

**PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE TINTURA DE FIBRAS
TEXTILES EN POLIAMIDA**

CAMILA ANDREA CASTILLO CASAS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

**PROPUESTA DE MEJORA EN EL PROCESO DE TINTURA DE FIBRAS
TEXTILES EN POLIAMIDA**

CAMILA ANDREA CASTILLO CASAS

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

**Director
Marcela Páez
Ingeniera Química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ingeniero. Dany José Cárdenas Romay

Ingeniero. David Triviño Rodríguez

Bogotá D.C. agosto de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector de Claustro.

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CESAR CIFUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

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 los autores.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado es dedicado principalmente a mis padres quienes con su apoyo incondicional me brindaron la sabiduría para culminar con mi carrera y lograr cumplir mi sueño de ser Ingeniera Química.

A mi madre Rocío Casas quien, en cada momento de mi vida ha sido mi cómplice, mi amiga, mi apoyo y quien ha estado de forma incondicional en cada etapa de mi vida y ha sido esencial para mi formación como profesional y sobre todo como persona.

A mi padre Raúl Castillo por ser parte fundamental de mi sueño, al ser un gran impulso y apoyo en cada etapa de la carrera.

A mis hermanos William, Sebastián y Vanessa por estar presentes en mi vida, por sus millones de consejos, apoyo y respaldo incondicional en los buenos y malos momentos.

A mi abuelita Bertha de Casas quien, con cada uno de sus consejos me guiaron en las diferentes decisiones tomadas.

A ustedes familia gracias porque he podido culminar esta etapa de mi vida, los amo mucho.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa PROTELA S.A. por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto de grado. Al equipo de laboratorio químico por su apoyo y colaboración en cada una de las etapas de este trabajo, por su asesoría profesional y por la amistad brindada.

A los ingenieros Jorge Eduardo Ángel, Marcela Páez, Loreana Escobar y Néstor Gómez, por su orientación, apoyo, paciencia y por depositar esa confianza en mí y en mi conocimiento desde el comienzo hasta al final. Sin ustedes no sería posible el desarrollo de este proyecto de grado.

ABREVIATURAS Y UNIDADES

A: Transferencia de Color

B: Cambio de Color

C: Desangre

°C: Grados Celsius

°C/min: Grados Celsius por minuto

Da: Delta rojo/verde

Db: Delta azul/amarillo

DL: Delta de Oscuridad

g/cm³: Gramo por metro cubico

H: Hora

kg: Kilogramo

KW: Kilo watts

KWH: Kilo watts hora

L: Litro

m: Masa

m_{DR}: Masa detergente que reacciona con la fibra de poliamida

m_{IR}: Masa igualador que reacciona con la fibra de poliamida

m_{CR}: Masa colorante que reacciona con la fibra de poliamida

m_{DAR}: Masa dador de ácido que reacciona con la fibra de poliamida

m_{SAR}: Masa solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida

m_{FR}: Masa fijador que reacciona con la fibra de poliamida

m_{TR}: Masa Tripolifosfato que reacciona con la fibra de poliamida

m_{BR}: Masa de blanqueador óptico que reacciona con la fibra de poliamida

m_{SMR}: Masa solución matizante que reacciona con la fibra

min: Minutos

mL: Mililitros

%: Porcentaje

pH: Índice de acidez y basicidad

R/B: Relación de baño

GLOSARIO

AATCC: por sus siglas en inglés Asociación Americana de Químicos, Textiles y Colorista, el cual rige las pruebas de solidez y de calidad a las que son sometidas las fibras textiles según el uso al que este destinado. ¹

AFINIDAD: fuerza de atracción entre las moléculas de colorante y las moléculas de la fibra textil que se pretende teñir.²

AGOTAMIENTO: método de teñido donde el colorante se transfiere gradualmente a la fibra, en función de las características del colorante, materia a teñir, máquina de tintura, proceso de tintura.³

AUXILIAR DE TINTURA: productos químicos que ayudan a la migración y fijación del colorante en la fibra. ⁴

BAÑO DE TINTURA: solución acuosa formada por colorantes, agua y auxiliares de tintura necesarios para el proceso de teñido de fibras textiles. ⁵

BLANQUEO: tratamiento que se le da a las fibras textiles para eliminar las impurezas presentes en ésta, con el fin de aumentar el grado de blancura. ⁶

¹ BERSON, Lisa y RECZEK, Karen. Guía estadounidense para el cumplimiento de requerimientos textiles de línea hogar y de vestuario. En: Institute of Standards and technology National. 2016. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7434/1/26297818-2019-1-IQ.pdf>.

² LLANO. Elena. Tintura de fibras textiles. Química textil. 2009. Disponible en: <http://tinturadefibrastextiles.blogspot.com/>

³ SOLÉ. Antonio. Concepto de tintura. 2016. Disponible en: <https://asolengin.files.wordpress.com/2016/04/procesos-de-tintura-por-agotamiento-e-impregnacion3b3n.pdf>

⁴ Industria Proeza S.A. Auxiliares para el teñido de textiles. En Quiminet.com. Agosto 2009. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/auxiliares-para-el-tenido-de-textiles-13701.htm>

⁵ MIRALLES. Verónica. Estudio de la cinética de tintura de fibras de algodón con colorantes naturales. [En línea] Master universitario en ingeniería textil. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, septiembre 2017. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/95203/MIRALLES%20-%20ESTUDIO%20DE%20LA%20CINETICA%20DE%20TINTURA%20DE%20FIBRAS%20DE%20ALGODON%20CON%20COLORANTES%20NATURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁶ NAMGOUNG. Seol. Estudio y optimización del método tradicional de blanqueo comparando la efectividad con diferentes tratamientos de blanqueo de algodón. Master en conservación y restauración de bienes culturales. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2011. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15497/TFM%20blanqueo%202011%20Seol%20Namgoung%20Ok.pdf?sequence=1>

COLORIMETRÍA: procedimiento de análisis químico basado en la intensidad de color de las disoluciones. ⁷

CROMÓFORO: parte de la molécula del colorante que le imparte color. ⁸

DATACOLOR: conocido principalmente como espectrofotómetro, es el equipo que se emplea para medir la intensidad de un espectro determinado en comparación con la intensidad de la luz procedente de un patrón. ⁹

DESCRUDE: es una etapa del proceso de teñido de las fibras textiles, en la cual se eliminan las impurezas ya sean naturales o adquiridas por la fibra. ¹⁰

DIFUSIÓN: es la etapa donde el colorante va de la superficie al interior de la fibra. Existen diversos factores que condicionan la difusión del colorante como son la adición del colorante, la estructura cristalina de las moléculas o el tamaño de los poros amorfos en la estructura molecular. ¹¹

ESPECTROFOTÓMETRO: instrumento utilizado para la determinación cuantitativa de parámetros como intensidad, componente verde, rojo, azul y amarillo en las fibras teñidas. ¹²

FIJADO: proceso de acabado al cual son sometidas las fibras textiles con el fin de mejorar las pruebas de solidez. ¹³

⁷ OCHOA, Manuel. Incorporación de interfases graficas a la simulación de tejidos JACQUARD mediante hardware estándar. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Octubre de 1997. Terrassa. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6491/01Mov01de01.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>

⁸ FERNÁNDEZ, Germán. Espectroscopia visible – ultravioleta. Grupos cromóforos y auxocromos . En Química orgánica. 2017. Disponible en <http://www.quimicaorganica.org/determinacion-estructural/163-espectroscopia-visible-ultravioleta.html?start=5>

⁹ Datacolor instruments, software and support ensure accurate color in your workflow. Disponible en: <https://www.datacolor.com/business-solutions/product-overview/datacolor-tools/>

¹⁰ BRIONES, Luis; LOPEZ, Margarita y RIVERA Casandra. Descruce y blanqueo, y contaminación de 3 muestras. Practica de laboratorio. Escuela Superior de ingeniería textil. 2015. Disponible en: <https://briones656.wixsite.com/public-relations-es/single-post/2015/12/16/Practica-10-DESCRUDE-y-BLANQUEO-%C2%A0Y-CONTAMINACION-DE-3-MUESTRAS>

