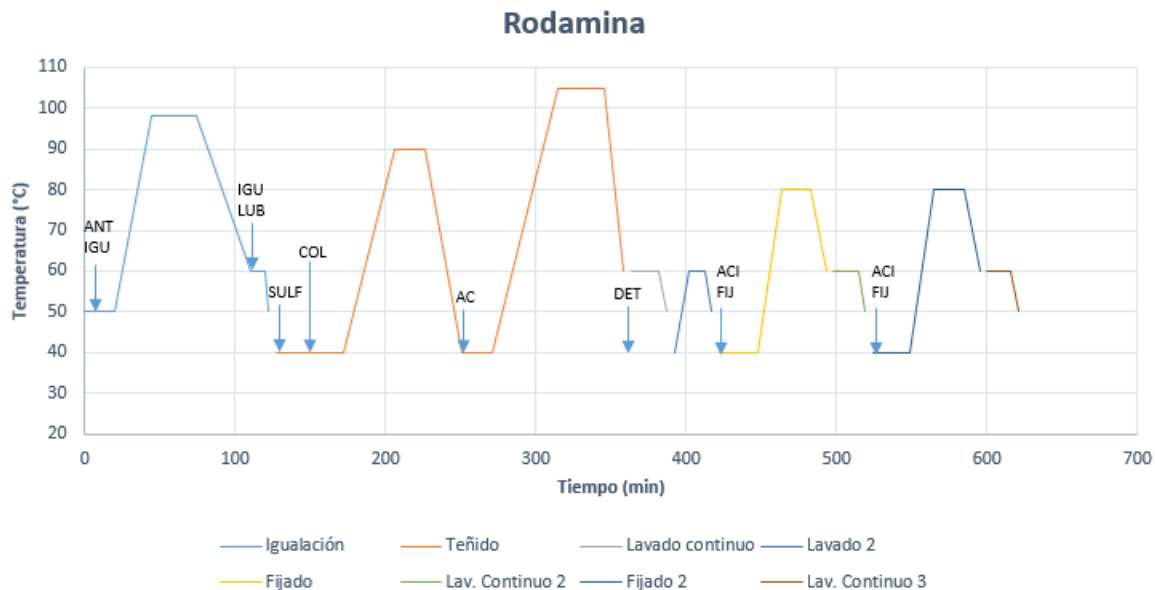
**Gráfica 5.** Proceso actual para el tono rojo (U356518)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

De igual manera el tono rojo (U356518) que se presenta en la Gráfica 5 cuenta con la misma curva de teñido que los tonos amarillo y negro, pero en este caso el proceso se finaliza con un lavado continuo durante 10 minutos a 60 °C.

**Gráfica 6.** Proceso actual para el tono rodamina (U348602)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

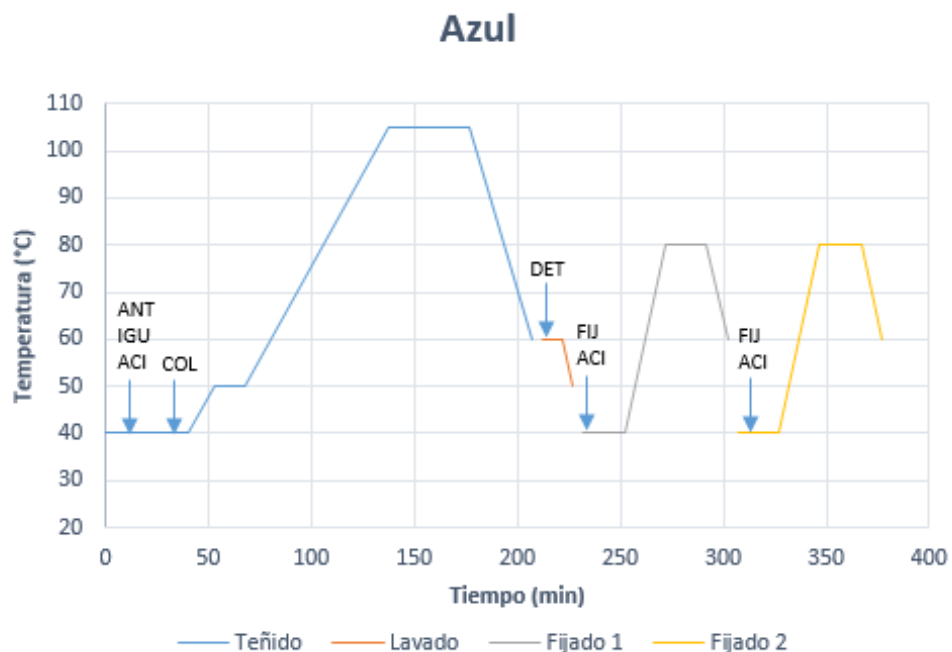
En la Gráfica 6 se observa el tono rodamina (U348602) que inicia adicionando el igualador y antiespumante a una temperatura de 50 °C, se deja circular la tela 10 minutos. Seguido, se eleva la temperatura hasta 98 °C donde se mantiene 30

minutos y se refrigera a 60 °C para agregar el igualador, el cual va a estar en contacto con la fibra por 10 minutos y culmina desaguardo. Continúa con el teñido donde se ingresa sulfato de amonio y los colorantes para hacer un primer agotamiento a 90 °C con un gradiente de 1,5 °C/min y mantiene 20 minutos, luego se refrigera hasta 40°C y se adiciona ácido con el fin de iniciar el segundo agotamiento a 105 °C con un gradiente de 1,5 °C/min y se mantiene 30 minutos. En seguida va un lavado continuo junto con el detergente 2 durante 6 minutos para luego desaguar y llenar de nuevo para hacer un segundo lavado a 60 °C por 10 minutos. Se comienza el primer fijado para lo cual se necesita ingresar el fijador 1 y un ácido (fórmico o acético) a 40 °C y luego incrementar la temperatura hasta 80 °C y mantener por 20 minutos, se repite un segundo y tercer lavado continuo a 60 °C por 6 minutos y un segundo fijado con las mismas condiciones descritas, en medio de dichos lavados.

- Referencia 100356

Al igual que la 300001, esta referencia cuenta con un proceso específico para cada tono. En este caso también se seleccionaron 5 tonos, entre los cuales se encuentra un azul, negro, beige, rodamina y turquesa.

**Gráfica 7.** Proceso actual para el tono azul (U770016)

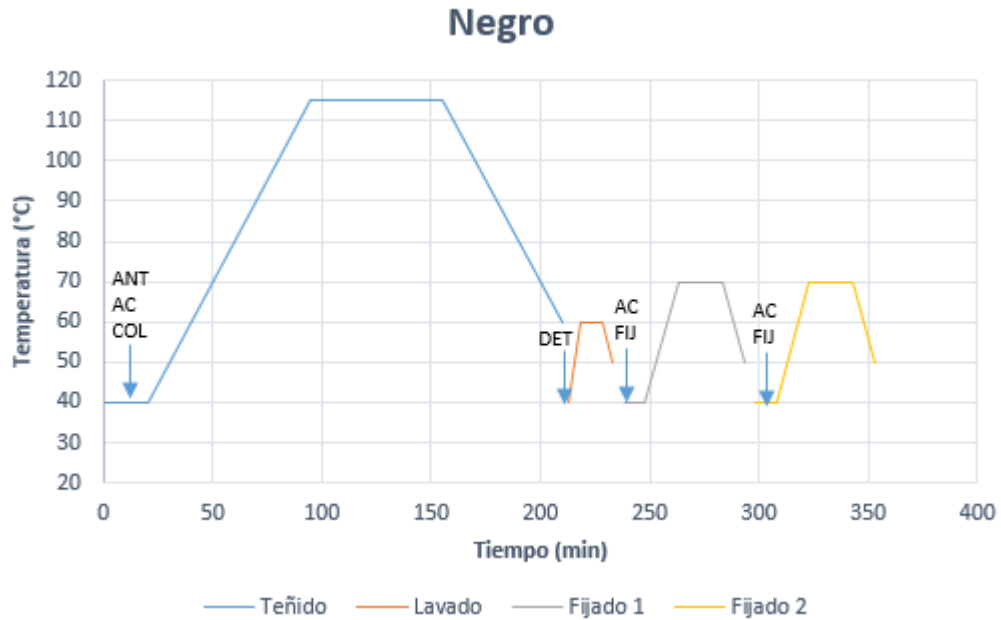


**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

La curva de teñido de tono azul (U770016) se puede observar en la Gráfica 7, y se aprecia que cuenta con la misma curva explicada para el color azul de la referencia 300001 (Grafica 4), pero solo se presenta un fijado utilizando el fijador 2.



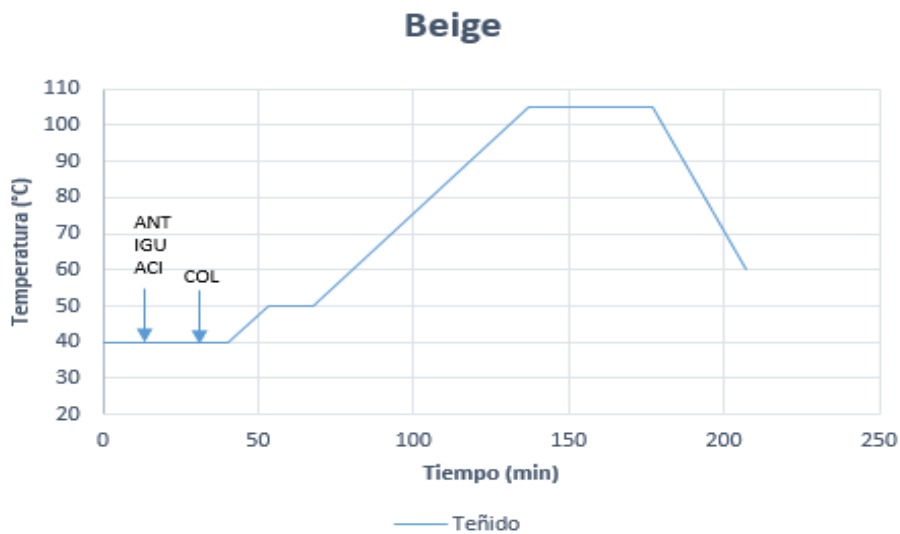
**Gráfica 8.** Proceso actual para el tono negro (U985001)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

El tono negro (U985001) inicia su curva de teñido a 40 °C donde se adicionan antiespumante, ácido y colorantes para circular por 10 minutos y registrar pH. Seguido, sube hasta 115 °C a un gradiente de 1 °C/min para mantener 60 minutos y refrigerar a 1 °C/min hasta 60 °C. Posteriormente, se hace el lavado con ayuda del detergente 1 a 60 °C por 10 minutos y finaliza realizando dos fijados, cada uno a 70 °C durante 20 minutos. Todo esto se puede apreciar en la Gráfica 8.

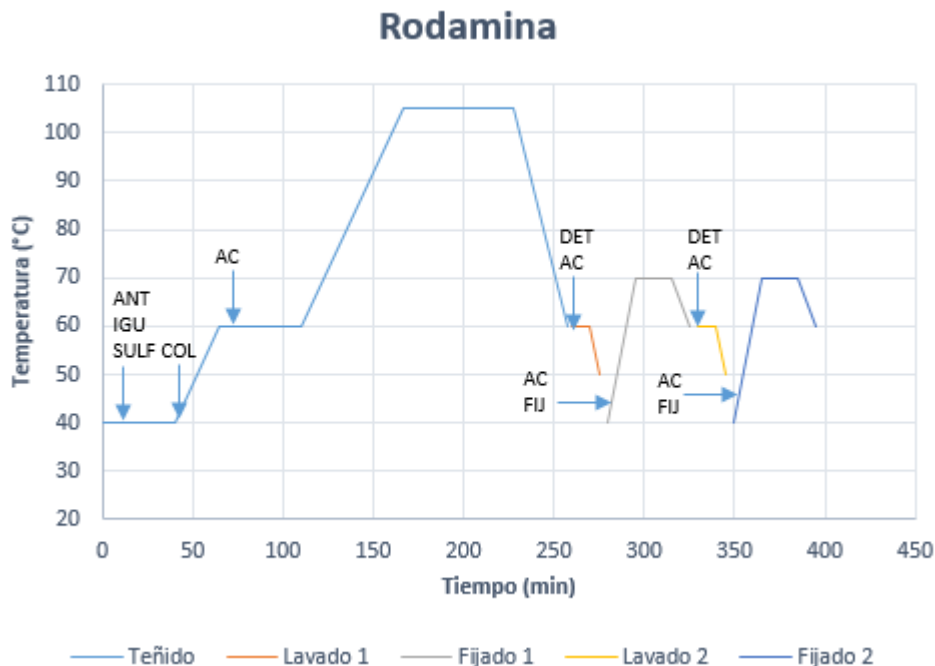
**Gráfica 9.** Proceso actual para el tono beige (U425537)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

En la Gráfica 9 se aprecia la curva del color beige (U425537), el cual cuenta con una concentración baja de colorantes, por dicha razón no se realizan lavados y el proceso solo consta de la curva de teñido que inicia a 40 °C. A esta temperatura se adiciona antiespumante, igualador, ácido y los colorantes y se deja circular la tela por 30 minutos. Posteriormente, empieza el teñido con un gradiente de 0,8 °C/min hasta 50 °C y mantiene esta temperatura durante 15 minutos. Luego, continúa a 0,8 °C/min hasta 105 °C, manteniendo esta temperatura durante un tiempo de 40 minutos. Finalmente se disminuye la temperatura del proceso hasta 60 °C con un gradiente de 1,5°C/min.

**Gráfica 10.** Proceso actual para el tono rodamina (U338520)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

La rodamina (U338520) al ser uno de los tonos más difíciles de trabajar necesita un proceso más largo y complejo para obtener buenos resultados, como se observa en la Gráfica 10. El teñido inicia a 40 °C en donde se ingresa antiespumante, igualador, sulfato de amonio y colorantes; en este punto se registra pH para posteriormente empezar a subir temperatura a un gradiente de 0,8 °C/min hasta 60 °C, donde se adiciona ácido y se mantiene dicha temperatura constante durante 15 min. Siguiendo con un gradiente de 0,8 °C/min se lleva el proceso hasta 105 °C y se mantiene esa temperatura por 60 minutos, para luego refrigerar hasta 60 °C con un gradiente de 1 °C/min. Una vez desagua la máquina, se inicia un lavado con detergente a 60 °C por 10 minutos y después se realiza un fijado a 70 °C por 20 minutos. Finalmente, se repite el proceso de lavado y fijado bajo las mismas condiciones.

**Gráfica 11.** Proceso actual para el tono turquesa (U841011)



**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

El turquesa (U841011) es uno de los tonos más críticos trabajados en la compañía. Por esta razón, se utiliza la misma curva de teñido descrita anteriormente para el tono rodamina, pero utilizando solo un lavado y un fijado con las mismas condiciones. Dicho proceso se puede observar en la Gráfica 11.

**2.3.4 Balance de materia del proceso actual.** El teñido de poliamida se lleva a cabo a nivel laboratorio en máquinas Mathis, las cuales permiten simular el funcionamiento de una máquina Jet en planta. Para el caso específico del proceso actual, en estas máquinas se pueden realizar las 3 etapas que la mayoría de los tonos requieren, teñido, fijado y lavado. Sin embargo, hay tonos especiales, como algunas rodaminas, que necesitan un proceso de igualación antes del teñido para evitar el rayado característico que tienen estos colores.

Dado que en el balance es necesario especificar la cantidad en g de cada producto, es necesario utilizar las Ecuaciones 1 y 2 para obtener la masa de acuerdo a las unidades de concentración que tiene cada auxiliar o colorante.

**Ecuación 2.** Masa de producto con concentración en g/L

$$m = C_c \times V$$

Donde

**m** es la masa en gramos de producto (auxiliar o colorante) adicionada a la máquina Mathis.

**C<sub>c</sub>** es la concentración del producto (auxiliar o colorante) en g/ L, dada en la fórmula de cada tono.

**V** es el volumen del baño de tintura en Litros

**Ecuación 3.** Masa de producto con concentración en %

$$m = \frac{C_p \times m_T}{100}$$

Donde

**m** es la masa en gramos de producto (auxiliar o colorante) adicionada a la máquina Mathis.

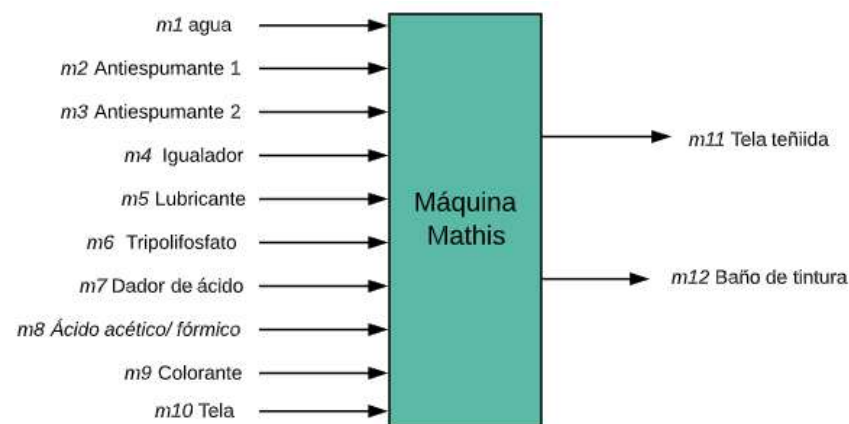
**C<sub>p</sub>** es la concentración del producto (auxiliar o colorante) en %, dada en la fórmula de cada tono.

**m<sub>T</sub>** es la masa de tela que se quiere teñir (g)

Con el fin de simplificar los cálculos se va a realizar el desarrollo del balance para el tono gris (U955003) de la referencia 300001 y el negro (U985001) para la 100356. Los resultados de los demás tonos se muestran en la Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 para cada una de las etapas de teñido en ambas referencias.

**2.3.4.1 Balance etapa de teñido.** En el Diagrama 2 se muestran los productos usados comúnmente en las formulas del proceso actual. Sin embargo, no todos los productos de allí se encuentran presente en la totalidad de los tonos, ya que, como se mencionó en el numeral 2.3.4 cada tono tiene su fórmula específica. Es por ello, que los *m2*, *m3*, *m4*, *m5*, *m6*, *m7* *m8* y *m9* son obtenidos de la fórmula de cada tono.

**Diagrama 2.** Etapa de teñido del proceso actual



**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 300001

**Ecuación 4.** Balance de la etapa teñido/fijado referencia 300001

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8 + m_9 + m_{10} = m_{11} + m_{12}$$

En este caso no se utiliza ácido acético o fórmico ( $m_8 = 0$ ) y se usa una relación de baño de 1:10 por lo que para 10 g de tela se necesitan 100 g de agua, es decir 0,1 L teniendo en cuenta una densidad de 1 kg/L a condiciones estándar. Además, una vez se realiza la experimentación se obtienen las masas de los baños de tintura, que para este caso es 70,42 g. Posteriormente, se realizan los cálculos de las masas de producto alimentado, de la siguiente manera:

**Ecuación 5.** Masa de antiespumante 1 alimentado

$$m_2 = 0,9 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,09 \text{ g de antiespumante 1}$$

**Ecuación 6.** Masa de igualador alimentado

$$m_4 = \frac{2 \% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,2 \text{ g de igualador}$$

**Ecuación 7.** Masa de lubricante alimentado

$$m_5 = 0,3 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,03 \text{ g de lubricante 1}$$

**Ecuación 8.** Masa de dador de ácido alimentado

$$m_7 = 1 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,1 \text{ g de dador de ácido}$$

**Ecuación 9.** Masa de colorante alimentado

$$m_9 = \frac{0,86 \% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,0864 \text{ g de colorante}$$

**Ecuación 10.** Masa de tela teñida

$$m_{11} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_9 + m_{10} - m_{12}$$

$$m_{11} = 40,09 \text{ g de tela teñida}$$

Para el caso específico del tono rodamina (U348602) se hace un descruce antes de iniciar el teñido, con el fin de evitar problemas de rayado. Por dicha razón, el peso de la tela es mayor en la tintura dado que se emplean antiespumantes e igualador.

**Tabla 1.** Balance de materia de la etapa de teñido en el proceso actual para la referencia 300001

Tono	Masa que entra a la etapa teñido (g)										Masa que sale (g)	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$	$m_7$	$m_9$	$m_{10}$	$m_{11}$	$m_{12}$	
U955003	100	0,09	0	0,2	0,03	0	0,1	0,0864	10	40,09	70,42	
U356518	100	0,09	0	0,3	0,03	0	0,08	0,7628	10	37,76	72,82	
U348602	100	0,1	0,1	0,165	0,03	0,1	0,3	0,0671	11	34,23	77,64	
U146801	100	0,09	0	0,2	0,03	0	0,1	0,1013	10	38,84	71,68	
U775011	100	0,08	0	0,05	0,03	0	0,08	0,3179	10	34,06	76,5	

**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 100356

**Ecuación 11.** Balance de la etapa teñido/fijado referencia 100356

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_7 + m_8 + m_9 + m_{10} = m_{11} + m_{12}$$

Para esta referencia en específico no se utiliza lubricante ni tripolifosfato por lo que tanto  $m_5$  como  $m_6$  equivale a 0. Además, al igual que en la referencia 300001, por medio de la experimentación se obtuvo una masa de baño de tinte de 87 g y se utilizó una relación de baño de 1:10, por lo que para los tonos rodamina y turquesa se necesitaron 0,15 L de agua para 15 g de tela; mientras que para los otros 3 tonos se utilizó 0,1 L de agua para 10 g de tela.

**Ecuación 12.** Masa de antiespumante 1 alimentado

$$m_2 = 0,3 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,03 \text{ g de antiespumante 1}$$

**Ecuación 13.** Masa de ácido fórmico o acético alimentado

$$m_8 = 3 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,3 \text{ g de ácido fórmico o acético}$$

**Ecuación 14.** Masa de colorante alimentado

$$m_9 = \frac{6,32 \% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,632 \text{ g de colorante}$$

**Ecuación 15.** Masa de tela teñida

$$m_{11} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_7 + m_8 + m_9 + m_{10} - m_{12}$$

$$m_{11} = 23,96 \text{ g de tela teñida}$$

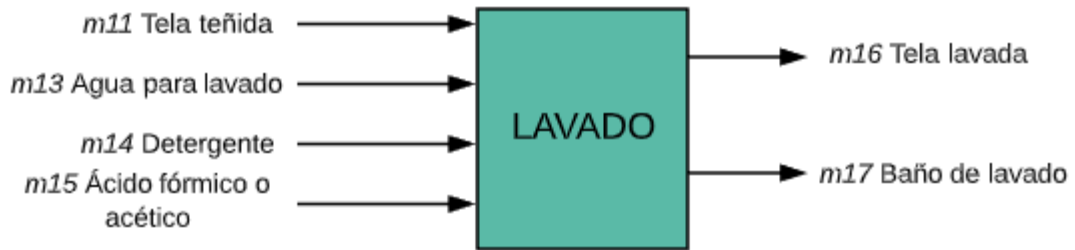
**Tabla 2.** Balance de materia de la etapa de teñido en el proceso actual para la referencia 100356

Tono	Masa que entra a la etapa teñido (g)							Masa que sale (g)		
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_7$	$m_8$	$m_9$	$m_{10}$	$m_{11}$	$m_{12}$
U985001	100	0,03	0	0	0	0,3	0,632	10	23,96	87
U770016	100	0,01	0	0,2	0,08	0	0,2885	10	28,58	82
U425537	100	0,08	0	0,3	0,08	0	0,0034	10	44,46	66
U338520	150	0	0,03	0,23	0	0,1	0,0455	15	44,07	121,33
U841011	150	0	0,03	0,23	0	0	0,0888	15	49,61	115,73

Fuente: elaboración propia

**2.3.4.2 Balance etapa de lavado.** En esta etapa básicamente se hace un proceso de lavado de la tela teñida con detergente. En algunos casos, como la rodamina, se utiliza una cantidad de ácido acético o fórmico para disminuir el pH del baño. Para esta etapa en específico los datos de  $m_{14}$  y  $m_{15}$  son obtenidos de la fórmula de cada tono y la corriente  $m_{17}$  se obtiene mediante experimentación.

**Diagrama 3.** Etapa de lavado del proceso actual



Fuente: elaboración propia

- Referencia 300001

**Ecuación 16.** Balance de la etapa de lavado proceso actual para referencia 300001

$$m_{11} + m_{13} + m_{14} + m_{15} = m_{16} + m_{17}$$

**Ecuación 17.** Masa de detergente alimentado

$$m_{14} = 1 \frac{g}{L} \times 0,1 L = 0,1 g \text{ de detergente}$$

**Ecuación 18.** Masa de tela lavada

$$m_{16} = m_{11} + m_{13} + m_{14} + m_{15} - m_{17}$$

$$m_{16} = 41,59 g \text{ de tela lavada}$$

**Tabla 3.** Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso actual de la referencia 300001

Tono	Masa que entra a la etapa lavado (g)				Masa que sale del lavado (g)	
	$m_{13}$	$m_{14}$	$m_{15}$	$m_{11}$	$m_{16}$	$m_{17}$
U955003	100	0,1	0	40,09	41,59	98,6
U356518	100	0	0	37,76	39,23	98,53
U348602	100	0,05	0,015	34,23	35,27	99,03
U146801	100	0,05	0	38,84	40,22	98,67
U775011	100	0,05	0	34,06	35,82	98,29

**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 100356

**Ecuación 19.** Balance de la etapa de lavado proceso actual para referencia 100356

$$m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{11} = m_{16} + m_{17}$$

**Ecuación 20.** Masa de detergente alimentado

$$m_{14} = 0,5 \frac{g}{L} \times 0,1 L = 0,05 g \text{ de detergente}$$

**Ecuación 21.** Masa de tela lavada

$$m_{16} = m_{11} + m_{13} + m_{14} + m_{15} - m_{17}$$

$$m_{16} = 26,71 g \text{ de tela lavada}$$

Como se observa en la Gráfica 10, el tono U425537 no necesita etapa de lavado y fijado al ser un tono claro, es por esta razón que en las Tablas 4 y 6 solo se muestra los resultados de los balances de 4 tonos.

**Tabla 4.** Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso actual de la referencia 100356

Tono	Masa que entra a la etapa lavado (g)				Masa que sale del lavado (g)	
	$m_{13}$	$m_{14}$	$m_{15}$	$m_{11}$	$m_{16}$	$m_{17}$
U985001	100	0,05	0	23,96	26,71	97,3
U770016	100	0,05	0	28,58	33,23	95,4
U338520	100	0,1	0,065	44,07	19,04	125,2
U841011	100	0,05	0	49,61	19,86	129,8

**Fuente:** elaboración propia

**2.3.4.3 Balance etapa de fijado.** Esta etapa es esencial ya que busca fijar el colorante en la tela para lograr unos buenos resultados en las pruebas de solidez. En algunos casos, como los tonos oscuros, intensos y las rodaminas, es necesario realizar un doble fijado debido a la gran cantidad de colorante utilizado en sus



fórmulas. Para esta etapa en específico los datos de  $m_{19}$  y  $m_{15}$  son obtenidos de la fórmula de cada tono y la corriente  $m_{22}$  se obtiene mediante experimentación.

**Diagrama 4.** Etapa de fijado del proceso actual.



**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 300001

**Ecuación 22.** Balance de la etapa de fijado proceso actual para referencia 300001

$$m_{16} + m_{18} + m_{19} + m_{20} = m_{21} + m_{22}$$

**Ecuación 23.** Masa de fijador alimentado

$$m_{19} = \frac{2 \% \times 41,5864 \text{ g}}{100} = 0,8317 \text{ g de fijador}$$

**Ecuación 24.** Masa de ácido acético/ fórmico alimentado

$$m_{20} = 1 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,1 \text{ g de ácido acético/fórmico}$$

**Ecuación 25.** Masa de tela fijada

$$m_{21} = m_{16} + m_{18} + m_{19} + m_{20} - m_{22}$$

$$m_{21} = 43,32 \text{ g de tela fijada}$$

**Tabla 5.** Balance de materia de la etapa de fijado para el proceso actual de la referencia 300001

Tono	Masa que entra a la etapa de fijado (g)				Masa que sale del fijado (g)	
	$m_{16}$	$m_{18}$	$m_{19}$	$m_{20}$	$m_{21}$	$m_{22}$
U955003	41,59	100	0,8317	0,1	43,32	99,2
U356518	39,23	100	0	0	39,98	99,25
U348602	35,27	100	3,1741	0,6	39,20	99,85
U146801	40,22	100	1,6089	0,1	42,46	99,47
U775011	35,82	100	5,0543	0,3	38,05	99,68

**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 100356

**Ecuación 26.** Balance de la etapa de fijado proceso actual para referencia 100356

$$m_{16} + m_{18} + m_{19} + m_{20} = m_{21} + m_{22}$$

**Ecuación 27.** Masa de fijador alimentado

$$m_{19} = \frac{8\% \times 26,71 \text{ g}}{100} = 2,1369 \text{ g de fijador}$$

**Ecuación 28.** Masa de ácido acético/ fórmico alimentado

$$m_{14} = 0,7 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,7 \text{ g de ácido acético/fórmico}$$

**Ecuación 29.** Masa de tela fijada

$$m_{21} = m_{16} + m_{18} + m_{19} + m_{20} - m_{22}$$

$$m_{16} = 29,72 \text{ g de tela fijada}$$

Cabe resaltar que la tela fijada se pasa posteriormente a un proceso de secado para eliminar la cantidad de agua que queda presente en la fibra.

**Tabla 6.** Balance de materia de la etapa de fijado para el proceso actual de la referencia 100356

Tono	Masa que entra a la etapa de fijado (g)				Masa que sale del fijado (g)	
	$m_{16}$	$m_{18}$	$m_{19}$	$m_{20}$	$m_{21}$	$m_{22}$
U985001	26,71	100	2,1369	0,07	29,72	99,2
U770016	33,23	100	1,9937	0,07	36,04	99,25
U338520	19,04	100	1,7132	0,07	20,97	99,85
U841011	19,86	100	0,4966	0,035	20,93	99,47

**Fuente:** elaboración propia

Con la base de datos de Protela S.A se identificó que la poliamida es la fibra más procesada en la empresa, por lo cual se seleccionaron dos referencias que tuvieron una producción de 110955 kg para el año 2019. Además, se tuvieron en cuenta aquellos tonos críticos y con mayor demanda, como es el caso de la rodamina y el negro. Finalmente, mediante la evaluación de las curvas de teñido de cada uno de los tonos, presentadas en el numeral 2.3.3, se evidenció que en el proceso actual cuenta con 4 etapas (descruce, teñido, lavado y fijado), donde se utilizan 11 productos auxiliares y un baño para cada etapa.

### 3. DESEMPEÑO DE LOS PRODUCTOS AUXILIARES EN EL TEÑIDO DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A

En este capítulo se busca verificar el comportamiento que presentan los productos auxiliares propuestos en los tonos críticos o más trabajados por la compañía, con el fin de determinar si es posible obtener resultados de calidades iguales o mejores a los obtenidos con el proceso estándar.

Adicionalmente, se describe el proceso y los productos propuestos con la finalidad de conocer la función que desempeña cada uno de ellos durante el proceso de teñido de las referencias seleccionadas.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS AUXILIARES DE TINTURA PROPUESTOS

La selección de los productos auxiliares propuestos se realizó en una etapa previa a la elaboración de este proyecto. Lo anterior se hizo por parte del laboratorio químico de la empresa mediante un estudio en el cual se evaluaron los productos y sus respectivos proveedores a través de una matriz de decisión, teniendo en cuenta criterios como el nivel de calidad, precio, cumplimiento de especificaciones técnicas, disponibilidad, entre otros<sup>45</sup>. Como resultado, se aprobaron 4 productos auxiliares con el objetivo de verificar y establecer sus condiciones de manejo en el proceso de teñido, empleando los mismo colorantes y fibras manejadas por la empresa, manteniendo el matiz de cada tono.

Dentro de los productos propuestos se encuentran dos detergentes, un dador de ácido y un fijador utilizados exclusivamente para el teñido de poliamida con colorantes ácidos los cuales ofrecen una tintura igualada, efecto anti quebradura, agotamiento del baño, fijación y emulsión de los aceites presentes en la fibra.

**3.1.1 Detergente 1 propuesto.** Este detergente es un líquido transparente amarillo que se compone principalmente de alcoholes grasos etoxilados, siendo de carácter no iónico y contando con un pH entre 5,5 a 7,0. La principal función de dicho detergente es retirar grasas o aceites aplicados anteriormente a los hilos con el fin de mejorar la tejeduría. Con el uso de este detergente se pretende obtener una fibra teñida sin manchas y con buena igualación.

**3.1.2 Dador de ácido propuesto.** Cuenta con una apariencia líquida incolora, con un pH entre 3,0 – 5,0 y es soluble a 25 °C, bajo agitación, el cual se compone de poliácido carboxílico. Este dador de ácido ayuda a obtener un pH neutro al inicio de la tintura y a medida que incrementa la temperatura vuelve el baño ácido facilitando el teñido de la fibra.

---

<sup>45</sup> CASTILLO CASAS, Camila. Propuesta de mejora en el proceso de tintura de fibras textiles en poliamida. Bogotá, 2019, p.77.

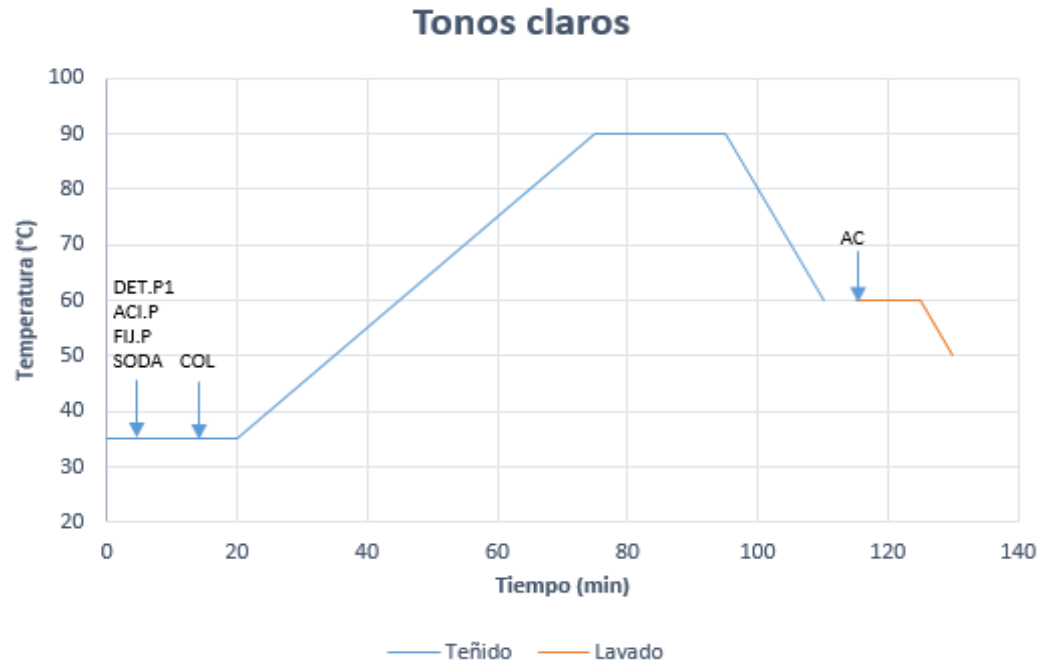
**3.1.3 Fijador propuesto.** Es un líquido viscoso castaño el cual contiene productos condensados de ácido arilsulfónico e hidroarilsulfónico, cuenta con un pH entre 7,5 – 8,5 y es soluble a 25°C, bajo agitación. Como su nombre lo indica, ayuda a fijar el colorante que se encuentra en la superficie de la fibra.