¹¹ MEZA, Katerin. Colorantes y fibras textiles. SENA. 2014. Disponible en: <https://prezi.com/2xpmui2ga0uc/colorantes-y-las-fibras-textiles/>

¹² JUANTO, Susana. Espectrofotómetro. Universidad tecnológica Nacional. Facultad Regional de la Plata. Disponible en: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/equipos.ppt>

¹³ MEZA, Katerin. Colorantes y fibras textiles. SENA. 2014. Disponible en: <https://prezi.com/2xpmui2ga0uc/colorantes-y-las-fibras-textiles/>

MIGRACIÓN: redistribución de colorante de las áreas más teñidas a las menos teñidas. ¹⁴

RELACIÓN DE BAÑO: cantidad de solución de baño requerida respecto a la masa de tela a teñir. ¹⁵

TRICROMÍA: mezcla conformada por tres colorantes en diferentes proporciones para el proceso de tintura. ¹⁶

¹⁴ MEZA. Katerin. Colorantes y fibras textiles. SENA. 2014. Disponible en: <https://prezi.com/2xpmui2ga0uc/colorantes-y-las-fibras-textiles/>

¹⁵ PÉREZ. Daniel. Preparación y teñido de tela. San Salvador. 2009. Disponible en: https://www.academia.edu/20259594/PREPARACION_Y_TE%C3%91IDO_DE_TELA

¹⁶ JAQUEZ. Diana. TRICROMIA. 2014. Disponible en: <https://prezi.com/ret5yhklhv7e/tricromia/>

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	pág. 24
OBJETIVOS	26
1. MARCO TEÓRICO	27
1.1 FIBRAS TEXTILES	27
1.1.1 Poliamida	27
1.2 TEÑIDO DE FIBRAS TEXTILES	29
1.2.1 Colorantes	31
1.2.1.1 Cromóforos	31
1.2.1.2 Auxócromos	31
1.2.2 Interacción Fibra-Colorante	32
1.3 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA	32
1.3.1 Curva de tintura por agotamiento	33
1.3.2 Colorantes para el teñido de fibras de poliamida	34
1.3.2.1 Colorantes ácidos	34
1.3.3 Auxiliares de tintura proceso de teñido fibras de poliamida	36
1.3.3.1 Agentes de lavado de tintura	36
1.3.3.2 Agentes para lavado reductor	36
1.3.3.3 Antiquebraduras	36
1.3.3.4 Dispersantes	36
1.3.3.5 Fijadores	36
1.3.3.6 Igualantes	36
1.3.4 Condiciones de operación teñido de fibras de poliamida	36
1.3.4.1 Temperatura	37
1.3.4.2 pH	37
1.3.4.3 Tiempo	37
1.3.4.4 Adición de colorantes y auxiliares	37
1.3.4.5 Relación de baño	37
1.3.5 Equipos implementados en el teñido de fibras de poliamida por agotamiento	37
1.3.5.1 Torpedo	38
1.3.5.2 JET	38
1.3.5.3 MATHIS	38
1.4 TEORIA DEL COLOR	38
1.4.1 El color	38
1.4.2 Mediciones y propiedades de color	39
1.4.2.1 Colorimetría	39
1.4.2.2 Coordenadas CIE LAB	39
1.5 PRUEBAS DE CALIDAD	41
1.5.1 Lavado (AATCC 61)	41

1.5.2 Solidez del color al agua de mar (AATCC 106)	41
1.5.3 Solidez del color al agua de piscina clorada (AATCC 162)	41
1.5.4 Solidez del color a la cocción: método de Crockmeter (AATCC 08)	41
2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A.	43
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	43
2.2 DESCRIPCIÓN CADENA TEXTIL PROTELA S.A.	44
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE FIBRAS DE PA	45
2.3.1 Materias primas	46
2.3.1.1 Telas con fibras de poliamida (PA)	46
2.3.1.2. Colorantes y Auxiliares de tintura implementados en el proceso actual	46
2.3.2 Condiciones de operación teñido de fibras de poliamida	54
2.3.3 Condiciones de operación blanqueo de fibras de poliamida	67
3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA CON RESPECTO AL DIAGNÓSTICO REALIZADO	74
3.1 IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES	74
3.2 BUSQUEDA DE INFORMACIÓN	75
3.2.1 Criterios de evaluación	76
3.2.1.1 Nivel de calidad (C1)	77
3.2.1.2 Precio (C2)	77
3.2.1.3 Cumplimiento especificaciones técnicas (C3)	77
3.2.1.4 Disponibilidad (C4)	77
3.2.1.5 Tiempo de entrega (C5)	77
3.2.2 Construcción escala de valoración	77
3.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROVEEDOR	79
3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COLORANTES Y AUXILIARES DE TINTURA SELECCIONADOS	80
3.4.1 Blanqueador óptico propuesto	80
3.4.2 Dador de ácido propuesto	81
3.4.3 Igualador de poliamida propuesto	81
3.4.4 Detergente para poliamida propuesto	82
3.4.4.1 Detergente 1 propuesto	82
3.4.4.2 Detergente 2 propuesto	83
3.4.5 Colorantes ácidos propuestos	83
3.4.5.1 Colorantes Negro propuesto	84
3.4.5.2 Colorante rojo brillante propuesto	84
3.4.5.3 Colorante amarillo brillante propuesto	84
3.4.5.4 Colorante turquesa propuesto	84
3.4.5.5 Colorante amarillo propuesto	85
3.4.5.6 Colorante azul propuesto	85
3.4.6 Fijador para poliamida propuesto	85

3.4.7 Proceso de teñido sin fijado	86
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA	88
4.1 BLANQUEADOR ÓPTICO	88
4.1.1 Evaluación matiz del blanqueador óptico	88
4.1.2 Desarrollo tono blanco en las referencias de encaje, noraba y dorcas	90
4.1.2.1 Referencia noraba	91
4.1.2.2 Referencia dorcas	91
4.1.2.3 Referencia de encaje	92
4.1.3 Evaluación proceso de blanqueo a nivel de planta piloto y de planta	92
4.1.3.1 Ensayo a nivel de planta piloto	94
4.1.3.2 Ensayo a nivel de planta	94
4.2 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA	95
4.2.1 Colorantes propuestos	97
4.2.2 Dador de ácido	102
4.2.3 Igualador para poliamida	103
4.2.4 Fijador para poliamida	105
4.2.5 Detergente de poliamida	107
4.3 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA SIN PROCESO DE FIJADO	110
5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA	112
5.1 PROCESO DE BLANQUEO	112
5.2 PROCESO DE TEÑIDO	114
5.3 PROCESO DE TEÑIDO SIN FIJADO	117
6. CONCLUSIONES	119
7. RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXOS	129

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Formato resultados pruebas de solidez	48
Tabla 2 Colorantes y auxiliares de tintura con mayor consumo para el teñido de fibras de poliamida en el periodo de enero a agosto de 2018	50
Tabla 3. Limites coordenadas CIE LAB tono blanco	51
Tabla 4. Concentración de colorantes y auxiliares de tintura implementados en el proceso de teñido actual de fibras de poliamida	59
Tabla 5. Concentración final de colorantes y auxiliares en el baño de tintura luego del proceso	61
Tabla 6. Concentración de blanqueador y auxiliares de tintura proceso actual	69
Tabla 7. Concentraciones finales blanqueador y auxiliares en el baño de tintura luego del proceso	70
Tabla 8. Ficha de posibles proveedores	75
Tabla 9. Nivel de calidad de los colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C1)	78
Tabla 10. Precio de los colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C2)	78
Tabla 11. Cumplimiento especificaciones técnicas auxiliares de tintura (C3)	78
Tabla 12. Disponibilidad colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C4)	78
Tabla 13. Tiempo de entrega colorantes y auxiliares de tintura (C5)	79
Tabla 14. Matriz de decisión	79
Tabla 15. Normalización matriz de decisión	79
Tabla 16. Ensayos a nivel laboratorio con el blanqueador propuesto en diferentes referencias de tela	91
Tabla 17. Resultados blanqueo de la fibra noraba a nivel de laboratorio.	92
Tabla 18. Resultados blanqueo de la fibra dorcas a nivel de laboratorio	93
Tabla 19. Resultados blanqueo de la fibra de encaje a nivel de laboratorio	93
Tabla 20. Resultados del proceso blanqueo para la referencia dorcas a nivel de planta piloto implementando el blanqueador óptico propuesto	95
Tabla 21. Resultados del proceso blanqueo para la referencia noraba a nivel de planta implementando el blanqueador óptico propuesto	96
Tabla 22. Formula de tintura proceso de teñido de fibras de poliamida	96
Tabla 23. Concentraciones colorantes propuestos	98
Tabla 24. Rango coordenadas CIE LAB para tonos diferentes al blanco	98
Tabla 25. Resultados matiz colorantes propuestos con respecto a los actuales	99
Tabla 26. Resultados pruebas de solidez colorantes actuales y propuestos	100
Tabla 27. Resultados evaluación de tonos de fibras teñidas con los colorantes propuestos	102
Tabla 28. Resultados pH inicial y pH final ensayos con dador de ácido	104
Tabla 29. Pruebas de solidez fijador actual Vs. Fijador propuesto	105
Tabla 30. Concentración para el proceso de lavado	106

Tabla 31. Resultados proceso de lavado (grafica 6) detergente actual Vs detergente propuesto	109
Tabla 32. Resultados proceso de lavado (grafica 6) detergente propuesto	111
Tabla 33. Resultados prueba de teñido sin fijado	111
Tabla 34. Costo químico proceso de blanqueo	113
Tabla 35. Parámetros para calcular el costo del proceso	115
Tabla 36. Costo del proceso de blanqueo	115
Tabla 37. Costo químico del teñido de fibras de poliamida	115
Tabla 38. Costo de proceso teñido de fibras de poliamida	116
Tabla 39. Ahorro colorante negro, fijador y detergente	117
Tabla 40. Ahorro igualador y dador de ácido para poliamida	117
Tabla 41. Ahorro colorantes ácidos	118
Tabla 42. Costo químico proceso de teñido sin fijado	118
Tabla 43. Costo de proceso de teñido sin fijado	119

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Estructura poliamida 6 y poliamida	pág. 28
Imagen 2. Parámetros para cuantificar el proceso de teñido de fibras textiles	30
Imagen 3. Reacción de la fibra de poliamida con el colorante ácido	35
Imagen 4. Espacio del color CIE LAB	40
Imagen 5. Muestras procesadas con el igualador actual y el igualador propuesto	103

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de tintura	pág. 33
Gráfica 2. Pareto referencias PA más procesadas entre enero y agosto de 2018	47
Gráfica 3. Tonos más procesados en fibras de poliamida	49
Gráfica 4. Curva de tintura del proceso actual	55
Gráfica 5. Curva de tintura etapa de teñido de fibras de poliamida	56
Gráfica 6. Curva de tintura etapa de lavado	57
Gráfica 7. Curva de tintura etapa de fijado	58
Gráfica 8. Curva de blanqueo fibra de poliamida, tintura por agotamiento	58
Gráfica 9. Proceso de teñido fibras de poliamida sin fijado	68

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Cadena textil PROTELA S.A., Bogotá D.C.	44
Diagrama 2. Diagrama proceso actual de teñido de fibras de poliamida	60
Diagrama 3. Diagrama proceso actual de blanqueo de fibras de poliamida	68
Diagrama 4. Aspectos que se desean conocer de los proveedores	76
Diagrama 5. Diagrama de flujo blanqueo de fibras de poliamida nivel laboratorio	90
Diagrama 6. Diagrama de flujo blanqueo de fibras de poliamida nivel planta y Planta piloto	95
Diagrama 7. Proceso de teñido de fibras de poliamida a nivel laboratorio	97
Diagrama 8. Diagrama de flujo proceso de teñido a nivel de planta y planta piloto	108

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Parámetros para cuantificar el proceso de teñido de fibras textiles	30
Ecuación 2. Ley de Fick	31
Ecuación 3. Masa auxiliar de tintura cuya concentración se encuentra en g/L	59
Ecuación 4. Masa colorantes y auxiliares de tintura cuya concentración se encuentra reportada en porcentaje	59
Ecuación 5. Balance etapa pretratamiento	62
Ecuación 6. Alimentación del detergente en el pretratamiento	62
Ecuación 7. Alimentación del igualador en el pretratamiento	62
Ecuación 8. Salida de detergente en el pretratamiento	62
Ecuación 9. Salida del igualador en el pretratamiento	62
Ecuación 10. Detergente que reacciona con la fibra de poliamida	62
Ecuación 11. Igualador que reacciona con la fibra de poliamida	62
Ecuación 12. Balance etapa de teñido	63
Ecuación 13. Alimentación colorante ácido en el teñido	63
Ecuación 14. Alimentación igualador en el teñido	63
Ecuación 15. Alimentación dador de ácido en el teñido	63
Ecuación 16. Colorante a la salida del proceso de teñido	63
Ecuación 17. Igualador a la salida del proceso de teñido	63
Ecuación 18. Dador de ácido a la salida del proceso de teñido	63
Ecuación 19. Dador de ácido que reacciona con la fibra de poliamida	63
Ecuación 20. Igualador que reacciona con la fibra de poliamida	63
Ecuación 21. Colorante ácido que reacciona con la fibra de poliamida	63
Ecuación 22. Colorante ácido que no reacciona con la fibra de poliamida	64
Ecuación 23. Balance etapa de lavado	64
Ecuación 24. Alimentación del detergente en el lavado	64
Ecuación 25. Alimentación de la solución ácida en el lavado	64
Ecuación 26. Salida de detergente en el lavado	64
Ecuación 27. Salida de solución ácida en el lavado	64
Ecuación 28. Salida de colorante ácido en el lavado	64
Ecuación 29. Detergente que reacciona con la fibra de poliamida	64
Ecuación 30. Solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida	65
Ecuación 31. Colorante ácido no eliminado después del proceso de lavado	65
Ecuación 32. Balance etapa de fijado	65
Ecuación 33. Alimentación del fijador en el fijado	65
Ecuación 34. Alimentación de la solución ácida en el fijado	65
Ecuación 35. Salida de fijador en el fijado	65
Ecuación 36. Salida de solución ácida en el fijado	65
Ecuación 37. Salida de colorante ácido en el fijado	65
Ecuación 38. Fijador que reacciona con la fibra de poliamida	65

Ecuación 39. Solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida	66
Ecuación 40. Colorante ácido eliminado después del proceso de fijado	66
Ecuación 41. Masa final de la tela luego del proceso de teñido	66
Ecuación 42. Balance global proceso de teñido fibras de poliamida	66
Ecuación 43. Balance etapa pretratamiento	70
Ecuación 44. Alimentación del detergente en el pretratamiento	70
Ecuación 45. Alimentación del tripolifosfato de sodio en el pretratamiento	70
Ecuación 46. Salida de detergente en el pretratamiento	71
Ecuación 47. Salida del tripolifosfato de sodio en el pretratamiento	71
Ecuación 48. Detergente que reacciona con la fibra de poliamida	71
Ecuación 49. Tripolifosfato de sodio que reacciona con la fibra de poliamida	71
Ecuación 50. Balance etapa de blanqueo	71
Ecuación 51. Alimentación blanqueador óptico en el blanqueo	71
Ecuación 52. Alimentación solución matizante en el blanqueo	71
Ecuación 53. Alimentación dador de ácido en el blanqueo	71
Ecuación 54. Blanqueador óptico a la salida del proceso de blanqueo	71
Ecuación 55. Solución matizante a la salida del proceso de blanqueo	72
Ecuación 56. Dador de ácido a la salida del proceso de blanqueo	72
Ecuación 57. Blanqueador óptico que reacciona con la fibra de poliamida	72
Ecuación 58. Dador de ácido que reacciona con la fibra de poliamida	72
Ecuación 59. Solución matizante que reacciona con la fibra de poliamida	72
Ecuación 60. Masa final de la tela luego del proceso de blanqueo	72
Ecuación 61. Balance global proceso de blanqueo de fibras de poliamida	72
Ecuación 62. Costo auxiliar de tintura por 1Kg de fibra procesada cuando la concentración está dada en g/L	114
Ecuación 63. Costo auxiliar de tintura por 1Kg de fibra procesada cuando la concentración está dada en porcentaje	114
Ecuación 64. % Ahorro por 1Kg de fibra procesada con la propuesta de mejora	114