**3.1.4 Detergente 2 propuesto.** Es un detergente compuesto principalmente de alcoholes grasos etoxilados con un color translúcido y cuenta con un pH entre 9,0 – 11,0. Es empleado para retirar el colorante que no alcanza a reaccionar con la fibra, ayudando así a obtener buenos resultados de solidez.

## **3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO**

A diferencia del proceso actual, la propuesta con nuevos productos auxiliares solo utiliza 4 diferentes curvas que dependen de la cantidad y tipo de colorante. De esta manera, se tiene una primera curva propuesta para colores claros (menos de 0,59 % de colorante), la segunda para colores medios (entre 0,6 y 1 % de colorante) y una tercera curva que se utiliza tanto para tonos medios (1,1 a 2,9 % de colorantes) como para tonos oscuros (más de 3 % de colorante). Adicionalmente, se tiene un cuarto proceso que se utiliza especialmente para los tonos que contengan los colorantes Rodamina, Flavina y Turquesa. Cabe aclarar, que las curvas, la clasificación de tonos y las concentraciones de productos auxiliares son sugeridas por el proveedor, pero están sujetas a cambios, de acuerdo a la experimentación realizada. Dichas concentraciones en las que se trabajan los productos pueden ser modificadas por factores como la cantidad de aceite que tenga la fibra, la concentración de colorantes de la fórmula, cantidad de elastan presente en la tela, entre otras. Por otro lado, la curva se debe iniciar a una temperatura entre 25 y 35 °C con agitación debido a que, según la ficha técnica de los productos, en esta temperatura estos presentan una buena solubilidad, evitando su precipitación y posibles problemas de teñido. Además, como se mencionó en la sección 2.3.3, se debe alcanzar una temperatura máxima de 115 °C debido a las propiedades de la poliamida 6,6.

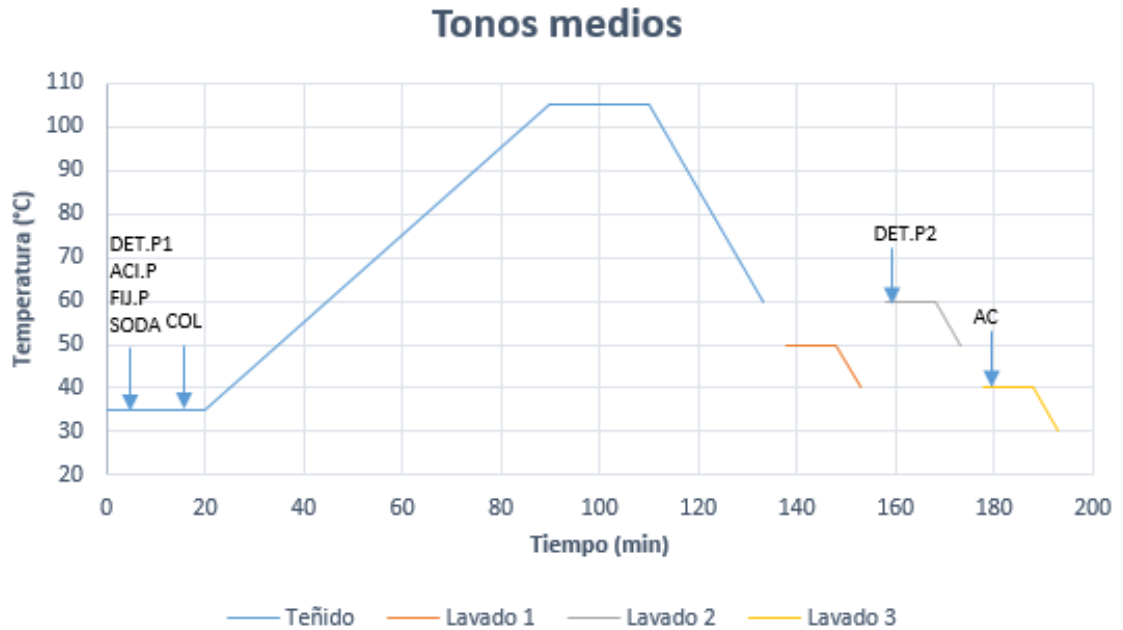
**Gráfica 12.** Proceso propuesto para tonos claros



**Fuente:** elaboración propia con base en el proveedor

En la Gráfica 12 se aprecia el proceso de teñido para tonos claros inicia a 35 °C donde se carga la tela en la máquina y se adicionan 3 de los productos auxiliares propuestos (detergente 1, dador de ácido y fijador) acompañados de soda cáustica para mantener un pH entre 7,0 - 8,0 y de esta manera evitar que los colorantes ácidos reaccionen muy rápido generando problemas como mareo y manchas en la fibra. Adicionalmente, se agregan los respectivos colorantes y se deja circular la tela en el baño de tintura durante 10 minutos. Luego, la temperatura del proceso comienza a subir hasta 90 °C con un gradiente de 1 °C/min, manteniendo dicha temperatura durante 20 minutos. En ese punto, se disminuye la temperatura a 2 °C/min hasta 60 °C. Finalmente, debido a la poca concentración de colorante, se realiza un lavado solo con agua y ácido fórmico durante 10 minutos.

**Gráfica 13.** Proceso propuesto para tonos medios

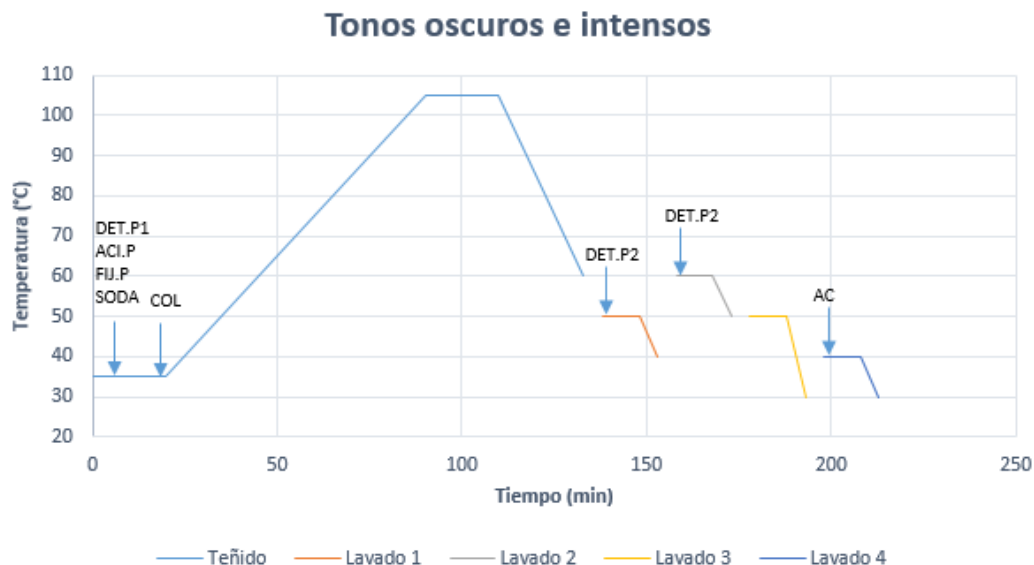


**Fuente:** elaboración propia con base en el proveedor

Al igual que en la curva de teñido utilizada en tonos claros, para los tonos medios la curva inicia a 35 °C y se realizan la adición de los 3 productos auxiliares, la soda y los colorantes. En el caso de los tonos medios, se sube la temperatura a 1 °C/min hasta 105 °C. Una vez allí, se mantiene dicha temperatura constante durante 20 minutos y se empieza a disminuir a 2 °C/min hasta 60 °C.

Finalmente, para estos tonos se realizan 3 lavados. El primero es solo con agua a 50 °C durante 10 minutos, el segundo se realiza a 60 °C durante 10 minutos con el detergente propuesto 2 con el fin de eliminar el colorante que queda en la superficie de la fibra y el último lavado se hace con agua y ácido fórmico a 40 °C también durante 10 minutos para garantizar un pH entre 4,5 y 5,5. Lo dicho anteriormente se puede evidenciar en la Gráfica 13.

**Gráfica 14.** Proceso propuesto para tonos oscuros e intensos

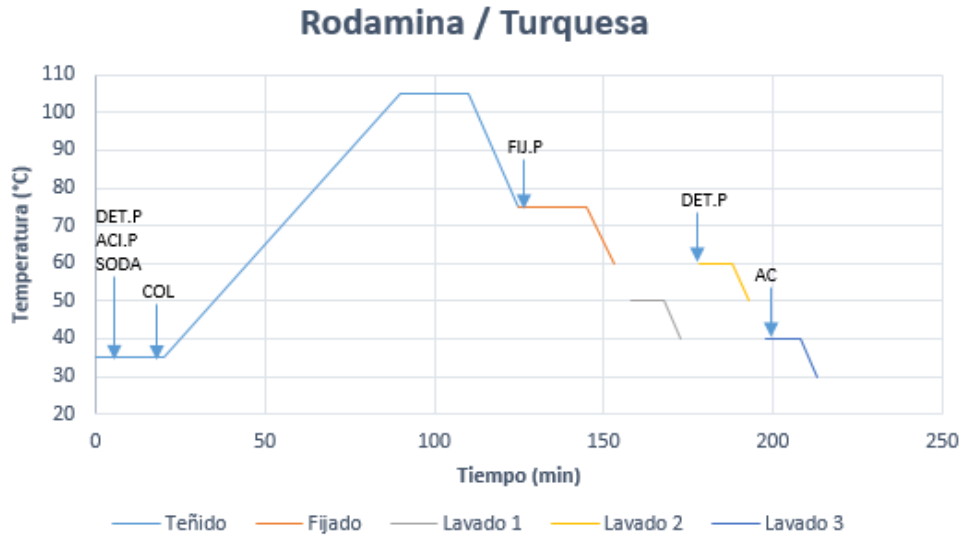


**Fuente:** elaboración propia con base en el proveedor

La curva de teñido presentada en la Gráfica 14 es la empleada para los tonos oscuros e intensos es igual a la descrita para los tonos medios. Sin embargo, para estos colores se tienen 4 lavados en lugar de 3.

En este caso los primeros dos lavados se realizan con el detergente propuesto 2, con el fin de tener unos mejores resultados en la prueba de solidez, a unas temperaturas de 50 y 60 °C, respectivamente. El tercer lavado es solo con agua a 50 °C y finalmente, el último lavado se realiza con agua y ácido fórmico a 40 °C para obtener un pH final entre 4,5 y 5,5. Cabe resaltar que cada uno de los cuatro lavados dura 10 minutos.

**Gráfica 15.** Proceso propuesto para tonos rodamina y turquesa



**Fuente:** elaboración propia con base en el proveedor

Como se puede observar en la Gráfica 15, el proceso de teñido para los colores que contienen rodamina y turquesa inicia una vez se carga la tela en el baño a 35 °C y se adicionan solo dos de los productos auxiliares (dador de ácido y detergente propuesto 1). En este proceso se aumenta la temperatura a 1 °C/min hasta 105 °C y se mantiene constante durante 20 minutos. Luego, a un gradiente de 2 °C/min se disminuye a 75 °C, temperatura a la cual se debe adicionar el fijador propuesto y mantener durante 20 minutos. Posteriormente, se sigue bajando la temperatura hasta los 60 °C.

Para el caso de estos colores críticos se realizan 3 lavados. El primer lavado es solo con agua a 50 °C, en el segundo se adiciona el detergente propuesto a 60 °C y finalmente, el último lavado se realiza con agua y ácido fórmico a 40 °C para obtener un pH final entre 4,5 y 5,5. Cabe resaltar que cada uno de los tres lavados 10 minutos.

### 3.3 TEÑIDO DE POLIAMIDA A NIVEL DE LABORATORIO

Para el teñido de poliamida es necesario implementar diferentes colorantes y productos auxiliares según el tono a trabajar. Cada uno de ellos cuenta con una fórmula recomendada por el proveedor, en la que varían las cantidades de productos auxiliares dependiendo de la cantidad de colorante. Para obtener cada una de las formulaciones, el proveedor realiza previamente pruebas en laboratorio clasificando así los tonos en claros, medios, oscuros e intensos, como se muestra en la Tabla 7.



Para los tonos medios, oscuros e intensos se trabaja una cantidad de 0,5 g/L del detergente 2 en los lavados descritos en las Gráficas de la sección 3.2.

**Tabla 7.** Cantidad de productos auxiliares usadas en el teñido de poliamida

<b>Tonos</b>	<b>Concentración de colorantes</b>	<b>Auxiliares</b>	<b>Cantidad de auxiliares</b>
<b>Claro</b>	≤0,59%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de acido	0,2%
		Fijador	1%
<b>Medios</b>	0,6%- 1%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de acido	0,3%
		Fijador	1,5%
<b>Oscuros</b>	1,1%- 2,9%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de acido	0,4%
		Fijador	2,5%
<b>Intensos</b>	≥3%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de acido	0,5%
		Fijador	3,5%

**Fuente:** Elaboración propia con base en el proveedor

Los 10 tonos seleccionados se pueden clasificar como se observa en la Tabla 8, teniendo en cuenta las sugerencias del proveedor, las cuales se muestra en la Tabla 7.

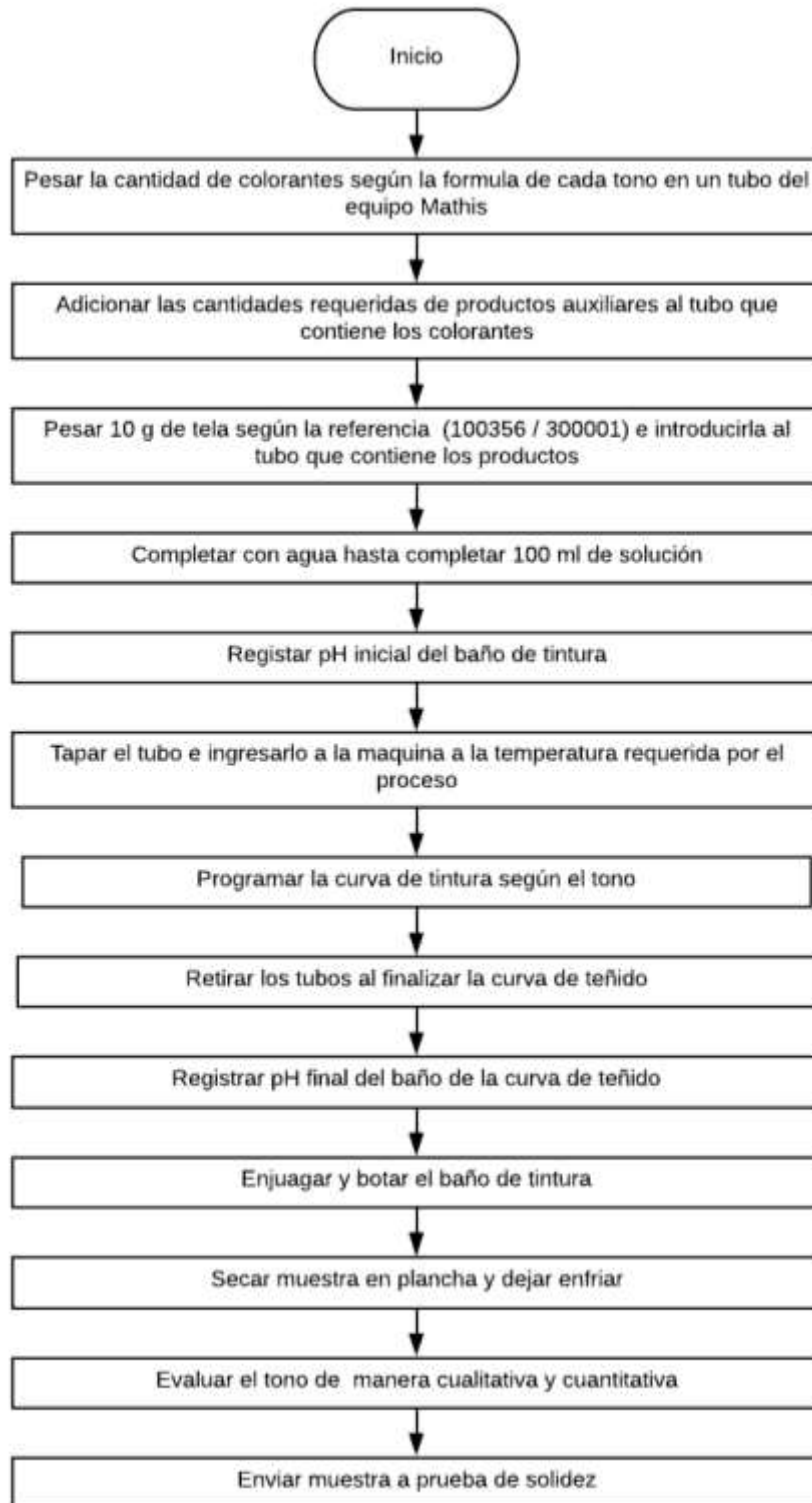
**Tabla 8.** Clasificación de los colores de acuerdo a la concentración de colorante

<b>Referencia</b>	<b>Color</b>	<b>Concentración de colorante</b>	<b>Tono</b>
<b>300001</b>	Amarillo-U146801	1,0%	Medio
	Rodamina- U348602	0,64%	Medio
	Gris-U955003	0,864%	Medio
	Rojo-U356518	0,7633%	Medio
	Azul- 775011	3,18%	Intenso
<b>100356</b>	Beige-U425537	0,03493%	Claro
	Azul-U770016	2,89%	Oscuro
	Negro-U985001	6,32%	Intenso
	Turquesa-U841011	0,6%	Medio
	Rodamina-U338520	0,3033%	Claro

**Fuente:** elaboración propia

En el Diagrama 5 se muestra el procedimiento empleado para realizar el teñido de la fibra de poliamida en el laboratorio con los productos auxiliares propuestos, para lo cual se emplea una máquina Mathis y una cantidad de 10 gramos de tela de cada una de las referencias. Dicha metodología es planteada por la empresa tomando como referente cada una de las curvas de teñido dadas por el proveedor de los colorantes y los productos auxiliares empleados para cada tono.