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Ensayos blanqueador óptico	pág. 130
Anexo B. Pruebas de solidez, colorantes propuestos	132
Anexo C. Curva espectral – colorantes propuestos	134
Anexo D. Tonos críticos con colorantes propuestos	136
Anexo E. Dador de ácido referencia encaje	137
Anexo F. Igualador poliamida propuesto referencias de encajes	138
Anexo G. Detergente poliamida referencia dorcas	139
Anexo H. Pruebas de solidez proceso de teñido sin fijado	141

RESUMEN

PROTELA S.A. es una empresa colombiana, que fabrica tejidos de punto y bases no tejidas de alta calidad, en una cadena que integra procesos de diseño, tejeduría, tintura, estampación, acabados y confección. Una parte fundamental de la cadena textil es el teñido, estampación y acabado en donde se da un valor agregado a las fibras textiles. El proceso en tintorería consiste en teñir una fibra textil implementando colorantes y diferentes auxiliares de tintura, en donde se presenta una reacción química entre la fibra y los colorantes a ciertas condiciones de temperatura, pH, tiempo y relación de baño.

En la actualidad, PROTELA S.A. se encuentra en un plan de mejora con el fin de aumentar la eficiencia en los diferentes procesos de teñido y de esta manera enfrentar la crisis económica que sufre el sector textil en nuestro país. Para ello, se presentó una propuesta de mejora en el teñido y blanqueo de fibras de poliamida en el cual se propuso implementar el uso de nuevas materias primas con el fin de disminuir los costos de producción, reducir el número de reprocesos y mejorar los resultados de las pruebas de calidad del producto final. Las materias primas propuestas deben cumplir con la normativa OEKO-TEX, tener un costo menor que las materias primas actuales y presentar propiedades fisicoquímicas que se adapten a la curva de tintura actual del proceso.

Con la propuesta de mejora y a partir de la evaluación técnica de los colorantes y auxiliares de tintura propuestos (blanqueador óptico, igualador, dador de ácido, fijador, detergente, colorantes amarillo, azul, amarillo brillante, rojo brillante y negro) se logró disminuir el costo químico del proceso de teñido y del proceso de blanqueo de fibras de poliamida en un 56.16% y en un 4.12% respectivamente, en donde no solo se aseguró la calidad del producto final para que no se presente teñido desigual, mareo o rayado, sino que se mejoraron las pruebas de solidez regidas por la Asociación Americana de Químicos y Colorantes Textiles (AATCC) en donde los resultados de las pruebas de solidez al lavado, a la exposición al agua de mar y al agua de piscina clorada y la solidez al frote se mejoraron y se lograron cumplir con rangos establecidos por PROTELA S.A los cuales deben ser mayores o iguales a 3.5.

Palabras Clave: Teñido fibras de poliamida, Calidad, colorantes y auxiliares de tintura, evaluación técnica materias primas, industria textil.

INTRODUCCIÓN

La industria textil en Colombia se ha visto afectada en gran medida por la decreciente demanda que se presenta, los altos inventarios de las empresas y el impacto negativo que tiene el ingreso masivo de productos del exterior con precios muy bajos, que han llevado a muchas empresas del sector a parar la producción o inclusive a despedir a sus trabajadores.

Según las cifras desarrolladas por el DANE en 2017, la producción real disminuyó un 19% de manera que el empleo se redujo un 8,8%, esto se debe a que según la Cámara Colombiana de Confecciones y afines (CCCyA) las pérdidas económicas en el sector en el 2017 están representadas en aproximadamente \$203 millones de dólar¹⁷. Es por esta razón, que el sector textil ha desarrollado diferentes retos para afrontar la crisis, como la reducción de costos de producción, desarrollo de nuevos procesos logísticos e implementación de nuevas tecnologías.

En nuestro país, la industria textil se dedica principalmente al proceso de confección y acabado de fibras de algodón, en donde se encuentran industrias como Permoda, Fabricato y Coloreto. Sin embargo, industrias colombianas como Protela S.A., que lleva en el mercado 67 años, se enfoca principalmente en el tejido, teñido, acabado y confección de fibras en poliamida y poliamida-elastan, que representa más del 50% de la producción instalada, es decir 400 toneladas al mes.

Actualmente el uso de prendas en poliamida ha aumentado ya que dicha fibra se implementa en la confección de ropa femenina, ropa íntima, vestidos de baños, ropa deportiva, entre otros. Es por esta razón que Protela S.A al enfocarse en esta parte del mercado y ser una de las pocas industrias que desarrolla dichos productos, los estándares de calidad son muy altos, ya que deben cumplir con el control de solidez textil descrito por las normas AATCC, los colorantes y auxiliares de tinte implementados deben cumplir con los criterios de control OEKO-TEX®, los cuales no deben ser tóxicos para el ser humano ni para el medio ambiente, se debe cumplir con el tono exigido por el cliente evaluado según las coordenadas CIEL LAB.

En tintorería, se identificó que el proceso de teñido para la poliamida es el más costoso, esto se debe a que la materia prima e insumos utilizados, tienen costos muy elevados y se utilizan grandes cantidades. En muchas ocasiones para tonos oscuros o blancos, con el fin de obtener el tono y cumplir con las especificaciones de calidad se presentan reprocesos, aumentando el costo y el tiempo de residencia lo que afecta directamente las ganancias de la empresa.

¹⁷ VALENCIA, Mario. El S:O:S de los empresarios para rescatar a la industria de confección. En Dinero. 2018. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/crisis-de-la-industria-de-la-confeccion-en-colombia/254274>

Para desarrollar una de las estrategias planteadas para enfrentar la crisis textil, se deben reducir los costos de proceso en las referencias de poliamida que son las referencias más facturadas por Protela S.A. Esta medida se ha tomado por diferentes industrias textiles en el área de tintorería con el fin de ser más competitivas a nivel mundial. Dichas medidas, se hacen a través de una evaluación técnica de auxiliares de tintura y colorantes, en donde se evalúa que con dichos productos se obtenga el tono deseado, se disminuya relación de baño, se cumpla con las pruebas de solidez establecidas por la AATCC, que permitan la elongación adecuada, se disminuya el tiempo de proceso, se disminuya al máximo el número de reprocesos y presenten una buena igualación y un buen cubrimiento de la fibra.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora del proceso de teñido para las fibras textiles de poliamida en PROTELA S.A

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Diagnosticar el proceso actual de teñido de fibras de poliamida.
2. Determinar la alternativa de mejora de acuerdo con el diagnóstico realizado para el proceso de teñido de fibras de poliamida.
3. Comprobar la alternativa de mejora por medio de un desarrollo experimental en los tonos críticos.
4. Establecer los costos de la propuesta de mejora.

1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen las generalidades para desarrollar el proyecto de investigación, en donde se tiene en cuenta que son las fibras de poliamida y las condiciones óptimas para que se lleve a cabo el proceso de tintura como pH, temperatura, gradiente de temperatura, relación de baño y concentración decolorantes y auxiliares de tintura que presentan afinidad por las fibras de poliamida.

1.1 FIBRAS TEXTILES

Las fibras textiles son polímeros lineales, con alto peso molecular y con una longitud de cadena lo suficientemente grande para ser hilada, estas se pueden clasificar en tres: fibras naturales, fibras artificiales y fibras sintéticas.¹⁸

Las fibras naturales son aquellas fibras que se obtienen de una planta o un animal. Entre estas se encuentra el algodón, la lana, la seda entre otras; las cuales son muy implementadas en la industria textil y se caracterizan por su alta resistencia a la ruptura, elasticidad y capacidad de torsión.

Las fibras artificiales son derivadas de la celulosa, en la industria textil se conocen como rayones. Entre estas se encuentran principalmente la lana viscosa, la lana de cobre y lana de acetato. Estas fibras presentan una buena resistencia a la ruptura y puede ofrecer una superficie granulada y con mayor brillo.

Las fibras sintéticas son aquellas que se producen a partir de procesos fisicoquímicos, las fibras sintéticas en su mayoría son termoplásticos muy estables por encima del punto de fusión, lo que permite que sean hiladas directamente a partir de polímeros fundidos, un claro ejemplo de estas son la poliamida 6 (PA6) y la poliamida 66 (PA66).

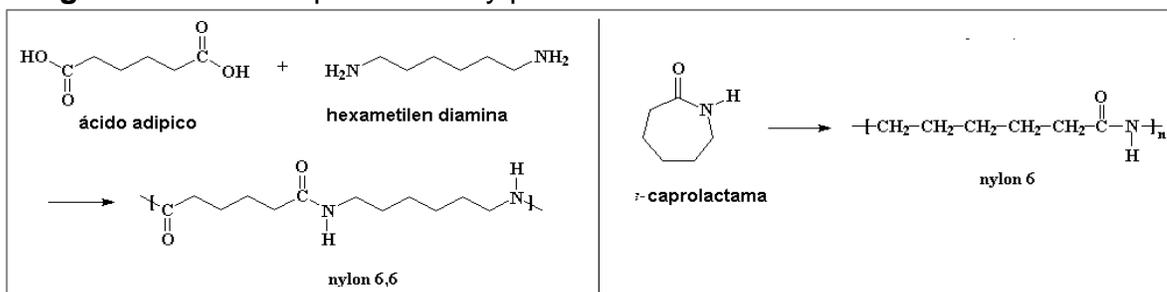
1.1.1 Poliamida. Las poliamidas son macromoléculas que contienen grupos amida recurrentes en el polímero. A nivel industrial se han obtenido diferentes tipos de poliamida, a nivel de la industria textil se emplea la poliamida 6 y la poliamida 66. Las poliamidas generalmente son sintetizadas a partir de diaminas, ácido carboxílico o aminoácidos.¹⁹ La poliamida 6 se obtiene a partir de la caprolactama biodegradada, la caprolactama es un monómero producido por la fermentación de

¹⁸ MONDAGRÓN, Jaime. Fibras textiles. Universidad Nacional Autónoma de México. Enero 2012. Disponible en: <http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/organica/directorio/jaime/fibras%20textiles.pdf>

¹⁹ SANDOVAL, Daniela, Poliamidas. Agosto 31 de 2015 Disponible en: <https://es.scribd.com/document/277149814/Poliamidas>

la glucosa a través de un intermediario. Por otro lado, la poliamida 66 se obtiene a partir del ácido adípico biodegradado, por lo cual se genera de la reacción de polimerización entre el ácido adípico y la diamina.²⁰ Las fibras de poliamida presentan una temperatura de fusión elevada entre un rango de 210 y 280°C dependiendo del tipo de poliamida y del grado de polimerización.

Imagen 1. Estructura poliamida 6 y poliamida 66



Fuente. OJEDA, Mariano. Tecnología del plástico. Apuntes de química. Tomado el 4 de abril de 2019. En línea. Disponible en < <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html> >

Las fibras de poliamida se caracterizan por sus elevadas propiedades mecánicas, resistencia al desgaste, bajo coeficiente de fricción, puntos de fusión elevados, buena resistencia al impacto y alta resistencia a la fatiga. Además, es resistente a disolventes orgánicos salvo a algunos como el ácido fórmico. Se puede moldear fácilmente y son implementados para producir una alta gama de fibras teñidas. Estas fibras presentan estabilidad dimensional en periodos cortos a elevadas temperaturas en rangos entre 90 y 120°C.²¹

Las fibras de poliamida 6 y las fibras de poliamida 66 presentan propiedades físicas y químicas muy similares, por lo cual se implementan en la industria textil para usos parecidos, sin embargo, se diferencian en el agrupamiento de los átomos de los grupos amida, lo que genera algunas diferencias como lo son²²:

- Las fibras de poliamida 6 se funden a menos temperatura que las fibras de poliamida 66. (215°C y 256°C respectivamente)
- Las fibras de poliamida 6 presentan mayor afinidad por los colorantes ácidos que las fibras de poliamida 66, lo cual se ve reflejado en la intensidad del tono, por

²⁰ LEISERSON, J Teodoro. Teñido de nylon con colorantes ácidos. [En línea]. Tesis doctoral Universidad de Buenos Aires 1951. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n0658_Leiserson.pdf

²¹ ALONSO FELIPE. Manuel control de calidad en productos textiles y afines. Universidad Politécnica de Madrid 2015. Disponible en <http://oa.upm.es/38763/1/Binder1.pdf>

²² CARRION. Javier. Materials pel disseny de productes textils. Poliamida. [En línea] Universidad politécnica de Catalunya. 2014. Disponible en https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliamida_word-5467.pdf

lo tanto, las fibras de poliamida 6 presentan una intensidad mayor que las fibras de poliamida 66.

- Las fibras de poliamida 6 tienden a desgastarse y a amarillarse con mayor facilidad que las fibras de poliamida 66 cuando son expuestas a la radiación ultravioleta.
- Las fibras de poliamida 66 presenta una mayor resistencia a las altas temperaturas.

1.2 TEÑIDO DE FIBRAS TEXTILES

El teñido textil es un proceso químico que se ha desarrollado desde la antigüedad con el fin de dar color a diferentes fibras textiles. Hasta la mitad del siglo XIX los colorantes empleados eran de origen natural ya que provenían de plantas, insectos o moluscos. En el año 1856 el científico William Henry Perkin, desarrollo el primer tinte violeta artificial, el cual nombro Malveína. Fue a partir de ese momento y hasta la actualidad que se han fabricado más de ocho mil tipos de colorantes artificiales, los cuales han sido implementados en diferentes procesos y en especial en la industria textil.²³

El teñido de fibras textiles es un proceso necesario en la cadena textil ya que incrementa significativamente el valor económico del producto. En la actualidad, la mayoría de las empresas textiles implementas dos técnicas de tintóreo, las cuales son: el teñido por agotamiento y el teñido en Foulard.²⁴

- **Teñido por agotamiento:** es un proceso discontinuo, en el cual la fibra de teñido se lleva a un equilibrio con una solución que contiene los colorantes y auxiliares de tintura por unos minutos o por unas horas, los cuales se fijan en el material textil como consecuencia de una transferencia del colorante a la fibra debido a la intervención de las fuerzas de afinidad entre el colorante y el material textil a teñir.²⁵
- **Teñido en Foulard:** en este proceso el colorante se aplica mecánicamente al sustrato y luego se fija con vapor en un proceso semicontinuo. Este proceso no

²³ CAMPOSECO. Shilonen. Evaluación De Las Propiedades Fisicoquímicas De Solidez De Fibras Teñidas Con El Extracto Colorante Del Fruto De Jaboncillo.[En línea]. Proyecto de Grado Pregrado Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1367_Q.pdf

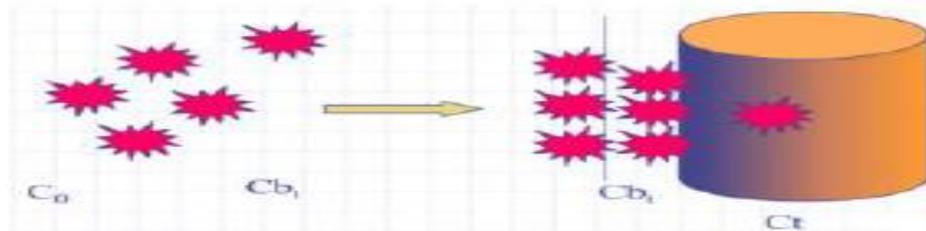
²⁴SEDLAK. Dieter. Documento/ Manuel de química. Afirm Group .2013 Disponible en. <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>

²⁵ CABO. Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. [En línea]. Master Universitario en Ingeniería Textil. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>

se utiliza con frecuencia ya que el colorante se transfiere a la fibra entre un 50 a un 80% y requiere de instalaciones especializadas.²⁶

El proceso de teñido de fibras textiles se basa principalmente en la primera ley de Fick, en donde se argumenta que el flujo de las moléculas de colorante presentes en el baño de tintura es directamente proporcional a los factores de difusión como es la concentración del colorante, esto se conoce como afinidad y depende del tamaño molecular de la especie que se va a difundir o del tipo de estructura interna que presenta la fibra, para permitir la cuantificación del proceso de tintura, se establece de esta manera una serie de parámetros los cuales son: concentración inicial del colorante en el baño de tintura (C_0), concentración del colorante que queda en el baño de tintura en un tiempo t , (C_{bt}) y la concentración del colorante en la fibra (C_t)²⁷, la cual corresponde a la ecuación 1 y se ve reflejada en la imagen 2.