**Diagrama 5.** Procedimiento para el teñido de poliamida en laboratorio.

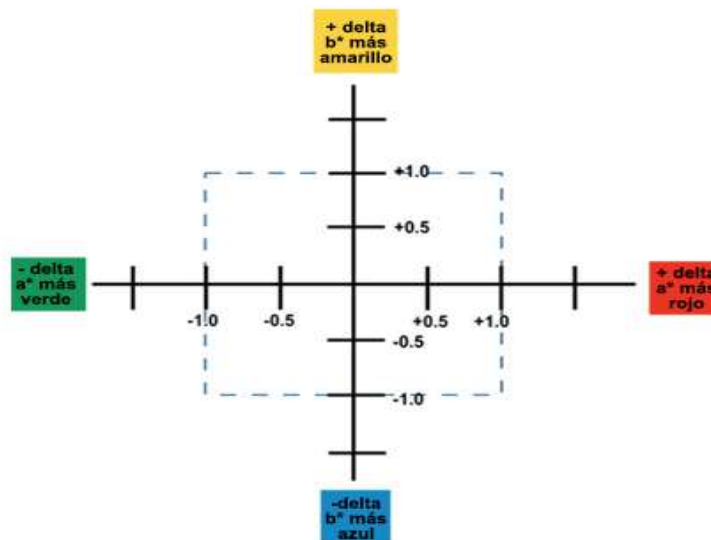


**Fuente:** elaboración propia con base en PROTELA S.A

### 3.4 VALIDACIÓN DE TONO

Para verificar el tono se cuenta con una muestra de la tela patrón, lo que permite comparar cualitativamente si se ha logrado el tono deseado o no. Además, para determinar cuantitativamente el color se emplea un espectrofotómetro que indica las coordenadas CIELAB, las cuales arrojan un DL que representa la luminosidad, coordenada verde/rojo (Da), coordenada azul/amarillo (Db) y la diferencia de color total (DE)<sup>46</sup>. Cuando se tienen coordenadas +Db significa que el color medido es más amarillo, -Db es más azul, -Da es más verde y +Da es más rojo, con respecto al patrón de referencia<sup>47</sup>. Estas coordenadas se deben encontrar lo más cercano a 0 posible, sin embargo, existe cierta tolerancia en los cuales el color se considera aceptable. Generalmente, este rango se encuentra dentro de la caja mostrada en la Imagen 10.

**Imagen 10.** Rango estándar de coordenadas CIELAB



**Fuente:** KONICA MINOLTA. Entendiendo El Espacio de Color CIE L\*A\*B\*. {En línea}. {17 de junio de 2020}. Disponible en: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

Los rangos en los cuales Protela acepta los tonos se muestran en la Tabla 9.

<sup>46</sup> CASTILLO CASAS, Camila. Op. Cit, p.98.

<sup>47</sup> SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibra de poliamida con colorantes ácidos en la industria textil. Quito, 2014, p.29.

**Tabla 9.** Rango de coordenadas CIELAB para Protela S.A

Delta	Rango
DL	(-1, 1)
Da	(-1, 1)
Db	(-1, 1)
DE	(0, 1)

**Fuente:** elaboración propia con base en Protela S.A

En la Tabla 10 se muestran los resultados de lectura de tono en el espectrofotómetro para los 10 tonos teñidos en laboratorio, con las cantidades de productos auxiliares dadas en la Tabla 7. Cabe aclarar, que aquellos tonos que están en rojo son los que pasan la prueba de tono.

**Tabla 10.** Coordenadas CIELAB para el proceso propuesto

Referencia	Tono	Coordenadas CIELAB			
		DL	Da	Db	DE
300001	Amarillo-U146801	0,49	-0,81	0,10	0,96
	Rodamina- U348602	-0,31	-1,70	1,19	2,1
	Gris-U955003	-0,08	0,02	-0,05	0,1
	Rojo-U356518	-2,44	-0,11	0,50	2,49
	Azul- 775011	1,49	0,31	0,28	1,41
100356	Beige-U425537	-0,38	0,28	0,31	0,57
	Azul-U770016	0,99	0,17	-1,0	1,3
	Negro-U985001	0,58	-0,52	0,36	0,86
	Turquesa-U841011	-0,35	-1,58	1,11	1,96
	Rodamina-U338520	5,18	-6,76	-1,89	8,72

**Fuente:** elaboración propia

Por otro lado, en la Tabla 11 se presentan las coordenadas CIELAB del proceso usado actualmente en la empresa con el fin de realizar un comparativo entre los resultados de la prueba de tono para ambos procesos. Como se observa allí, hay coordenadas que se encuentran fuera del rango permitido, sin embargo, en la prueba visual son aprobados.

**Tabla 11.** Coordenadas CIELAB para el proceso actual

Referencia	Tono	Coordenadas CIELAB			
		DL	Da	Db	DE
300001	Amarillo-U146801	-0,55	-0,37	-0,34	0,74
	Rodamina- U348602	-1,12	-0,27	-1,51	1,9
	Gris-U955003	0,30	-0,59	-0,13	0,67
	Rojo-U356518	0,47	0,51	0,85	1,09
	Azul- 775011	2,16	0,29	0,31	2,2

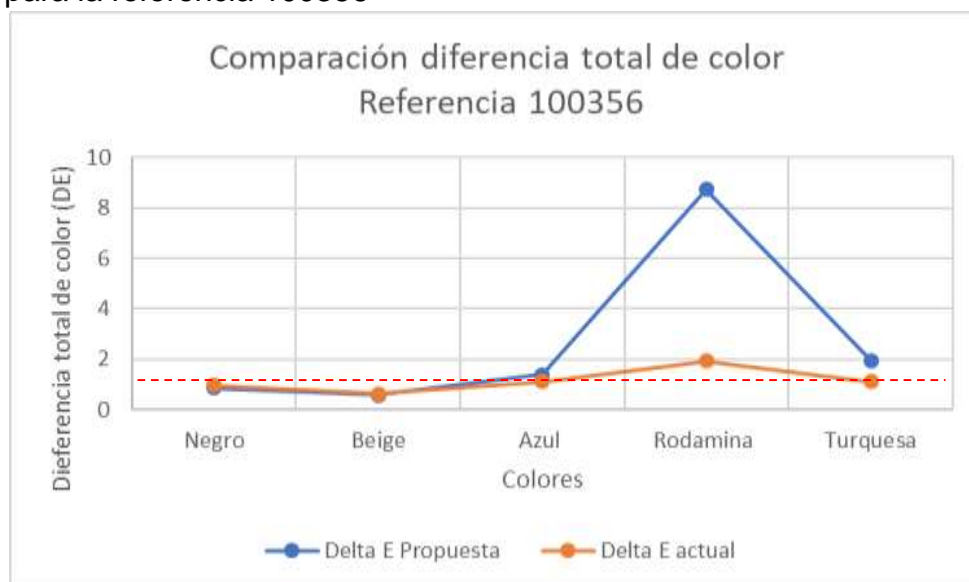
**Tabla 11.** (Continuación)

Referencia	Tono	Coordenadas CIELAB			
		DL	Da	Db	DE
100356	Beige-U425537				
	Azul-U770016	0,08	0,64	0,42	1,12
	Negro-U985001	0,89	-0,20	0,32	0,97
	Turquesa-U841011	-0,37	-0,06	1,04	1,11
	Rodamina-U338520	0,02	1,41	1,31	1,93

**Fuente:** elaboración propia

En la Gráficas 16 y 17 se pueden visualizar de una manera más fácil las coordenadas CIELAB para el proceso propuesto y el actual, en cada uno de los tonos. Específicamente se muestra la coordenada DE, la cual indica la diferencia total de color calculada a partir de los valores de DL, Da y Db.

**Gráfica 16.** Diferencia total de color del proceso propuesto vs actual para la referencia 100356



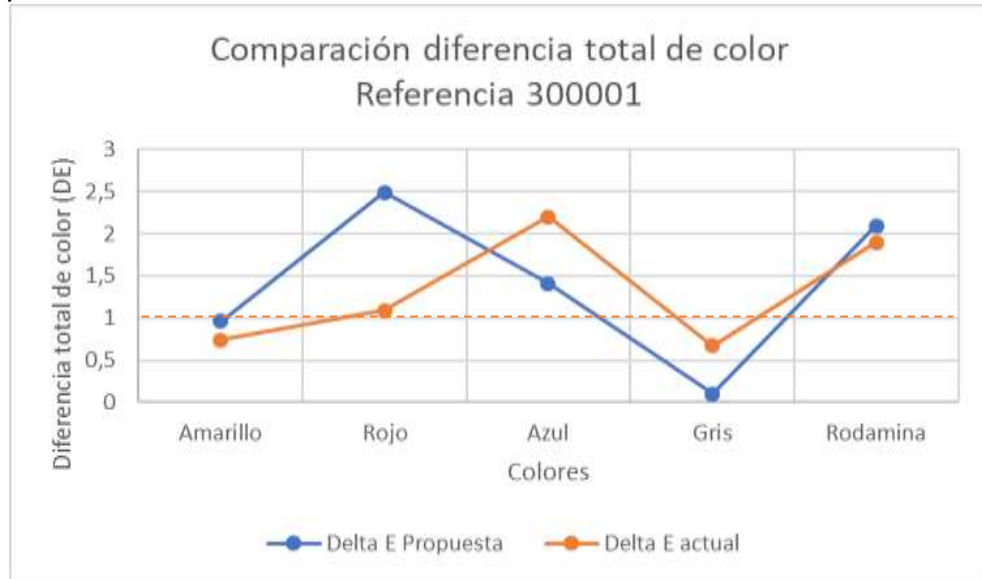
**Fuente:** elaboración propia

En la Gráfica 16 se observa que la diferencia total de color (DE) de los tonos negro, beige y azul se encuentra muy cerca en los dos procesos, mientras que el tono rodamina y turquesa se encuentran muy alejados el uno del otro y para el proceso propuesto se tiene una diferencia de color total mayor a 1,9, lo cual se encuentra por fuera del rango de aceptación.

Por otro lado, en la Tabla 17, se puede observar que para los tonos amarillo y gris la coordenada DE del proceso propuesto se encuentra muy cerca a la del proceso actual y en ambos casos está por debajo de 1, es decir que se encuentra en el rango

que acepta Protela; mientras que, en el caso de los tonos rojo, azul y rodamina la diferencia total de color para ambos procesos tiene un valor mayor a 1.

**Gráfica 17.** Diferencia total de color del proceso propuesto vs actual para la referencia 300001









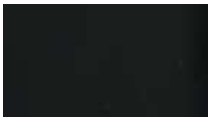
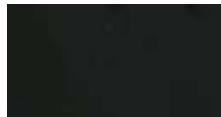
**Fuente:** elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en la prueba de tono realizada con el espectrofotómetro, se observó que 6 de los 10 tonos se acercan al patrón debido a que se encuentran dentro del rango presentado en la Tabla 9 y son aceptados en una evaluación visual con la ayuda de una caja de luces. Para el caso de la referencia 300001 los tonos amarillo y gris no sobrepasan el rango establecido, así como los tonos beige, azul y negro para la referencia 100356. Por otro lado, a pesar de que el tono rojo (U356518) presenta un DL alejado del patrón, este fue aprobado en la evaluación visual, representada en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Evaluación visual para proceso actual vs propuesta

Referencia	Tono	Actual	Propuesta
300001	Amarillo (U146801)		
	Gris (U955003)		

**Tabla 12.** (Continuación)

Referencia	Tono	Actual	Propuesta
300001	Rojo (U356518)		
	Beige (U425537)		
100356	Azul (U770016)		
	Negro (U985001)		

**Fuente:** elaboración propia

Los 6 colores que aprobaron la prueba de tonos pasan directamente al laboratorio de calidad para realizar las respectivas pruebas de solidez, mientras que los 4 tonos restantes son enviados a la fase de reformulación.

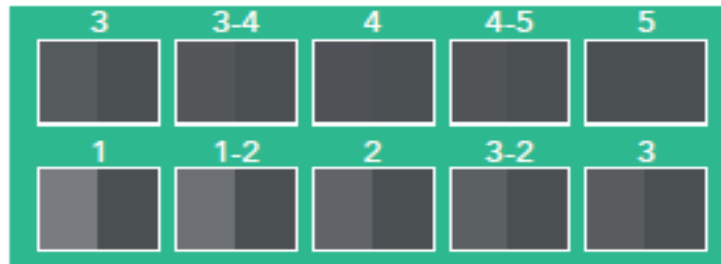
### 3.5 PRUEBAS DE CALIDAD

Luego de que el tono ha sido aprobado de manera cualitativa y cuantitativamente, se pasan a realizar las pruebas de calidad según las normas AATCC, ya descritas en el marco teórico. En estas pruebas se evalúa la transferencia de color (A), el cambio de color (B) y el desangre (C). Este último corresponde a la medición visual del baño que resulta del proceso de lavado, con el fin de evaluar la cantidad de colorante que se desprende de la fibra.

Los resultados obtenidos en las pruebas de solidez (Tabla 13) se determinan empleando la escala de grises. Dicha escala cuenta con dos parámetros, el primero es el cambio de color el cual se puede dar en la claridad o el matiz de la tela evaluada, esto se califica contrastando la muestra lavada y la muestra original, como

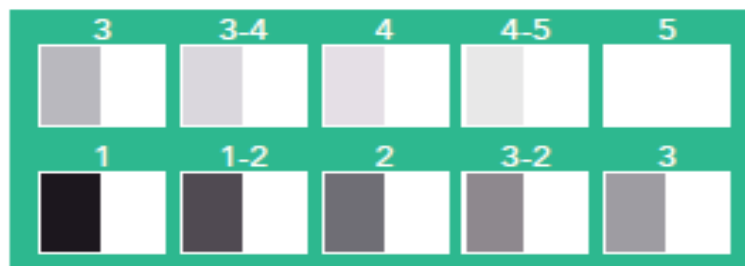
se muestra en la Imagen 11. Por otro lado, el segundo parámetro es el machado de las telas testigo, que se da debido a la transferencia de color de la tela lavada a la tela que la acompaña, como se aprecia en la Imagen 12.<sup>48</sup>

**Imagen 11.** Escala de grises para cambio de color



**Fuente:** COLTEJER. Manual de calidad: textiles. [En línea] [Tomado el 30 de Julio de 2020]. Disponible en: <[https://www.coltejer.com.co/subidos/manual\\_calidad.pdf](https://www.coltejer.com.co/subidos/manual_calidad.pdf)>

**Imagen 12.** Escala de grises para transferencia de color



**Fuente:** COLTEJER. Manual de calidad: textiles. [En línea] [Tomado el 30 de Julio de 2020]. Disponible en: <[https://www.coltejer.com.co/subidos/manual\\_calidad.pdf](https://www.coltejer.com.co/subidos/manual_calidad.pdf)>

Según los estándares de calidad que se tienen en la empresa Protela, se considera que una buena solidez se obtiene con resultados mayores o iguales a 3.0. Sin embargo, para el caso de la prueba al lavado, no es indispensable que la prueba de desangre (C) obtenga un resultado de 3.0 debido a que esta no es una prueba internacional por lo que no se rige por la norma AATCC, sino que se realiza como una prueba interna.

<sup>48</sup> COLTEJER. Manual de calidad: textiles. [En línea] [Tomado el 30 de Julio de 2020]. Disponible en: <[https://www.coltejer.com.co/subidos/manual\\_calidad.pdf](https://www.coltejer.com.co/subidos/manual_calidad.pdf)>



**Tabla 13.** Resultados pruebas de calidad del proceso propuesto

Referencia	Tono	Prueba de calidad								
		Lavado			Piscina	Mar			Frote seco	Frote húmedo
		A	B	C	B	A	B	C	A	A
300001	Amarillo-U146801	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.0
	Gris-U955003	4.5	4.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	Rojo-U356518	4.5	4.0	4.5	3.5	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
100356	Beige-U425537	4.5	4.0	4.5	3.5	4.5	4.0	4.5	NA	NA
	Azul-U770016	3.5	4.0	2.5	4.0	3.0	4.0	4.5	4.5	4.0
	Negro-U985001	2.0	4.0	3.0	4.0	2.0	4.0	4.5	4.0	4.0

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 13, el tono negro debe ser reformulado, debido a que presenta un resultado por debajo de 3,0 tanto en la prueba de lavado como en la prueba de mar, específicamente en la sección de transferencia de color (A). Además, comparando con la Tabla 14, se evidencia una similitud entre los resultados de las pruebas de solidez de ambos procesos.