Imagen 2. Parámetros para cuantificar el proceso de teñido de fibras textiles.



Fuente: SALAZAR, Paulina. reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. Tomado el 4 de abril de 2019 en línea. Disponible en <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>>

Ecuación 1. Parámetros para cuantificar el proceso de teñido de fibras textiles.

$$C_0 = C_{bt} + C_t$$

Fuente: SALAZAR, Paulina. reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. Tomado el 4 de abril de 2019 en línea. Disponible en <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>>

De esta manera la relación de difusión puede explicarse mediante la Ley de Fick representada en la ecuación 2.

²⁶ SEDLAK, Dieter. Documento/ Manual de química. Afirm Group .2013 Disponible en. <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>

²⁷ SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. [En línea]. Trabajo de Pregrado. Universidad central de Ecuador 2014 Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>

Ecuación 2. Ley de Fick

$$\frac{ds}{dt} = -DA \frac{dC}{dx}$$

Fuente: SALAZAR, Paulina. reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. Tomado el 4 de abril de 2019 en línea. Disponible en <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>>

Donde:

ds/dt: es la velocidad de difusión del colorante a través del área (A) en cualquier punto de la fibra.

dC/dx: es el gradiente de concentración del colorante.

D: es el coeficiente de difusión (numéricamente igual a la cantidad de colorante que difunde por unidad de tiempo a través de la unidad de área de fibra bajo una unidad de gradiente de concentración)

A: Área de transferencia.

1.2.1 Colorantes. Los colorantes, conocidos como anilinas son sustancias que pueden ser solubles en agua o en disolventes orgánicos, presentan grupos reactivos capaces de fijarse a los diversos sustratos al formar diferentes tipos de enlace. Es decir, que son sustancias que cuentan con la capacidad de absorción de diferentes longitudes de onda dentro del espectro de la luz visible, se fija dando coloración estable, por lo cual no suelen ser alteradas con factores como la luz, los oxidantes, el agua entre otros. Los colorantes se pueden clasificar según su estructura de acuerdo con los cromóforos y los auxóchromos presentes y según su uso en colorantes directos, ácidos, reactivos y se implementan según el tipo de fibra a teñir.²⁸

1.2.1.1 Cromóforos. Los cromóforos son los grupos responsables de la absorción de la luz. A medida que aumenta el número de cromóforos se intensifica el color. Por lo general se necesita más de un grupo cromóforo para que aparezca el color en la fibra.²⁹

1.2.1.2 Auxóchromos. Son ciertos radicales que son capaces de reforzar la acción de un cromóforo. Estos radicales son los responsables de la fijación al sustrato a teñir y son capaces de fijar la molécula del colorante. Además, los axóchromos aumentan la solubilidad del compuesto colorante en el agua y en parte su solidez a

²⁸ CAMPOSECO. Shilonen. Evaluación De Las Propiedades Físicoquímicas De Solidez De Fibras Teñidas Con El Extracto Colorante Del Fruto De Jaboncillo.[En línea]. Proyecto de Grado Pregrado Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1367_Q.pdf

²⁹ PEREIRA, Juan. Control del proceso de teñido de las fibras de algodón. Página 44. [En línea]. Proyecto de pregrado. Escuela profesional de química. Perú. 2014. Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4183/1/pererira_bj.pdf

la luz. Entre los grupos auxóchromos más destacados se encuentran los grupos sulfónicos, carboxilos y hidroxililicos que otorgan carácter aniónico a las moléculas del colorante.³⁰

1.2.2 Interacción Fibra – Colorante. Los colorantes son sustancias químicas, las cuales se caracterizan por el tamaño de las moléculas y los grupos químicos funcionales en la cadena.³¹

- **Tamaño de la molécula:** Cuanto más pequeña sea la molécula del colorante la difusión dentro de la fibra a teñir es mayor.
- **Grupos químicos funcionales dentro de la molécula:** se encuentran los grupos cromóforos encargados de dar el color, los grupos auxocromos que intensifica el color y los grupos solubles.

Teniendo en cuenta las características fisicoquímicas de los colorantes se presentan diferentes interacciones con las fibras textiles a teñir en el baño de tintura de tres modos distintos los cuales se describen a continuación³²:

- **Adsorción fisicoquímica:** las fuerzas de interacción entre el colorante y la fibra sin de naturaleza no covalente. Estas interacciones son lo suficientemente fuertes para que la fibra retenga las moléculas de colorante y pueda resistir tratamientos posteriores como el lavado.
- **Adsorción mecánica:** las fuerzas de interacción son muy bajas y requieren un recubrimiento polimérico que atrape a las partículas de colorantes para que el teñido presente resistencia a tratamientos de lavado.
- **Reacción en la fibra:** en condiciones óptimas de temperatura y pH, las moléculas o iones se unen por enlaces covalentes a las moléculas polimérica de la fibra.

1.3 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA

Las fibras de poliamida 6 y de poliamida 66 son fácilmente teñidos con varios tipos de colorantes, lo cual se debe a que la cadena molecular de las fibras de poliamida

³⁰ PEREIRA, Juan. Control del proceso de teñido de las fibras de algodón. Página 46-47. [En línea]. Proyecto de pregrado. Escuela profesional de química. Perú. 2014. Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4183/1/pererira_bj.pdf

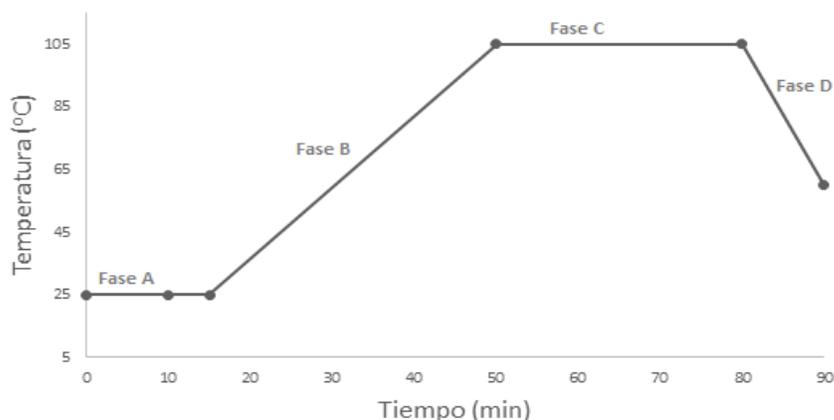
³¹BERNABE Nina. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida. Parte I. [En línea]. Proyecto de pregrado. Universidad Mayor de San Andrés. 2010 páginas 21 y 22. Disponible en. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/17896/M-191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

³² CABO. Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. [En línea]. Master Universitario en Ingeniería Textil. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>

presenta gran número de grupos hidrofílicos. El teñido de dichas fibras se realiza con colorantes ácidos, dispersos y metal-complejos. Estos colorantes son muy solubles en agua y su alta afinidad con las fibras textiles se debe a que, al aumentar la temperatura del baño de tintura, se generan sitios de enlace iónico en las fibras textiles disminuyendo el pH del baño de tintura, de manera que aumentan los grupos amida protonados y es en este momento en que el colorante se fija mediante enlaces covalentes a la fibra³³.

1.3.1 Curva de tintura por agotamiento. A nivel industrial el teñido de fibras de poliamida se realiza principalmente utilizando la técnica de tintoreo por agotamiento en donde el colorante se agota de manera uniforme sobre la fibra a medida que pasa el tiempo y va aumentando la temperatura³⁴. En este proceso, la fibra de poliamida se encuentra en contacto con el baño de tintura el cual está compuesto por diferentes colorantes y auxiliares (suavizantes, igualadores, dador de ácido, antiespumante, blanqueadores, etc.). Durante el tiempo en que la fibra de poliamida está en contacto con el baño de tintura, el colorante se va fijando a la fibra hasta que disminuye la concentración de este en el baño. ³⁵

Grafica 1. Curva de tintura



Fuente: BERNABE Nina. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida. Parte I. Universidad Mayor de San Andrés. Tomado el 8 de junio de 2019. En línea. Disponible en <<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/17896/M-191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

³³ SEDLAK, Dieter. Documento/ Manual de química. Afirm Group .2013 Disponible en. <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>

³⁴ SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. [En línea]. Trabajo de Pregrado. Universidad central de Ecuador 2014 página 18-19 Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>

³⁵ PORTALES, Ronald. Glosario de términos importantes. Química Textil. Perú. 2014 disponible en. <http://quimica-textil-fiq-unac.blogspot.com/2013/09/glosario.html>

Como se observa en la gráfica 1 el proceso de teñido inicia cuando se alimenta al equipo la fibra de poliamida a teñir, junto con los colorantes y auxiliares de tintura a temperatura ambiente (Fase A); para el teñido de fibras de poliamida es necesario tener en cuenta siempre la relación de baño la cual debe ser 1:10, es decir que por un kilogramo de fibra se requieren 10 litros de agua. Posteriormente se aumenta la temperatura de manera regular y controlada por medio de un gradiente de temperatura (Fase B), según las propiedades fisicoquímicas de los colorantes como el tamaño de las moléculas el gradiente de temperatura se adapta a en un rango entre 0.5°C/min para moléculas con baja difusión hasta 3°C/min para moléculas de fácil difusión. A medida que aumenta la temperatura, ciertas moléculas del colorante se separan una a una de la superficie de las partículas del colorante. Una vez se alcanza la temperatura óptima de teñido la cual se encuentra en un rango entre 95 y 110°C (Fase C) las moléculas de colorante libres y activas son captadas por el campo de absorción de la superficie de la fibra, a medida que pasa el tiempo a esa misma temperatura las moléculas de colorante absorbido llegan al interior de la fibra, en donde el colorante reacciona con la fibra formando enlaces covalentes, la concentración del colorante en la fase C disminuye a medida que pasa el tiempo, razón por la cual se conoce como curva de teñido por agotamiento. Finalmente se disminuye la temperatura (Fase D) con el fin de descargar el baño de tintura de la maquina a temperaturas por debajo de 60°C.³⁶

1.3.2 Colorantes para el teñido de fibras de poliamida. Como se explicó anteriormente para el teñido de fibras de poliamida se implementan principalmente colorantes ácidos, dispersos y metal-complejos. Cada uno de estos colorantes le brinda a la fibra un valor agregado específico, sin embargo, los colorantes que presentan mayor afinidad con las fibras de poliamida son los colorantes ácidos, ya que estos colorantes presentan moléculas relativamente pequeñas que se difunden fácilmente a través de la fibra, son colorantes que se implementan principalmente en pH bajos lo que les permite obtener resultados elevados de igualación y nivelación.³⁷

1.3.2.1 Colorantes Ácidos. Los colorantes ácidos son colorantes con un bajo peso molecular, en los cuales existe la presencia de grupos sulfonatos (-SO₃Na), los cuales se disocian fácilmente en agua, debido a su alta solubilidad en medios acuosos. La afinidad de los colorantes ácidos se debe a que las fibras de poliamida

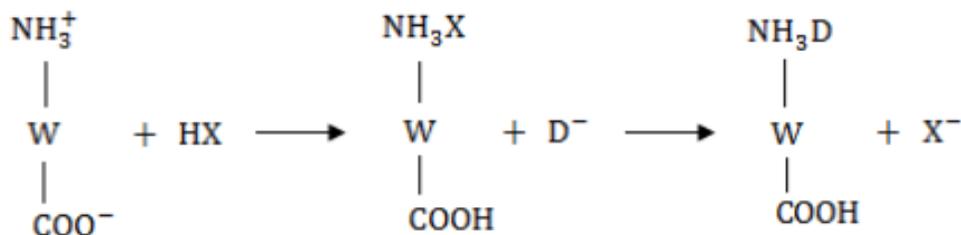
³⁶ BERNABE Nina. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida. Parte I. [En línea]. Proyecto de pregrado. Universidad Mayor de San Andrés. 2010 páginas 21 y 22. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/17896/M-191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

³⁷ CABO. Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. [En línea]. Master Universitario en Ingeniería Textil. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>

generan centros catiónicos a temperaturas óptimas de teñido. Es decir que se aumenta la temperatura entre 95 y 110°C las fibras de poliamida liberan los grupos amida generando centros con carga positiva y disminuyendo el pH del baño de tintura, lo que permitirá que ocurra la reacción entre el colorante ácido y la fibra de poliamida por medio de enlaces covalentes³⁸.

Como se observa en la imagen 3, esta reacción ocurre en medio ácido (HX), donde los cationes de la fibra están disponibles para los aniones del ácido. Luego se disocian los aniones del colorante (D-), los cuales al entrar en contacto con el sustrato permiten que migren los aniones del ácido y entran los del colorante. Lo anterior se lleva a cabo porque los aniones del colorante, al ser moléculas más grandes, se unen con la fibra mediante una difusión lenta de mayor afinidad con ésta que la de los aniones del ácido.³⁹

Imagen 3. Reacción entre la fibra de poliamida y el colorante ácido



Fuente: SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química, Universidad central de Ecuador. 2014 {En línea} tomado el 10 de mayo de 2019. Disponible en <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>>

A pesar de su alta afinidad por las fibras de poliamida, en ocasiones los resultados de las pruebas de solidez son bajos, por lo cual se requiere de procesos de lavado y fijado posteriores al proceso de teñido. También se pueden implementar colorantes ácidos premetalizados o también conocidos como metal-complejos. Los cuales contienen en su grupo cromóforo moléculas de cromo, lo que les permite obtener mejores resultados en las pruebas de solidez al formar enlaces más estables.⁴⁰

³⁸ AMEZ, Mirela. Sistema de teñido de cintas elásticas por el proceso de PAD Steam. [En línea]. Proyecto de Pregrado Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. 2004. Disponible en. http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8526/1/amez_lm.pdf

³⁹ SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. [En línea]. Trabajo de Pregrado. Universidad central de Ecuador 2014 página 18-19 Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>

⁴⁰ AMEZ, Mirela. Sistema de teñido de cintas elásticas por el proceso de PAD Steam. [En línea]. Proyecto de Pregrado Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. 2004. Disponible en. http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8526/1/amez_lm.pdf

1.3.3 Auxiliares de tintura Proceso de teñido fibras de poliamida. Durante el proceso de teñido, además de los colorantes y productos químicos industriales, se necesita una serie de productos especiales conocidos como auxiliares de tintura. Estos permiten obtener tinturas con alto nivel de igualación, sin quebraduras y con una buena humectación; eliminan las interferencias de sales que disminuyen el rendimiento de los colorantes, permiten que las pruebas de solidez presenten resultados altos; en resumen, dichas sustancias permiten que se obtenga un producto de calidad. Algunos auxiliares de tintura son⁴¹:

1.3.3.1 Agentes de lavado de tinturas. Los agentes detergentes son empleados para la eliminación del colorante reactivo que no ha reaccionado una vez concluida la tintura.

1.3.3.2 Agentes para lavado reductor. Los productos auxiliares para el lavado reductor se emplean principalmente una vez realizada una tintura a fin de remover el exceso de colorante no fijado.

1.3.3.3. Antiquebraduras: Los productos antiquebraduras o antipliegues, son auxiliares que actúan como lubricantes de fibras. Previenen los quiebres o marcas de arrugas que se forman durante la tintura.

1.3.3.4. Dispersantes: aquellos auxiliares textiles que facilitan la dispersión de las sustancias sólidas de cualquier tipo, en los baños de teñido y en especial de colorantes de elevado tamaño molecular.

1.3.3.5. Fijadores: se emplean para el postratamiento de tinturas. Estas sustancias permiten fijar el colorante que se encuentra en la superficie de la fibra con el fin de obtener buena solidez al lavado y al frote.