**Tabla 14.** Resultados pruebas de calidad del proceso usado actualmente

Referencia	Tono	Prueba de calidad								
		Lavado			Piscina	Mar			Frote seco	Frote húmedo
		A	B	C	B	A	B	C	A	A
300001	Amarillo-U146801	4.5	4.5	3.5	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
	Gris-U955003	4.5	4.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
	Rojo-U356518	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
100356	Beige-U425537	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	NA	NA
	Azul-U770016	4.0	4.0	3.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
	Negro-U985001	4.0	4.0	2.5	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5

**Fuente:** elaboración propia

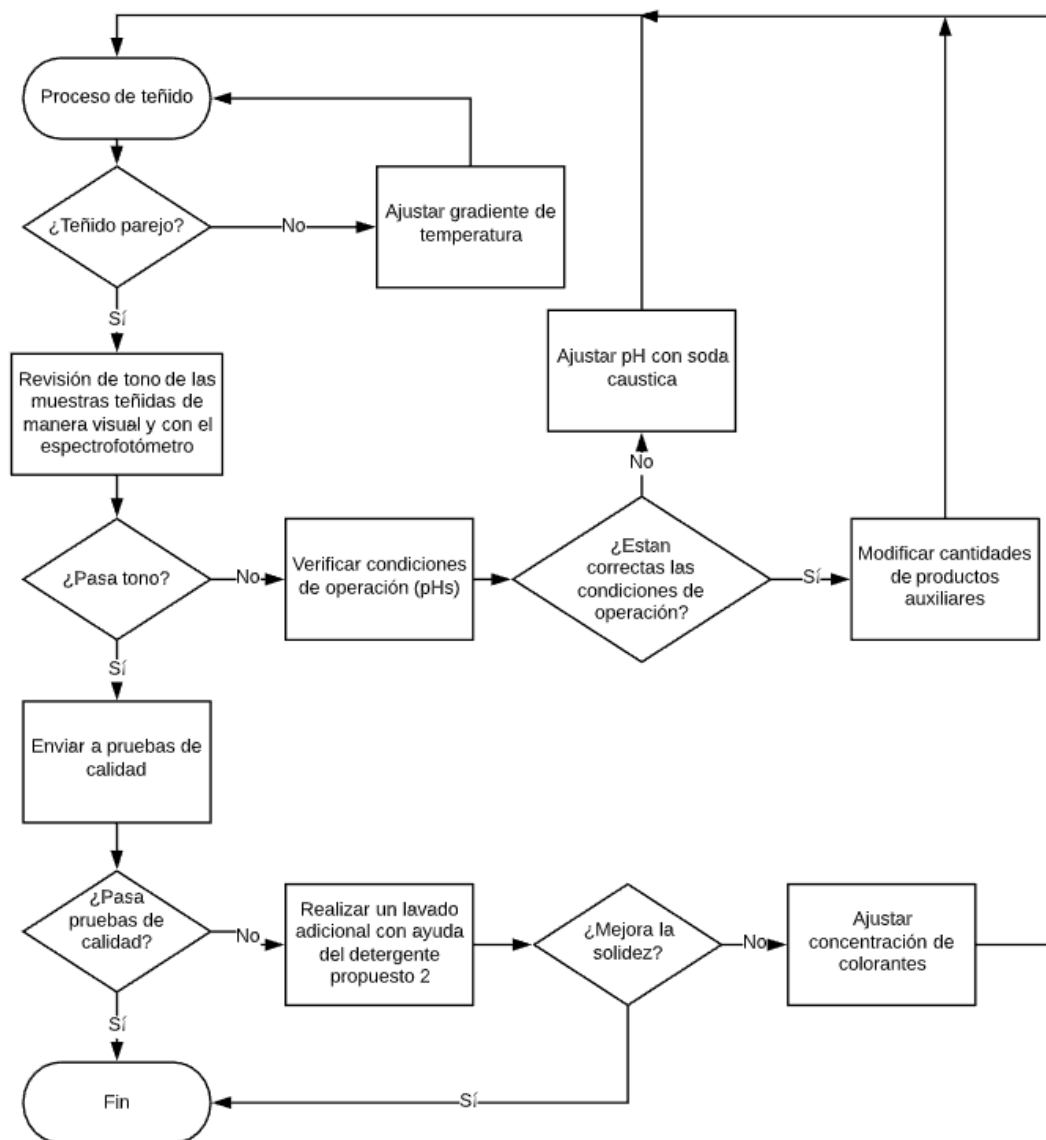
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de calidad y lectura de tono, se determinó que para los tonos amarillo, gris y rojo de la referencia 300001 junto con el tono beige y azul de la referencia 100356, se obtuvieron resultados satisfactorios en las pruebas de laboratorio para un proceso que solo incluye 2 etapas. De esta manera, se elimina una etapa (fijado) con respecto al proceso actual, lo que conlleva una disminución en el tiempo del proceso.

Finalmente, aquellos tonos que no aprobaron la lectura de tono (rodamina y azul para el caso de la referencia 300001 y para la 100356 el tono turquesa y rodamina) y las pruebas de solidez (tono negro de la referencia 100356) pasaron directamente a la etapa de reformulación para hacer ajustes en su fórmula.

#### 4. REFORMULACIÓN DE LOS TONOS QUE TIENEN BAJO DESEMPEÑO EN LAS PRUEBAS DE CALIDAD

Una vez se completa el proceso de teñido y se realiza la validación del tono, se determinan aquellos teñidos que no cumplen con los estándares solicitados por la empresa por lo que es necesario una reformulación, es decir, un ajuste en las cantidades de colorantes y/o productos auxiliares de cada tono. En el Diagrama 6, se muestra la metodología para realizar la reformulación teniendo en cuenta heurísticas y recomendaciones por parte del personal calificado de la empresa.

**Diagrama 6.** Metodología para la reformulacion de tonos



**Fuente:** elaboración propia

#### **4.1 VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Lo primero que se revisa son las condiciones de operación con las que se trabajó el teñido inicial, ya que, pudieron interferir en el mal desarrollo del tono. Inicialmente, se verifica el pH con el que inició el teñido, esto debido a que si el baño se encuentra en un pH ácido los colorantes pueden empezar a reaccionar con mayor velocidad, produciendo de esta manera mareos en la tela teñida. Además de revisar el pH al inicio del teñido es indispensable registrar el pH final, el cual debe estar más bajo que el inicial. Si el pH del baño final no tiene el comportamiento anteriormente descrito se valida el pH del agua, pues puede tener presencia de álcali.

Posteriormente se valida el agotamiento del baño de teñido, este paso permite observar la cantidad de colorante que se adhirió a la fibra, junto con ello se validan los baños del lavado lo que permite estimar si se van a obtener buenos resultados de solidez.

#### **4.2 AJUSTE DE LA CANTIDAD DE PRODUCTOS AUXILIARES**

Si los pHs y los baños del teñido presentan las condiciones de operación descritas anteriormente, se procede a modificar la cantidad de productos auxiliares para obtener un teñido parejo y el tono deseado.

El producto que se modifica inicialmente es el dador de ácido, manteniendo las mismas cantidades de los otros productos auxiliares, pues es el producto clave para obtener una buena migración. Con ayuda de la experimentación se pudo determinar que los teñidos que presentaban más problemas de tono eran aquellos con colorantes rodamina, turquesa y flavina.

Si al aumentar el dador de ácido hasta su máxima concentración, es decir, la concentración de tonos intensos, no se llega al tono deseado se procede a teñir tomando la siguiente escala del tono, o sea, si inicialmente se clasificó como tono claro se pasa como tono medio.

#### **4.3 CAMBIOS ADICIONALES**

Existen algunos tonos que pueden presentar problemas de igualación y manchas. Para dichos tonos se maneja un gradiente menor, esto permite que el colorante migre lentamente a la fibra y se obtenga un teñido parejo. Las manchas oscuras también se pueden deber a una migración rápida del colorante en ciertas partes de la fibra. Por otro lado, se vio necesario emplear ácidos y bases para llegar a los pHs requeridos en el teñido y en los lavados.

En caso de no estar cerca al tono deseado, se estableció como última instancia modificar las concentraciones de los colorantes. Para ello el espectrofotómetro cuenta con una función que muestra posibles reformulaciones, es decir,

concentraciones de colorantes adecuadas para acercar el tono evaluado al patrón. Además, es posible realizar cambios en la formula según el criterio visual con ayuda de la caja de luz estándar y personal calificado de la empresa para esta tarea.

#### 4.4 REFORMULACIÓN Y REVISIÓN DE TONO

Primero que todo, se revisaron las condiciones de operación, verificando que sí se encontraban en los rangos apropiados para realizar el proceso. Por esta razón se procede a realizar un ajuste en los auxiliares. Para ello, se estableció un diseño de experimentos variando inicialmente la concentración de dador de ácido, por ser un producto importante al momento del teñido, debido a que proporciona el pH adecuado para el proceso, lo cual es un aspecto clave para lograr el tono deseado y una buena igualación. En la Tabla 15 se observan las diferentes concentraciones utilizadas para la experimentación con su respectiva lectura de la diferencia total de color (DE), la cual es dada por el espectrofotómetro y también se puede calcular con la Ecuación 30 a partir de las coordenadas DL, Da y Db. Cabe aclarar, que este DE debe ser menor o igual a 1 para considerar que el tono medido es cercano al patrón, según los estándares de Protela.

**Ecuación 30.** Diferencia total de color

$$DE = \sqrt{DL^2 + Da^2 + Db^2}$$

Donde

*DE* es la diferencia total de color

*DL* es la diferencia de luminosidad

*Da* es la diferencia en la coordenada rojo/verde

*Db* es la diferencia en la coordenada amarillo/azul

**Tabla 15.** Diseño de experimentos para modificar la concentración del dador de ácido

DE	Referencia	Tono	Cantidad de dador de ácido (%)					
			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Diferencia de color	300001	Rodamina	NA	2,1	0,89	1,38	1,35	1,22
		Azul	NA	NA	1,41	1,51	1,25	1,12
		Negro	NA	NA	0,86	1,05	1,68	1,55
	100356	Rodamina	1,94	7,7	8,72	6,5	5,64	5,0
		Turquesa	1,96	2,2	2,15	2,3	2,25	2,1

**Fuente:** elaboración propia

Como se evidencia en la Tabla 15, en la referencia 300001 el tono rodamina presentó una diferencia de color total (DE) menor utilizando una concentración de dador de ácido de 0,5 %, sin embargo, tuvo problemas de mareo por lo que se decidió seguir aumentando esta concentración hasta 0,8 % donde, a pesar de tener

un DE menor sigue sin estar en el rango aceptado por la empresa ( $DE \leq 1$ ), por lo que se hace necesario ajustar las concentraciones de los demás productos auxiliares. La misma situación sucede con el tono turquesa y rodamina de la referencia 100356, en el que se obtiene el mínimo DE con una concentración de 0,3 %, pero presenta mareo y rayado, por lo que se aumenta dicha concentración de dador de ácido hasta 0,8 % sin obtener buenos resultados. Por otro lado, el tono azul de la referencia 300001 alcanza su menor DE a una concentración de 0,8 %, mientras que en el tono negro de la referencia 100356 a una concentración de 0,5 y 0,6 % se tienen menores valores de DE, pero con problemas de igualación por lo que se sigue experimentando hasta 0,8 % obteniendo un teñido parejo.

Se procede a realizar una evaluación visual, en la cual se obtuvo como resultados que pasan la prueba de tono solamente el azul y negro de la referencia 300001 y 100356, respectivamente. Esto se observa en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Evaluación visual para tonos aprobados cambiando la concentración de dador de ácido

Referencia	Tono	Actual	Propuesta
300001	Azul (U775011)		
100356	Negro (U985001)		

**Fuente:** elaboración propia

Debido a que en los tonos rodamina y turquesa no fue suficiente aumentar la concentración de dador de ácido para obtener un buen tono, se establece un nuevo diseño de experimentos en el cual se emplean las concentraciones de cada clasificación de tono (claros, medios, oscuros e intensos), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Diseño de experimentos para modificar la concentración total de productos auxiliares.

DE	Referencia	Tono	Clasificación de tono			
			Claros	Medios	Oscuros	Intensos
Diferencia de color total	300001	Rodamina	NA	2,1	1,9	1,27
	100356	Rodamina	8,72	6,5	5,43	5,07
		Turquesa	NA	1,96	2,2	2,05

**Fuente:** elaboración propia

Según la Tabla 17, los 3 tonos obtienen un menor DE utilizando las concentraciones de productos auxiliares dadas para los tonos intensos, sin embargo, no se encuentran en el rango de aceptación, por lo que se hace una evaluación visual de tono, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Evaluación visual para tonos rodamina y turquesa reformulados

Referencia	Tono	Actual	Propuesta
300001	Rodamina (U348602)		
	Turquesa (U841011)		
100356	Rodamina (U338520)		

**Fuente:** elaboración propia

Aunque estos tonos se encuentran un poco alejados al patrón, por recomendación del personal calificado de la empresa, se decide enviarlos a pruebas de calidad.

#### 4.5 PRUEBAS DE CALIDAD

Una vez se finaliza la prueba de tono de los colores reformulados se procede con las pruebas de solidez, cuyos resultados se muestran en la Tabla 19. Allí se evidencia que el tono más crítico para ambas referencias es la rodamina debido a que tiene resultados por debajo de 3.0 en la prueba de piscina.

Al igual que en la sección 3.5, los resultados de las pruebas de calidad son hallados empleando la escala de grises para cambio y transferencia de color.

**Tabla 19.** Resultados pruebas de calidad del proceso propuesto

Referencia	Tono	Prueba de calidad								
		Lavado			Piscina	Mar			Frote seco	Frote húmedo
		A	B	C	B	A	B	C	A	A
300001	Rodamina-U348602	4.5	4.5	2.5	2.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5
	Azul-775011	4.0	4.0	3.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5

**Tabla 19.** (Continuación)

Referencia	Tono	Prueba de calidad								
		Lavado			Piscina	Mar			Frote seco	Frote húmedo
		A	B	C	B	A	B	C	A	A
100356	Turquesa-U841011	4.0	4.5	4.0	3.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.5
	Rodamina-U338520	4.5	4.0	2.5	2.0	4.0	3.0	4.5	4.5	4.5
	Negro-U985001	3.0	4.0	2.5	4.0	3.5	4.0	4.5	4.5	3.0

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 20.** Resultados pruebas de calidad del proceso actual

Referencia	Tono	Prueba de calidad								
		Lavado			Piscina	Mar			Frote seco	Frote húmedo
		A	B	C	B	A	B	C	A	A
300001	Rodamina-U348602	4.5	4.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5	4.5
	Azul-775011	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
100356	Turquesa-U841011	4.5	4.0	4.0	3.5	4.5	4.0	4.5	NA	NA
	Rodamina-U338520	4.5	4.0	3.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	Negro-U985001	4.0	4.0	2.5	4.0	4.0	4.0	4.5	4.5	4.5

**Fuente:** elaboración propia

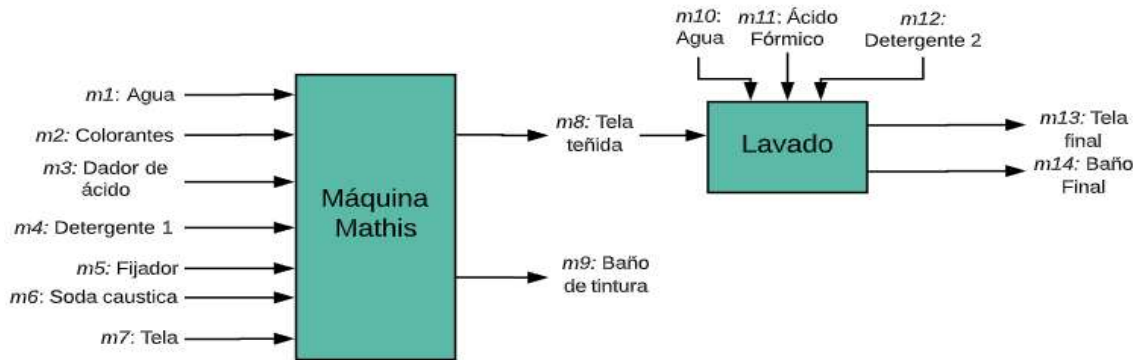
Se puede apreciar en la Tabla 19 que la prueba de solidez para las rodaminas U348602 y U338520 con el proceso propuesto no alcanza los valores obtenidos con el proceso actual (Tabla 20), por lo que no es viable su implementación desde un aspecto técnico, mientras que para el caso de azul (U775011), turquesa (U841011) y negro (U985001) se obtienen resultados similares al proceso actual.

#### 4.6. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO PROPUESTO

Como se mencionó anteriormente, el proceso de teñido de poliamida a nivel laboratorio se lleva a cabo en una máquina Mathis. Este proceso consta de 2 etapas, teñido y lavado; mientras que el proceso actual tiene las etapas de descruce, teñido, fijado y lavado. Lo anterior se debe a que en el proceso propuesto el fijado está implícito en la etapa de teñido, como se muestra en el Diagrama 7.



**Diagrama 7.** Diagrama del proceso de teñido propuesto



**Fuente:** elaboración propia

Para realizar el balance de materia es necesario tener en cuenta cada una de las etapas implicadas en el proceso, en este caso teñido y lavado, por lo cual se deben conocer las cantidades de auxiliares y colorantes utilizadas en la fórmula de cada tono. En este caso, se utiliza una relación de baño de 1:10 por lo que para 10 g de tela se debe usar una cantidad de 0,1 L de agua.

**Tabla 21.** Concentración de productos auxiliares para proceso propuesto de teñido.

Tonos	Concentración de colorantes	Auxiliares	Concentración de auxiliares
<b>Claro</b>	≤0,59%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de ácido	0,2%
		Fijador	1%
<b>Medios</b>	0,6%- 1%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de ácido	0,5%
		Fijador	1,5%
<b>Oscuros</b>	1,1%- 2,9%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de ácido	0,6%
		Fijador	2,5%
<b>Intensos</b>	≥3%	Detergente 1	0,6 g/L
		Dador de ácido	0,8%
		Fijador	3,5%

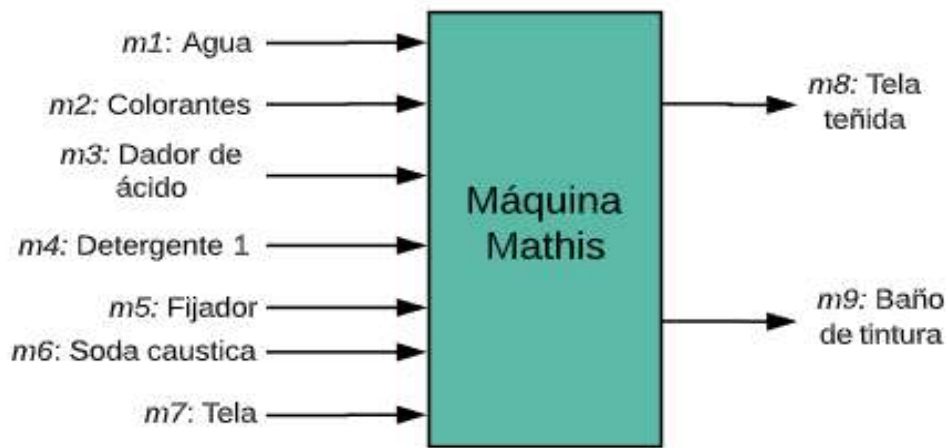
**Fuente:** elaboración propia

En la Tabla 21 se muestran las concentraciones propuestas que se deben usar en cada uno de los tonos, las cuales se determinaron teniendo en cuenta las modificaciones que se hicieron en los productos auxiliares de acuerdo al diseño de experimentos realizado y a resultados de los ensayos en laboratorio. Para determinar la cantidad en gramos de cada uno de ellos es importante tener en cuenta la unidad de concentración de cada producto. Cuando se tiene una

concentración en g/L la masa se debe hallar con respecto al volumen del baño de tintura, mientras que si se encuentra en porcentaje (%) se halla con respecto a la masa de tela que se desea teñir. Lo anterior se realiza con las Ecuaciones 1 y 2, utilizadas en el balance del proceso actual (Capítulo 2).

**4.6.1 Balance etapa de teñido.** En esta etapa se adicionan tanto los colorantes como los productos auxiliares. Para el caso específico de este proceso propuesto, la etapa de teñido se realiza al tiempo con el fijado, como se muestra en el Diagrama 8.

**Diagrama 8.** Etapa de teñido del proceso propuesto



**Fuente:** elaboración propia

A continuación, se desarrolla el balance del tono negro (U985001) de la referencia 100356, empleando la ecuación 31.

**Ecuación 31.** Balance de la etapa teñido/fijado

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 = m_8 + m_9$$

Utilizando las Ecuaciones 2 y 3 de la sección 2.3.4, se puede calcular la masa de auxiliares que se alimentan a la maquina Mathis, obteniendo de esta manera las Ecuaciones 32, 33, 34, 35, 36 y 37. Como se dijo anteriormente,  $m_1$  equivale al peso de 0.1 L de agua, es decir, 100 g. Adicionalmente, se conoce que  $m_7$  tiene un valor de 10 g de tela y mediante la experimentación se obtuvo una masa de baño de teñido ( $m_9$ ) de 84,69 g.

**Ecuación 32.** Masa de colorante alimentado

$$m_2 = \frac{6,32 \% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,632 \text{ g de colorante}$$

**Ecuación 33.** Masa de dador de ácido alimentado

$$m_3 = \frac{0,8 \% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,08 \text{ g de dador de ácido}$$

**Ecuación 34.** Masa de detergente 1 alimentado

$$m_4 = 0,6 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,06 \text{ g de detergente 1}$$

**Ecuación 35.** Masa de fijador alimentado

$$m_5 = \frac{3,5\% \times 10 \text{ g}}{100} = 0,35 \text{ g de fijador}$$

**Ecuación 36.** Masa de soda cáustica alimentada.

$$m_6 = 0,08 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,008 \text{ g de soda cáustica}$$

**Ecuación 37.** Masa de tela teñida

$$m_8 = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 - m_9 = 24,28 \text{ g de tela teñida}$$

De la misma manera como se elabora el balance de materia para el teñido/fijado del tono negro, se realiza el respectivo balance para los demás tonos trabajados. Los resultados de lo anterior se muestran en las Tablas 22 y 23 para las referencias 300001 y 100356, respectivamente.

**Tabla 22.** Balance de materia de la etapa de teñido/fijado en el proceso propuesto en la referencia 300001

Tono	Masa que entra a la etapa teñido/fijado (g)							Masa que sale (g)	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$	$m_7$	$m_8$	$m_9$
U955003	100	0,0864	0,03	0,06	0,15	0,008	10	24,28	86,1
U356518	100	0,0763	0,03	0,06	0,15	0,008	10	24,34	85,9
U348602	100	0,0644	0,08	0,06	0,35	0	10	24,95	85,6
U146801	100	0,1019	0,03	0,06	0,15	0,008	10	23,83	86,5
U775011	100	0,3177	0,08	0,06	0,35	0,008	10	25,04	85,8

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 23.** Balance de materia de la etapa de teñido/fijado en el proceso propuesto en la referencia 100356

Tono	Masa que entra a la etapa teñido/fijado (g)							Masa que sale (g)	
	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$	$m_6$	$m_7$	$m_8$	$m_9$
U985001	100	0,632	0,08	0,06	0,35	0,008	10	26,44	84,7
U841011	100	0,0593	0,08	0,06	0,35	0	10	23,53	87,0
U770016	100	0,2885	0,04	0,06	0,25	0,008	10	23,29	87,4
U425537	100	0,0035	0,02	0,06	0,1	0,008	10	25,52	84,7
U338520	100	0,0303	0,08	0,06	0,35	0	10	25,16	85,4

**Fuente:** elaboración propia

**4.6.2 Balance etapa de lavado.** En esta etapa se utiliza un detergente con el fin de eliminar la mayor cantidad de colorante presente en la superficie de la fibra. El proceso de lavado se representa en el Diagrama 9.

**Diagrama 9.** Etapa de lavado del proceso propuesto.



**Fuente:** elaboración propia

Para el caso del tono negro (U985001) se obtuvo una masa de baño final ( $m_{14}$ ) de 98,32 g y se utiliza una cantidad de agua ( $m_{10}$ ) de 100 g. El balance del lavado está dado por la Ecuación 38.

**Ecuación 38.** Balance de la etapa de lavado proceso propuesto

$$m_8 + m_{10} + m_{11} + m_{12} = m_{13} + m_{14}$$

**Ecuación 39.** Masa de ácido fórmico alimentado.

$$m_{11} = 0,05 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,005 \text{ g de ácido fórmico}$$

**Ecuación 40.** Masa de detergente 2 alimentado

$$m_{12} = 1 \text{ g/L} \times 0,1 \text{ L} = 0,1 \text{ g de detergente 2}$$

**Ecuación 41.** Masa de tela final

$$m_{13} = m_8 + m_{10} + m_{11} + m_{12} - m_{14} = 28,225 \text{ g de tela final}$$

Al igual que en el teñido y fijado, en la etapa de lavado se realizan los balances de materia siguiendo las Ecuaciones 39, 40 y 41; obteniendo los resultados registrados en las Tablas 24 y 25.

**Tabla 24.** Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso propuesto de la referencia 300001

Tono	Masa que entra a la etapa lavado (g)				Masa que sale del lavado (g)	
	$m_8$	$m_{10}$	$m_{11}$	$m_{12}$	$m_{13}$	$m_{14}$
U955003	24,28	100	0,005	0,1	26,07	98,3
U356518	24,34	100	0,005	0,05	25,38	99,0
U348602	24,95	100	0,005	0,05	26,46	98,6
U146801	23,83	100	0,005	0,05	25,21	98,7
U775011	25,04	100	0,005	0,1	25,84	99,3

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 25.** Balance de materia de la etapa de lavado para el proceso propuesto de la referencia 100356

Tono	Masa que entra a la etapa lavado (g)				Masa que sale del lavado (g)	
	$m_8$	$m_{10}$	$m_{11}$	$m_{12}$	$m_{13}$	$m_{14}$
U985001	26,44	100	0,005	0,1	28,23	98,32
U841011	23,53	100	0,005	0,05	24,56	99,02
U770016	23,29	100	0,005	0,1	24,84	98,55
U425537	25,52	100	0,005	0	26,86	98,67
U338520	25,16	100	0,005	0,05	25,92	99,3

**Fuente:** elaboración propia

Según los datos obtenidos en la reformulación, los tonos azul, negro y turquesa pasan tanto las pruebas de calidad como las pruebas de tono, mientras que el tono rodamina de ambas referencias debe seguir evaluando con el fin de mejorar los resultados en la prueba de piscina. Una vez se tienen los resultados de estas pruebas de tono y solidez, se procede a realizar un análisis de costos para determinar la viabilidad económica de la implementación de la propuesta.

## 5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA

Para tener claridad sobre los beneficios de la nueva propuesta en los procesos realizados en Protela S.A es necesario realizar un análisis de costos en los teñidos considerando aspectos como los costos en la fórmula y los costos de servicios de cada tono, teniendo en cuenta que para la referencia 300001 el proceso se lleva a cabo en máquinas Jet y la referencia 100356 en máquinas torpedo.

### 5.1 COSTO DE LA FÓRMULA

El costo de la fórmula de cada tono se realiza teniendo en cuenta cada uno de los colorantes y productos auxiliares necesarios para realizar el proceso de teñido tanto actual como el de la propuesta. Para ambos casos los costos se calculan para máquinas con una carga de 240 kg, 2400 litros y relación de baño 1:10. Lo dicho anteriormente se puede encontrar discriminado en el Anexo A para cada uno de los tonos y procesos trabajados.

Para obtener el costo de cada colorante o auxiliar de tintura presente en la fórmula de cada tono se deben utilizar las Ecuaciones 42 y 43, dependiendo de las unidades en las que se encuentra la concentración del producto.

**Ecuación 42.** Costo de colorantes o productos auxiliares con concentración en g/L

$$\text{Costo colorantes o auxiliares} = \frac{C_c \times V \times P}{1000}$$

Donde

**C<sub>c</sub>** es la concentración del colorante o producto auxiliar en g/L

**V** es el volumen del baño de tintura en litros

**P** es el precio del producto dado por el proveedor

**Ecuación 43.** Costo de colorantes o productos auxiliares con concentración en %

$$\text{Costo colorantes o auxiliares} = \frac{C_p \times m \times P}{100}$$

Donde

**C<sub>p</sub>** es la concentración del colorante o producto auxiliar en %

**m** es la masa de tela procesada en kg

**P** es el precio del producto dado por el proveedor

Una vez se tiene el costo de todos los productos, teniendo en cuenta la fórmula de cada tono, se realiza el precosteo para determinar precio de la fórmula por cada kg de tela procesada y se calcula el ahorro que existe entre los costos de ambos procesos, como se muestra en las Ecuaciones 44 y 45.

**Ecuación 44.** Costo total de la fórmula por Kg de tela procesada

$$\text{Precosteo} = \frac{C_T}{m}$$

Donde

$C_T$  es el costo total de la fórmula por tono

$m$  es la masa de tela procesada en Kg

**Ecuación 45.** Ahorro del proceso propuesto con respecto al actual

$$\% \text{ Ahorro por Kg de tela} = \left(1 - \frac{C_{fp}}{C_{fa}}\right) \times 100$$

Donde

$C_{fp}$  es el costo total de la fórmula para el proceso propuesto

$C_{fa}$  es el costo total de la fórmula para el proceso actual

Utilizando las ecuaciones explicadas anteriormente, se calculó el costo fórmula para comparar ambos procesos. En la Tabla 26, se evidencia que en 7 de los 10 tonos se obtiene un ahorro mayor al 10 %, a excepción del tono rojo de la referencia 300001 donde el ahorro es solo del 3 % y el turquesa donde es más económica la fórmula de proceso actual.

**Tabla 26.** Costo de fórmula del proceso actual vs proceso propuesto

Referencia	Tono	Costo fórmula actual por Kg	Costo fórmula propuesta por Kg	Ahorro
300001	Amarillo-U146801	\$ 2.855	\$ 2.144	25%
	Gris- U955003	\$ 1.997	\$ 1.573	21%
	Rojo-U356518	\$ 1.438	\$ 1.389	3%
	Rodamina-U348602	\$ 2.762	\$ 2.269	18%
	Azul-U775011	\$ 4885	\$ 4818	1%
100356	Negro-U985011	\$ 4.106	\$ 3.632	12%
	Azul-U770016	\$ 7.239	\$ 6.481	10%
	Beige- U425537	\$ 722	\$ 560	22%
	Rodamina-U338520	\$ 2.921	\$ 1.735	41%
	Turquesa-U841011	\$ 2.233	\$ 2.477	-11%

**Fuente:** elaboración propia

## 5.2 COSTO DE LOS SERVICIOS

La información de servicios auxiliares es suministrada por la empresa, allí se incluye el consumo de agua, vapor y energía para cada una de las curvas de teñido. Para ello, se debe identificar el tipo de máquina en que se tiñe cada una de las referencias y la curva de teñido que se emplea. En el caso de la referencia 300001, se utilizan Jets, mientras que en la 100356 se usan Torpedos; además, para hacer el análisis

de costos de ambas referencias se utilizan máquinas con una capacidad de carga de 240 kg.

**Tabla 27.** Costo de servicios del proceso actual vs proceso propuesto

Referencia	Tono	Costo Total de servicios (agua, luz y vapor)		Ahorro
		proceso actual	proceso propuesto	
300001	Amarillo-U146801	\$ 1.251.809	\$ 707.368	43%
	Gris- U955003	\$ 1.251.809	\$ 707.368	43%
	Rojo-U356518	\$ 652.881	\$ 707.368	-8%
	Rodamina-U348602	\$ 2.216.749	\$ 651.247	71%
	Azul-U775011	\$ 1.251.809	\$ 651.247	48%
100356	Negro-U985011	\$ 713.981	\$ 344.720	52%
	Azul-U770016	\$ 756.781	\$ 344.720	54%
	Beige- U425537	\$ 313.738	\$ 403.046	-28%
	Rodamina-U338520	\$ 1.084.724	\$ 490.618	55%
	Turquesa-U841011	\$ 666.656	\$ 344.720	48%

**Fuente:** elaboración propia

Como se evidencia en la Tabla 27, en 8 tonos se tiene un ahorro mayor al 43 % en los servicios de luz, vapor y energía; mientras que para los tonos rojo y beige se consume una mayor cantidad de servicios en el proceso propuesto. Para el caso del rojo, se obtiene un ahorro del 10 % en energía, pero los costos del proceso propuesto aumentan debido a que en este se consume un 7 % más de agua y 9 % más de vapor. Por otro lado, en el beige no se tiene ahorro en agua ya que se consume la misma cantidad en ambos procesos, pero se tiene un gasto de energía y vapor de 39 % y 31 % más comparado con el proceso actual, respectivamente. En los anexos B y C se detallan los costos de servicios y tiempos requeridos para cada tono en ambos procesos.

Otro aspecto a tener en cuenta es el tiempo requerido para cada proceso ya que generalmente las curvas de teñido actuales se demoran entre 4 y 10 horas dependiendo del tono, mientras que las curvas propuestas se llevan a cabo en un rango de tiempo de 3 a 4 horas. En la Tabla 28 se evidencia que en todos los tonos se tiene un ahorro de tiempo significativo. Para el caso específico de las rodaminas y el turquesa, el proceso actual demora el doble de tiempo comparado con la propuesta.



**Tabla 28.** Tiempo proceso actual vs proceso propuesto

Referencia	Tono	Tiempo (h)		Ahorro
		proceso actual	proceso propuesto	
300001	Amarillo-U146801	7,57	3,92	48%
	Gris- U955003	7,57	3,92	48%
	Rojo-U356518	4,32	3,92	9%
	Rodamina-U348602	9,38	4,12	56%
	Azul-U775011	7,57	4,12	46%
100356	Negro-U985011	6,35	4,06	36%
	Azul-U770016	7,29	4,06	44%
	Beige- U425537	4,84	3,59	26%
	Rodamina-U338520	9,6	4,32	55%
	Turquesa-U841011	8,33	4,06	51%

Fuente: elaboración propia

### 5.3 COSTO DE MANO DE OBRA

Además del costo de la fórmula y de los servicios, es importante considerar el costo de mano de obra para cada uno de los procesos. En este caso, los costos se van a calcular para un lote de 240 kg teniendo en cuenta el tiempo requerido para cada curva de teñido (registrado en la Tabla 28) y el salario que gana un operario en la planta. De acuerdo a la base de datos de tintorería de la empresa Protela, un operario tiene un salario mensual de 1'200.000 aproximadamente, es decir, 5.000 pesos por hora laborada. Con lo anterior, el costo de mano de obra y el ahorro se pueden calcular con las Ecuaciones 46 y 47, respectivamente.

**Ecuación 46.** Costo de mano de obra

$$MO = \frac{C_T \times t}{S}$$

Donde

**MO** corresponde al costo de mano de obra en \$/kg

**C<sub>T</sub>** es la cantidad de tela procesada, en este caso 240 kg

**t** es el tiempo requerido para cada curva de teñido, en horas

**S** es el salario de un operario por hora, para este caso \$5.000/h

**Ecuación 47.** Ahorro en el costo de mano de obra para el proceso propuesto con respecto al actual.

$$\% \text{ Ahorro en } MO = \frac{MO_A - MO_P}{MO_A} \times 100$$

Donde

**MO<sub>A</sub>** corresponde al costo de mano de obra del proceso actual

**MO<sub>P</sub>** es el costo de mano de obra del proceso propuesto

En la Tabla 29 se muestra el costo de mano de obra tanto para el proceso actual como para el propuesto para cada uno de los 10 tonos trabajados. Allí se evidencia que en todos los casos se obtiene un ahorro mayor a 9 % debido al ahorro de tiempo que se obtiene en la propuesta, sin embargo, los tonos luminosos (rodamina y turquesa) son los que presentan mayor ahorro, más del 50 %, en el costo de mano de obra.

**Tabla 29.** Costo de mano de obra para el proceso actual vs proceso propuesto

Referencia	Tono	Costo mano de obra (\$/kg)		Ahorro
		Proceso actual	Proceso propuesto	
<b>300001</b>	Amarillo-4U146801	\$ 158	\$ 82	48%
	Gris- U955003	\$ 158	\$ 82	48%
	Rojo-U356518	\$ 90	\$ 82	9%
	Rodamina-U348602	\$ 195	\$ 86	56%
	Azul-U775011	\$ 158	\$ 86	46%
<b>100356</b>	Negro-U985011	\$ 132	\$ 85	36%
	Azul-U770016	\$ 152	\$ 85	44%
	Beige- U425537	\$ 101	\$ 75	26%
	Rodamina-U338520	\$ 200	\$ 90	55%
	Turquesa-U841011	\$ 174	\$ 85	51%

**Fuente:** elaboración propia

De acuerdo con los datos obtenidos en los cálculos del costo de la fórmula, de los servicios y la mano de obra, se puede concluir que es viable realizar la implementación de proceso propuesto desde el punto de vista económico. Lo anterior se debe a que se disminuye la cantidad de productos auxiliares manteniendo constante la concentración utilizada de colorantes en la fórmula de 9 tonos. Adicionalmente, la mayoría de las curvas de teñido consumen menos servicios en el proceso propuesto, a excepción del tono rojo y beige. Por otro lado, en cuanto al costo de la mano de obra, todos los tonos tienen un ahorro significativo debido a la disminución en el tiempo requerido para el proceso propuesto.

## 6. CONCLUSIONES

- Una vez se realiza el diagnóstico del proceso actual, se pueden identificar los tonos más demandados o que presentan problemas de reproducibilidad y solidez, con el fin de mejorar sus procesos. De esta manera, se seleccionaron 2 referencias y 10 tonos a trabajar, entre los cuales se encuentran, azules, rojos, negros, turquesa y rodamina. Por otro lado, se evidenció que en el proceso de teñido actual se utilizan 10 productos auxiliares que causan una curva de teñido prolongada, con una duración aproximada de 4 a 10 horas.
- Inicialmente, se realizó una clasificación de los colores seleccionados en tonos claros, medios, oscuros e intensos de acuerdo con la concentración de colorantes en su fórmula, permitiendo de esta manera, utilizar únicamente 4 curvas de teñido, en lugar de las 9 que se usan actualmente para los 10 tonos seleccionados. Posteriormente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se determinó que en los tonos amarillo, gris y rojo de la referencia 300001 y beige y azul de la referencia 100356, es viable realizar el teñido empleando únicamente 4 productos auxiliares, obteniendo resultados de tono y calidad similares a los del proceso actual.
- Mediante la reformulación se ajustaron las concentraciones de los auxiliares o colorantes de los 5 tonos que tuvieron bajo desempeño en las pruebas de calidad. Para el caso de los tonos luminosos (rodamina y turquesa) se determinó que sin importar sus concentraciones de colorante se deben utilizar las concentraciones de auxiliares establecidas para los tonos intensos, sin modificar la curva diseñada. Sin embargo, el tono rodamina en ambas referencias obtuvo resultados de calidad por debajo del estándar por lo que no es recomendable la implementación de la propuesta en este tono, mientras que, en los colores negro, turquesa (1000356) y azul (300001) se obtuvieron resultados similares al proceso actual, dando paso a la posible implementación de la propuesta.
- De acuerdo al análisis de costos se puede concluir que es viable realizar la implementación de proceso propuesto desde un punto de vista económico, ya que se disminuye la cantidad de productos auxiliares utilizados en el teñido de poliamida. Lo anterior, se evidencia en un ahorro mayor al 10% en el costo de la fórmula de 7 de los 10 tonos trabajados. Adicionalmente, la mayoría de las curvas de teñido consumen menos servicios en el proceso propuesto, a excepción del tono rojo y beige. Sin embargo, en todos los tonos el cambio de proceso se puede sustentar con el ahorro en el tiempo requerido, lo cual podría permitirle a la empresa aumentar la producción de tela procesada anualmente.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se aconseja diluir en agua fría y agitar el fijador propuesto durante 10 minutos antes de adicionarlo al proceso. Adicionalmente, no se debe diluir el dador de ácido con mucho tiempo de anterioridad debido a que podría afectar el pH inicial del baño de tintura.
- Realizar nuevos ensayos de la rodamina, adicionando el 50% del fijador al inicio de la curva junto con el resto de los auxiliares, y el 50% restante agregarlo a 75°C en la etapa de fijado.
- Verificar el pH del agua con el que se va a realizar el baño de tintura, ya que esta debe ser neutra y no tener presencia de sustancias alcalinas.
- Si se tienen resultados de solidez por debajo de 3, se sugiere adicionar un fijador en el proceso de acabado. Además, si se obtiene un teñido con manchas o disperejo, es posible modificar el gradiente de subida de la curva para que la fibra adsorba lentamente el colorante.
- Realizar ensayos del proceso de teñido propuesto en planta o planta piloto, para evaluar su reproducibilidad a gran escala.

## BIBLIOGRAFÍA

- AATCC. Colorfastness to Crocking: Crockmeter Method. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm8/481/>>
- AATCC. Colorfastness to Water: Chlorinated Pool. [En línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm162/562/>>
- AATCC. Colorfastness to Water: Sea. [en línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://members.aatcc.org/store/tm106/518/>>
- AATCC. Test methods. Tomado el 23 de marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.aatcc.org/testing/methods/>
- AATCC. Materiales de control de calidad. Tomado el 23 de marzo de 2020. [En línea]. Disponible en: [https://issuu.com/aatcc/docs/aatcc\\_quality\\_control\\_catalog\\_spani/10](https://issuu.com/aatcc/docs/aatcc_quality_control_catalog_spani/10)
- AGUDELO GARCÍA, Carlos Alberto, et al. Tintura en baños de reutilización directa: microfibras de poliéster con colorantes dispersos. Agudelo, CA...[et al.] "Tintura en baños de reutilización directa: microfibras de poliéster con colorantes dispersos". Boletín Intexter, 2006, núm.129, p.13-20. 2006.
- ALIBABA. Textil Color Evaluación de laboratorio de Color caja de luz de Color. {en línea} {23 de junio de 2020}. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/textile-color-assessment-cabinet-lab-color-matching-light-box-light-box-for-color-matching-60663505951.html>
- ALONSO. Felipe. Manual control de calidad en productos textiles y afines. Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales. Madrid. 2010 [En línea] [Tomado 25 de junio de 2020] Disponible en <http://oa.upm.es/38763/1/Binder1.pdf>
- APARELHOS DE LABORATÓRIO MATHIS LTDA. Teñido y acabado por agotamiento. Disponible en : <http://www.mathis.com.br/arquivos/PDF/esp/alt-ii-esp.pdf>
- CABO, Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. Tomado el 8 de marzo de 2020. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>
- CARRION, J. Materiales para el diseño de productos textiles. {en línea}. Tomado el 5 de marzo de 2020. Disponible en: [https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliamida\\_word-5467.pdf](https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliamida_word-5467.pdf)

CASTILLO CASAS, Camila. Propuesta de mejora en el proceso de tintura de fibras textiles en poliamida. Bogotá, 2019,141p. Trabajo de grado (Ingeniero químico). Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería química

CEGARRA, J. Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles. Barcelona: Terrassa. 1981

De los Santos Anibal. La Teoría Del Color. La Teoría Del Color.

Di Blasi, Jessica Ingrid Piñeiro, et al. Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas. DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. 2014a, vol. 81, nro. 184. pp. 49-54

FAJARDO PORTILLO, Sergio Javier. Optimización del proceso de teñido de fibra nailon implementando insumos biodegradables. 2016. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.

FELIPE, José Vicente Alonso y VICENTE, J. Manual Control de calidad en productos textiles y afines. Ediciones Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, España. 2015,

FELIPE, JOSE VICENTE ALONSO. Taller sobre el color y su medición.

GARZÓN, Juan. Industria Textil Colombiana 2018: telas inteligentes y tendencias ecológicas. {en línea}. {20 de marzo de 2020}. Disponible en: <https://www.ccb.org.co/Clusters/Cluster-de-Prendas-de-Vestir/Noticias/2018/Febrero-2018/Industria-Textil-Colombiana-2018-telas-inteligentes-y-tendencias-ecologicas>

GINI CABRERA, Guido Renato. Desarrollo de un modelo probabilístico para control de proceso y ajuste de hiperplanos colorimétricos de naturaleza determinística, en la tintura de tejidos a base de poliéster, con tricromía de colorantes dispersos en tonos grises. Guatemala, 2017, 182p. Trabajo de grado (profesional ingeniería química). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería.

GONZÁLES, V. GUERRERO, C. MÉNDEZ, U. Estructura y compatibilidad de mezclas de poliamidas con quitina y quitosán. Tomado el 22 de febrero de 2020. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/8309/f004e17fdf87da4ee7210a24bf08763f832c.pdf>.

HURTADO, Carmen y OVIEDO, María. Anteproyecto De Grado. 2019.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC1486-6166 Bogotá D.C. El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

LAFAYETTE. ¿cuáles son las principales pruebas de calidad en la industria textil? [en línea]. Tomado el 23 de marzo de 2020. Disponible en: <<https://www.lafayette.com/cuales-son-las-principales-pruebas-de-calidad-en-la-industria-textil/>>

LEISERSON, Teodoro. Teñido de nylon con colorantes ácidos. Buenos aires, 1951. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

LLANO, Elena. Tintura de fibras textiles. {en línea}. Tomado el 8 de marzo de 2020. Disponible en: <http://tinturadefibrastextiles.blogspot.com/>

LAVADO, Fidel Eduardo Lockuán. II. La industria textil y su control de calidad. Fidel Lockuán, 2012.

LOCKUÁN, F. La industria textil y su control de calidad: Tintorería. 2012.

MARCANO, Deanna. Introducción a la química de los colorantes. {en línea}. Tomado el 5 de marzo de 2020. Disponible en: <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/19390/1/colorantes%20listo%20%2Bisbn.pdf>

MONDRAGÓN, Jaime. Fibras textiles. {en línea}. Tomado el 5 de marzo de 2020. Disponible en: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/organica/directorio/jaime/fibras%20textiles.pdf>

NINA BERNABÉ, Gladys Angela; BOTERO, Jesus Arturo y MOLLINEDO PORTUGAL, Patricia A. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida (nylon) part.I. 2010, 123p. Trabajo de grado (Licenciado en ciencias químicas). Universidad mayor de San Andrés.

OCAMPO DÁVILA, Susan Salet. Optimización del proceso de teñido reactivo de tejidos de algodón sin afectar la apariencia y la solidez al lavado, en el área de tintorería de una empresa textil localizada en Lima-Perú. Lima, 2019, 93p. Trabajo de grado (Profesional de ingeniería textil y confecciones). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Industrial.

PEREZ, Manuel. Mejora de la calidad en la reproducibilidad de color aplicada a la fibra textil. Guatemala, 2012, 110p. Trabajo de grado (Magister en gestión industrial). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería.

PESOK, Juan. Introducción a la tecnología textil. Uruguay: Universidad de Montevideo, Facultad de Ingeniería, 2005.

PONCE DE LEÓN CACERES, Miluska Macarena y VALDIVIA CARDENAS, Majorie Angela. Optimización de los parámetros para la curva de teñido con colorantes ácidos, reactivos y complejo metálico en fibra de alpaca. Arequipa, 2014, 150p. Trabajo de grado (profesional ingeniería química). Universidad nacional de san Agustín de Arequipa. Facultad de ingeniería de procesos.

PROTELA S.A. Quienes somos. {en línea}. {8 de junio de 2020}. Disponible en: <https://www.protela.com/empresa>

ROGRIGUEZ, Sebastian. Iniciamos con pie derecho la "Experiencia Protela". [en línea]. Tomado el 14 de marzo de 2020. Disponible en: <[https://prezi.com/yrfi37yfswwf/iniciamos-con-pie-derecho-la quotexperiencia-protelaquot/](https://prezi.com/yrfi37yfswwf/iniciamos-con-pie-derecho-la-quotexperiencia-protelaquot/)>

SALAZAR QUISIGÜIÑA PAULINA ELIZABETH. Reutilización De Baños De Tintura De Fibra De Poliamida Con Colorantes Ácidos En La Industria Textil. 2018.

SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibra de poliamida con colorantes ácidos en la industria textil. Quito, 2014, 168p. Tesis de grado para la obtención del título de ingeniera química. Universidad Central del Ecuador. Facultad de ingeniería química

SALEM, Vidal. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010, vol. 2010

SALGE FERRO, Manuel. Capítulo 3. Capítulo 3. *El principio arcóntico del patrimonio*. 1ª ed. Universidad de los Andes, Colombia, 2018. pp. 99 ISBN: 9587747119

SECTORIAL. Informe del sector textil y confecciones. Emis.2019

SOLÉ, Antonio. Máquinas de tintura por impregnación. Tomado el 19 de marzo de 2020. En línea. Disponible en: <<https://pdfslide.net/documents/maquinas-de-tintura-por-impregnacion-asolengin-la-distribucion-del-vapor.html>>

SUÁREZ ARAUJO, Carlos Alberto. Evaluación y análisis de productos auxiliares que intervienen en la reproducibilidad del color en fibras de poli algodón. Quito, 2017, 98p. Tesis de Licenciatura. Universidad central del Ecuador. Facultad de ingeniería química.

TESTEX. Evaluación visual de los colores y las diferencias de color del método de materiales opacos - ASTM D1729. {En línea}. {23 de junio de 2020}. Disponible en:



<https://www.testextextile.com/es/Evaluaci%C3%B3n-visual-de-los-colores-y-las-diferencias-de-color-del-m%C3%A9todo-de-materiales-opacos-astm-d1729>

VALVERDE FLORES, Luis Roberto. Estudio de reproducibilidad de colores con tinturas textiles en fibras de polialgodón. Quito, 2015, 96p. Tesis de Licenciatura. Universidad central del Ecuador. Facultad de ingeniería química.

# **ANEXOS**

**ANEXO A.**  
**COSTO DE LA FÓRMULA POR TONO PARA LAS REFERENCIAS 300001 y**  
**100356**

- Referencia 300001

**Tabla 30.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono amarillo (U146801)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,5	\$ 8.340
Igualador actual	%	\$ 16.966,00	2	\$ 81.437
Lubricante actual	g/L	\$ 7.269,60	0,3	\$ 5.234
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900,00	1	\$ 28.560
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,4	\$ 6.672
Colorante amarillo	%	\$ 151.074,24	0,8076	\$ 292.818
Colorante naranja	%	\$ 122.416,85	0,1933	\$ 56.792
Colorante azul	%	\$ 174.061,58	0,0183	\$ 7.645
Detergente actual	g/L	\$ 15.414,75	0,5	\$ 18.498
Fijador actual	%	\$ 15.300,00	4	\$ 146.880
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900,00	1	\$ 28.560
Agua				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 685.100</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 2.855</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 31.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono amarillo (U146801)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.621,60	0,6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.950,60	0,5	\$ 19.141
Fijador propuesto	%	\$ 25.292,60	1,5	\$ 91.053
Soda caustica	g/L	\$ 1.527,76	0,12	\$ 440
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954,00	0,5	\$ 20.345
Ácido fórmico	g/L	\$ 6.032,00	0,05	\$ 724
Colorante amarillo	%	\$ 151.074,24	0,8076	\$ 292.818
Colorante naranja	%	\$ 122.416,85	0,1933	\$ 56.792
Colorante azul	%	\$ 174.061,58	0,0183	\$ 7.645
Agua				\$ 3.664,80
<b>Costo total</b>				<b>\$ 522.317</b>
<b>Precosteo (\$/Kg)</b>				<b>\$ 2.176</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 32.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono Negro (U955003)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,5	\$ 8.340
Igualador actual	%	\$ 16.966,00	2	\$ 81.437
Lubricante actual	g/L	\$ 7.269,60	0,3	\$ 5.234
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900,00	1	\$ 28.560
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,4	\$ 6.672
Colorante naranja	%	\$ 143.325,50	0,42	\$ 144.472
Colorante azul	%	\$ 56.508,00	0,23	\$ 31.192
Colorante rojo	%	\$ 86.700,00	0,214	\$ 44.529
Detergente actual	g/L	\$ 9.622	1	\$ 23.093
Fijador actual	%	\$ 15.300	2	\$ 73.440
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900	1	\$ 28.560
<b>Agua</b>				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 479.194</b>
<b>Precosteo (\$/Kg)</b>				<b>\$ 1.997</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 33.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono Negro (U955003)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.621,60	0,6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.950,60	0,5	\$ 19.141
Fijador propuesto	%	\$ 25.292,60	1,5	\$ 91.053
Soda caustica	g/L	\$ 1.527,76	0,12	\$ 440
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954,00	1	\$ 40.690
Ácido fórmico	g/L	\$ 6.032,00	0,05	\$ 724
Colorante rodamina	%	\$ 143.325,50	0,42	\$ 144.472
Colorante rojo	%	\$ 56.508,00	0,23	\$ 31.192
Colorante amarillo	%	\$ 86.700,00	0,214	\$ 44.529
Agua				\$ 3.664,80
<b>Costo total</b>				<b>\$ 405.601,1</b>
<b>Precosteo (\$/Kg)</b>				<b>\$ 1.690,0</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 34.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono rojo (U356518)

PRODUCTO	U	Precio/kg	Consumo	Costo
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,5	\$ 8.340
Igualador actual	%	\$ 16.966,00	3	\$ 122.155
Lubricante actual	g/L	\$ 7.269,60	0,3	\$ 5.234
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900,00	0,8	\$ 22.848
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950,00	0,4	\$ 6.672
Colorante naranja	%	\$ 64.940,00	0,208	\$ 32.418
Colorante azul	%	\$ 298.078,00	0,0555	\$ 39.704
Colorante rojo	%	\$ 86.700,00	0,4998	\$ 103.998
Agua				\$ 3.665
Costo total				\$ 345.035
Precosteo (\$/Kg)				\$ 1.438

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 35.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono rojo (U356518)

PRODUCTO	U	Precio/kg	Consumo	Costo
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.621,60	0,6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.950,60	0,5	\$ 19.141
Fijador propuesto	%	\$ 25.292,60	1,5	\$ 91.053
Soda caustica	g/L	\$ 1.527,76	0,12	\$ 440
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954,00	0,5	\$ 20.345
Ácido fórmico	g/L	\$ 6.032,00	0,05	\$ 724
Colorante naranja	%	\$ 64.940,00	0,208	\$ 32.418
Colorante azul	%	\$ 298.078,00	0,0555	\$ 39.704
Colorante rojo	%	\$ 86.700,00	0,4998	\$ 103.998
Agua				\$ 3.664,80
Costo total				\$ 341.183,04
Precosteo (\$/Kg)				\$ 1.421,60

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 36.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono azul (U775011)

PRODUCTO	U	Precio/kg	consumo	Costo
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0,1	\$ 1.668
Igualador actual	%	\$ 16.966	0,5	\$ 20.359
Lubricante actual	g/L	\$ 7.270	0,3	\$ 5.234
Dador de ácido actual 1	g/L	\$ 11.900	0,8	\$ 22.848
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0,7	\$ 11.676
Colorante amarillo	%	\$ 56.508	0,04671	\$ 6.335
colorante marino	%	\$ 114.308	2,72	\$ 746.203
colorante rojo	%	\$ 86.700	0,4129	\$ 85.916

**Tabla 36.** (Continuación)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0,5	\$ 18.498
Fijador actual 1	%	\$ 15.300	4,5	\$ 165.240
Dador de ácido actual 2	g/L	\$ 23.426	1	\$ 56.222
Dador de ácido actual 1	g/L	\$ 11.900	1	\$ 28.560
AGUA DE ACUEDUCTO				\$ 3.665
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 1.172.424</b>
<b>COSTO PRECOSTEO (\$/kg)</b>				<b>\$ 4.885</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 37.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono azul (U775011)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0,6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0,8	\$ 30.625
Fijador propuesto	%	\$ 25.293	3,5	\$ 212.458
Soda cáustica 47%	%	\$ 1.528	0,08	\$ 293
colorante amarillo	%	\$ 56.508	0,04437	\$ 6.017
colorante marino	%	\$ 114.308	2,72	\$ 746.203
colorante rojo	%	\$ 86.700	0,4129	\$ 85.916
detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954	1	\$ 40.690
Ácido fórmico	g/L	\$ 6.032	0,05	\$ 724
AGUA DE ACUEDUCTO				\$ 3.665
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$ 1.156.286</b>
<b>COSTO PRECOSTEO (\$/kg)</b>				<b>\$ 4.818</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 38.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono Rodamina (U348602)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	3	\$ 50.040
Dispersante actual	g/L	\$ 9.464	2	\$ 45.427
Secuestrante actual	g/L	\$ 4.590	1	\$ 11.016
Lubricante actual	g/L	\$ 7.270	0,3	\$ 5.234
Tripolifosfato de sodio	g/L	\$ 4.056	2	\$ 19.469
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	1	\$ 16.680
Igualador actual	%	\$ 22.601	1,5	\$ 81.363
Lubricante actual	g/L	\$ 7.270	0,3	\$ 5.234
Sal actual	%	\$ 1.612	1	\$ 3.869
Acido fórmico	g/L	\$ 6.032	1	\$ 14.477
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0,5	\$ 18.498
Acido fórmico	g/L	\$ 6.032	0,15	\$ 2.172
Fijador actual	%	\$ 15.300	3	\$ 110.160
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900	1	\$ 28.560
Colorante rodamina	%	\$ 170.386,63	0,33	\$ 134.946

**Tabla 38.** (Continuación)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Colorante rojo	%	\$ 139.819,07	0,064	\$ 21.476
Colorante amarillo	%	\$ 151.074,24	0,25	\$ 90.645
Agua				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 662.930</b>
<b>Precosteo (\$/Kg)</b>				<b>\$ 2.762</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 39.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono Rodamina (U348602)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.621,60	0,6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.950,60	0,8	\$ 30.625
Fijador propuesto	%	\$ 25.292,60	3,5	\$ 212.458
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954,00	1	\$ 40.690
Ácido fórmico	g/L	\$ 6.032,00	0,05	\$ 724
Colorante rodamina	%	\$ 170.386,63	0,33	\$ 134.946
Colorante rojo	%	\$ 139.819,07	0,064	\$ 21.476
Colorante amarillo	%	\$ 151.074,24	0,25	\$ 90.645
Agua				\$ 3.664,80
<b>Costo total</b>				<b>\$ 564.923,3</b>
<b>Precosteo (\$/Kg)</b>				<b>\$ 2.353,8</b>

**Fuente:** elaboración propia

- Referencia 100356

**Tabla 40.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono Beige (U425537)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0.1	\$ 1.668
Igualador actual	%	\$ 16.966	3	\$ 122.155
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900	0.8	\$ 22.848
Colorante Amarillo	%	\$ 135.150	0.0183	\$ 5.936
Colorante Rojo	%	\$ 145.010	0.00713	\$ 2.481
Colorante Azul	%	\$ 129.744	0.0095	\$ 2.958
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0.7	\$ 11.676
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 173.387</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 722</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 41.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono Beige (U425537)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0.6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0.3	\$ 11.484
fijador propuesta	%	\$ 25.293	1	\$ 60.702
Soda caustica 47%	g/L	\$ 1.528	0.12	\$ 440
Colorante amarillo	%	\$ 135.150	0.0183	\$ 5.936
Colorante rojo	%	\$ 145.010	0.00713	\$ 2.481
Colorante azul	%	\$ 129.744	0.0095	\$ 2.958
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954	0.5	\$ 20.345
Acido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.05	\$ 724
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 138.431</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 577</b>

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 42.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono Negro (U985001)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante Actual	g/L	\$ 6.950	0.3	\$ 5.004
ACIDO ACETICO 98%	g/L	\$ 4.056	3	\$ 29.203
Colorante Negro	%	\$ 22.780	4.5	\$ 246.024
Colorante Rubí	%	\$ 57.528	0.82	\$ 113.215
Colorante Amarillo	%	\$ 80.920	1	\$ 194.208
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0.5	\$ 18.498
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	4.5	\$ 205.632
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	3.5	\$ 159.936
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 985.519</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 4.106</b>

**Fuente:** elaboración propia



**Tabla 43.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono Negro (U985001)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0.6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0.8	\$ 30.625
Fijador propuesto	%	\$ 25.293	3.5	\$ 212.458
Soda caustica 47%	g/L	\$ 1.528	0.12	\$ 440
Colorante Negro	%	\$ 135.150	4.5	\$ 246.024
Colorante Rubí	%	\$ 145.010	0.82	\$ 113.215
Colorante Amarillo	%	\$ 129.744	1	\$ 194.208
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954	1	\$ 40.690
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.05	\$ 724
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 871.743</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 3.632</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 44.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono azul (U770016)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0.1	\$ 1.668
Igualador actual	%	\$ 16.966	2	\$ 81.437
Dador de ácido actual	g/L	\$ 11.900	0.8	\$ 22.848
Antiespumante actual	g/L	\$ 6.950	0.7	\$ 11.676
Colorante Amarillo	%	\$ 91.800	0.508	\$ 111.923
Colorante Azul	%	\$ 143.326	1.65	\$ 567.569
Colorante azul 2	%	\$ 298.078	1.0943	\$ 782.848
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0.5	\$ 18.498
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	3.5	\$ 159.936
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	2.5	\$ 114.240
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 1.886.441</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 7.860</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 45.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono azul (U770016)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0.6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0.8	\$ 30.625
Fijador propuesto	%	\$ 25.293	3.5	\$ 212.458
Soda caustica 47%	g/L	\$ 1.528	0.12	\$ 440
Colorante Amarillo	%	\$ 135.150	0.508	\$ 111.923
Colorante Azul	%	\$ 145.010	1.65	\$ 567.569
Colorante azul 2	%	\$ 129.744	1.0943	\$ 782.848
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954	1	\$ 40.690
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.05	\$ 724
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 1.780.636</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 7.419</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 46.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono turquesa (U841011)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Antiespumante actual	g/L	\$ 9.656	0.3	\$ 6.952
Igualador actual	%	\$ 22.601	1.5	\$ 81.363
Control para viscosidad de pigmentos	g/L	\$ 1.612	2	\$ 7.738
Colorante Azul	%	\$ 298.078	0.3655	\$ 261.474
Colorante Amarillo	%	\$ 76.772	0.09	\$ 16.583
Colorante turquesa	%	\$ 57.732	0.137	\$ 18.982
Ácido acético 98%	g/L	\$ 4.056	0.05	\$ 487
Ácido acético 98%	g/L	\$ 4.056	0.1	\$ 973
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0.5	\$ 18.498
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	2.5	\$ 114.240
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 536.022</b>
<b>Precosteo</b>				<b>\$ 2.233</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 47.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono turquesa (U841011)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>Consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0.6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0.8	\$ 30.625
Colorante Azul	%	\$ 298.078	0.3655	\$ 261.474
Colorante Amarillo	%	\$ 76.772	0.09	\$ 16.583
Colorante turquesa	%	\$ 57.732	0.137	\$ 18.982
Fijador propuesto	%	\$ 25.293	3.5	\$ 212.458
Detergente propuesto 2	g/L	\$ 16.954	1	\$ 40.690
Ácido fórmico 85%	%	\$ 6.032	0.05	\$ 724
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 614.895</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 2.562</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 48.** Costo de fórmula del proceso actual para el tono rodamina (U338520)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>consumo</b>	<b>Costo</b>
Colorante Rodamina	%	\$ 170.387	0.246	\$ 100.596
Colorante Flavina	%	\$ 133.280	0.0573	\$ 18.329
Antiespumante actual	g/L	\$ 9.656	0.3	\$ 6.952
Igualador actual	%	\$ 22.601	1.5	\$ 81.363
Control para viscosidad de pigmentos	g/L	\$ 1.612	2	\$ 7.738
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.2	\$ 2.895
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.4	\$ 5.791
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.4	\$ 5.791
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0.5	\$ 18.498
Acido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.5	\$ 7.238
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	4.5	\$ 205.632
Detergente actual	g/L	\$ 15.415	0.5	\$ 18.498
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.15	\$ 2.172
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.35	\$ 5.067
Fijador actual	%	\$ 19.040	4.5	\$ 205.632
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 700.923</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 2.921</b>

Fuente: elaboración propia

**Tabla 49.** Costo de fórmula del proceso propuesto para el tono rodamina (U338520)

<b>PRODUCTO</b>	<b>U</b>	<b>Precio/kg</b>	<b>consumo</b>	<b>Costo</b>
Detergente propuesto 1	g/L	\$ 20.622	0.6	\$ 29.695
Dador de ácido propuesto	%	\$ 15.951	0.8	\$ 30.625
Fijador propuesta	%	\$ 25.293	3.5	\$ 212.458
Soda caustica 47%	g/L	\$ 1.528	0.5	\$ 20.345
Colorante Rodamina	%	\$ 170.387	0.246	\$ 100.596
Colorante Flavina	%	\$ 133.280	0.0573	\$ 18.329
Ácido fórmico 85%	g/L	\$ 6.032	0.05	\$ 724
Agua de acueducto				\$ 3.665
<b>Costo total</b>				<b>\$ 416.436</b>
<b>Precosteo (\$/kg)</b>				<b>\$ 1.735</b>

**Fuente:** elaboración propia

**ANEXO B.**  
**SERVICIOS AUXILIARES POR TONO PARA LAS REFERENCIAS 300001 y**  
**100356**

- Referencia 300001

**Tabla 50.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono amarillo (U146801)

Servicios		Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
		Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b>	h	7,57	-	3,92	-	48%
<b>Energía</b>	Kwh	67,39	\$ 24.732	34,84	\$ 12.786	48%
<b>Agua</b>	m3	32,8	\$ 246.197	12	\$ 90.072	63%
<b>Vapor</b>	kg	804	\$ 980.880	495,5	\$ 604.510	38%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 51.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono negro (U955003)

Servicios		Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
		Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b>	h	7,57	-	3,92	-	48%
<b>Energía</b>	kWh	67,39	\$ 24.732	34,84	\$ 12.786	48%
<b>Agua</b>	m3	32,8	\$ 246.197	12	\$ 90.072	63%
<b>Vapor</b>	kg	804	\$ 980.880	495,5	\$ 604.510	38%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 52.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono rojo (U356518)

Servicios		Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
		Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b>	h	4,34	-	3,92	-	10%
<b>Energía</b>	Kwh	38,62	\$ 14.174	34,84	\$ 12.786	10%
<b>Agua</b>	m3	11,22	\$ 84.217	12	\$ 90.072	-7%
<b>Vapor</b>	kg	454,5	\$ 554.490	495,5	\$ 604.510	-9%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 53.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono azul (U775011)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	7.57	-	4.12	-	46%
<b>Energía</b> Kwh	67,39	\$ 24.732	36,64	\$ 13.447	46%
<b>Agua</b> m3	32,8	\$ 246.197	15	\$ 112.590	54%
<b>Vapor</b> kg	804	\$ 980.880	430,5	\$ 525.210	46%

Fuente: elaboración propia

**Tabla 54.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono rodamina (U348602)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	9.38	-	4.12	-	56%
<b>Energía</b> Kwh	83,51	\$ 30.648	36,64	\$ 13.447	56%
<b>Agua</b> m3	37,95	\$ 284.853	15	\$ 112.590	60%
<b>Vapor</b> kg	1558,4	\$ 1.901.248	430,5	\$ 525.210	72%

Fuente: elaboración propia

- Referencia 100356

**Tabla 55.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono Beige (U425537)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	4.84	-	3.59	-	26%
<b>Energía</b> Kwh	10.35	\$ 3.798	14.35	\$ 5.266	-39%
<b>Agua</b> m3	3.6	\$ 27.022	3.6	\$ 27.022	0%
<b>Vapor</b> kg	231.9	\$ 282.918	303.9	\$ 370.758	-31%

Fuente: elaboración propia

**Tabla 56.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono negro (U985001)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	6.35	-	4.06	-	36%
<b>Energía</b> Kwh	25,38	\$ 9.314	16,24	\$ 5.960	36%
<b>Agua</b> m3	14,4	\$ 108.086	9	\$ 67.554	38%
<b>Vapor</b> kg	489	\$ 596.580	222,3	\$ 271.206	55%

Fuente: elaboración propia

**Tabla 57.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono Azul (U770016)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	7.29	-	4.06	-	44%
<b>Energía</b> Kwh	29,14	\$ 10.694	16,24	\$ 5.960	44%
<b>Agua</b> m3	10,8	\$ 81.065	9	\$ 67.554	17%
<b>Vapor</b> kg	545,1	\$ 665.022	222,3	\$ 271.206	59%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 58.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono turquesa (U841011)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	8.33	-	4.06	-	51%
<b>Energía</b> Kwh	33,3	\$ 12.221	16,24	\$ 5.960	51%
<b>Agua</b> m3	9	\$ 67.554	9	\$ 67.554	0%
<b>Vapor</b> kg	481,05	\$ 586.881	222,3	\$ 271.206	54%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 59.** Costo de servicios del proceso actual vs propuesta para el tono rodamina (U338520)

Servicios	Proceso actual		Proceso Propuesto		Ahorro
	Consumo	Precio	Consumo	Precio	
<b>Tiempo</b> h	9.6	-	4.32	-	55%
<b>Energía</b> kWh	38.39	\$ 14.089	17.28	\$ 6.342	55%
<b>Agua</b> m3	16.2	\$ 121.597	7.2	\$ 54.043	56%
<b>Vapor</b> kg	777.9	\$ 949.038	352.65	\$ 430.233	55%

**Fuente:** elaboración propia

**ANEXO C.**  
**COMPARACIÓN DE COSTOS DE SERVICIOS AUXILIARES POR TONO**  
**PARA LAS REFERENCIAS 300001 y 100356**

**Tabla 60.** Costo de servicio de agua para proceso actual vs propuesto

Referencia	Tono	Agua (m3)		Ahorro
		proceso actual	proceso propuesto	
<b>300001</b>	Amarillo-4U146801	32,80	12,00	63%
	Gris- U955003	32,80	15,00	54%
	Rojo-U356518	11,22	12	-7%
	Rodamina-U348602	37,95	15	60%
	Azul-U775011	32,80	15,00	54%
<b>100356</b>	Negro-U985011	14,4	9	38%
	Azul-U770016	10,8	9	17%
	Beige- U425537	3,6	3,6	0%
	Rodamina-U338520	16,2	7,2	56%
	Turquesa-U841011	9	9	0%

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 61.** Costo de servicio de energía para proceso actual vs propuesto

Referencia	Tono	Energía (kwh)		Ahorro
		proceso actual	proceso propuesto	
<b>300001</b>	Amarillo-4U146801	67,39	34,84	48%
	Gris- U955003	67,39	34,84	48%
	Rojo-U356518	38,62	34,84	10%
	Rodamina-U348602	83,51	36,64	56%
	Azul-U775011	67,39	36,64	46%
<b>100356</b>	Negro-U985011	25,38	16,24	36%
	Azul-U770016	29,14	16,24	44%
	Beige- U425537	10,35	14,35	-39%
	Rodamina-U338520	38,39	17,28	55%
	Turquesa-U841011	33,3	16,24	51%

**Fuente:** elaboración propia



**Tabla 62.** Costo de servicio de Vapor para proceso actual vs propuesto

Referencia	Tono	Vapor (kg)		Ahorro
		proceso actual	proceso propuesto	
<b>300001</b>	Amarillo-4U146801	804,00	495,50	38%
	Gris- U955003	804,00	495,50	38%
	Rojo-U356518	454,5	495,5	-9%
	Rodamina-U348602	1558,4	430,5	72%
	Azul-U775011	804,00	430,50	46%
<b>100356</b>	Negro-U985011	489	222,3	55%
	Azul-U770016	545,1	222,3	59%
	Beige- U425537	231,9	303,9	-31%
	Rodamina-U338520	777,9	352,65	55%
	Turquesa-U841011	481,05	222,3	54%

**Fuente:** elaboración propia