1.3.3.6. Igualantes: son productos cuya función específica es la de uniformar el agotamiento de los colorantes. Estos tienen diferente sustantividad y capacidad de migración sobre las fibras. El agente de igualación trabaja de diferentes formas según su naturaleza química.

1.3.4 Condiciones de operación teñido fibras de poliamida. Para el proceso de teñido se tienen en cuenta diferentes factores como lo es la relación de baño, la temperatura, el pH y el tiempo de residencia⁴².

⁴¹ CABO, Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. [En línea]. Master Universitario en Ingeniería Textil. Universidad Politécnica de Valencia. 2015. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>

⁴² FAJARDO, Sergio. Optimización del proceso de teñido de fibras de nailon, implementando insumos biodegradables, [En línea] . Proyecto pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Octubre 2016. Disponible en. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5934/1/Sergio%20Javier%20Fajardo%20Portillo.pdf>

1.3.4.1 Temperatura: la temperatura es muy importante para que se realice el correcto teñido del colorante en la fibra, las diferencias de temperatura pueden ocasionar inconvenientes en la reproducibilidad de los colores a teñir. Para fibras de poliamida se utilizan temperaturas entre (95 y 110°C)

1.3.4.2. pH: el pH ácido es de vital importancia para que la tintura se lleve a cabo, ya que se requiere un medio ácido para el proceso de teñido ya que los centros catiónicos de las fibras de poliamida se presentan a pH bajos y a altas temperaturas. El pH para que ocurra el proceso de teñido por agotamiento debe estar en un rango de 4- 4.5

1.3.4.3 Tiempo: el tiempo es otro parámetro importante, ya que al realizar teñidos en tiempos muy cortos puede ocasionar problemas, como diferencia de tono en la fibra o la falta de agotamiento del colorante utilizado. Los tiempos en la fase de agotamiento se dan entre 30 a 40 minutos.

1.3.4.4 Adición de colorantes y auxiliares: se debe realizar una adición correcta y exacta de colorantes y auxiliares, es recomendable colocar primero los colorantes y después los auxiliares, es importante señalar que no se deben colocar en exceso los auxiliares y tampoco los colorantes ya que afectaría considerablemente en la reproducción de tonos en el laboratorio.

1.3.4.5 Relación de baño: es el volumen de agua que se emplea con respecto al peso de la fibra, cuando se calcula mal una relación de baño en un proceso de tintura puede ocasionar varios problemas ya que si se adiciona mucha agua esto hará que el colorante no se fije en el sustrato y al emplear poca cantidad de agua esto haría que aumente la viscosidad en el baño de teñido. La relación de baño implementada industrialmente es 1:10, es decir, por un kilo de fibra 10 litros de agua.

1.3.5 Equipos implementados en el teñido de fibras de poliamida por agotamiento. Para el teñido de fibras de poliamida por agotamiento industrialmente a nivel de planta se implementan dos equipos según el tipo de poliamida y el uso al que esta va dirigida. El primer equipo se conoce como TORPEDO en el cual se tiñen fibras delicadas como encajes. Y el segundo equipo se conoce como JET que se implementa para fibras de uso deportivo y para fibras con un grado de resistencia a la ruptura alto. A nivel de laboratorio se implementa la MATHIS en la cual se pueden teñir un máximo de 20g de fibra, se pueden teñir todo tipo de fibras sin importar el uso o a la resistencia a la ruptura. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de los equipos nombrados⁴³

⁴³ SEDLAK, Dieter. Documento/ Manual de química. Afirm Group .2013 Disponible en. <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>

1.3.5.1 Torpedo. Una máquina Torpedo se utiliza para el teñido de fibras textiles, está compuesta por un cilindro horizontal el cual contiene a la tela. Existen máquinas para teñir de esta clase que son presurizadas y no presurizadas, que permiten teñir a altas temperaturas. Esta máquina tiene agujeros perforados adentro y el baño de tinte se bombea dentro de la misma y fluye afuera a través de los agujeros perforados. En este caso, el tejido se detiene y sólo el baño del tinte circula.

1.3.5.2 JET. Las máquinas jet se diseñaron para eliminar algunos problemas que afectan el flujo de tinte. En particular, el carretel o riel se elimina y la tela se mantiene en movimiento a través de un fuerte chorro en su propio baño, el cual es bombeado a través de un inyector. La rápida recirculación y, por lo tanto, la turbulencia del baño favorece la fijación del colorante en la tela. Esta máquina tiene las ventajas de que consume poca agua y del poco tiempo empleado en el proceso del teñido, pero causa alto estrés mecánico en la tela, por tanto, no puede usarse para algunas telas delicadas.

1.3.5.3 MATHIS. La MATHIS es una máquina de tintura HT (Altas temperaturas) implementada a nivel de laboratorio para el teñido de muestras en recipientes cilíndricos. Por el sistema de calefacción por radiadores infrarrojos, se presenta una manipulación limpia y rápida de los recipientes. Lo que asegura óptimas condiciones de tintura.

1.4 TEORÍA DEL COLOR

El ojo humano percibe el color a través de la luz que viaja en forma de ondas la cual se encuentra formada por fotones los cuales no pueden ser percibidos por el ojo, es por esta razón que se requiere de una transformación para que el ser humano logre percibir los diferentes colores. Esta transformación de fotones a impulsos electromagnéticos se realiza gracias a la acción de dos proteínas la rodopsina y la oxina que se encuentran en el ojo humano, estas transforman la energía electromagnética en un impulso eléctrico que percibe el cerebro⁴⁴.

1.4.1 El Color. El color, según Isaac Newton, es una sensación que se produce en respuesta a una estimulación nerviosa del ojo. Esta estimulación es causada por los rayos de luz y por las longitudes de onda que lo componen. Estas ondas visibles

⁴⁴ BUENO, Mercedes; LOPEZ, Fátima y PALOMARES, Cristina. Neuropsicología del color. Psicología teórica. Universidad de Granada. Granada 2006. Disponible en: https://www.ugr.es/~setchift/docs/cualia/neuropsicologia_del_color.pdf

son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 y los 700 nanómetros⁴⁵

1.4.2 Mediciones y propiedades de Color. Debido a que cada individuo puede percibir el color de una manera diferente, surgió la necesidad de cuantificar el color para percibirlo objetivamente, en un lenguaje estándar y consistente, lo cual se conoce como colorimetría.

1.4.2.1 Colorimetría. La colorimetría es la ciencia que estudia la medida de los colores, que desarrolla métodos para la cuantificación del color, es decir la obtención de valores numéricos de este. Para ello se requieren tres elementos esenciales: la luz, un objeto y un observador. En donde el estímulo luminoso producto de la reflexión de la luz sobre un objeto o superficie se dirige a los ojos del observador en donde se divide en tres sensaciones: una roja, una verde y una azul. Es de esta manera que el color posee tres dimensiones: el matiz, la saturación o croma y la luminosidad⁴⁶.

- **Matiz:** Es el estado puro del color y lo que permite nombrarlo de forma distinta a los demás. Es un atributo asociado a la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas luminosas, también se refiere al recorrido que hace un tono de uno a otro lado del círculo cromático. Los tres colores primarios corresponden a los matices primarios, que al mezclarlos genera los demás matices o colores existentes.
- **Luminosidad:** Se refiere a la cantidad de luz percibida en un color, que permite determinar cuan claro u oscuro es. Los colores que poseen una luminosidad más alta (claros) reflejan más luz, mientras que los de valores bajos (oscuros) la absorben. El valor de luminosidad de los colores puede variarse o modificarse a partir de la adición de blanco (más claro) o negro (más oscuro).
- **Saturación:** Este parámetro representa la intensidad de un color; su viveza o palidez se relaciona con el ancho de la banda de luz que se esté visualizando, de manera paralela se puede describir como la cantidad de gris que posee un color, entre más gris contenga menor será su brillantez o intensidad.

1.4.2.2 Coordenadas CIE LAB. En 1976, The Commision Internationale of Leclairage (CIE) propuso un método para expresar el color de un objeto

⁴⁵ SANTOS, Anibal. Fisiología del color. Fundamentos Visuales 2. En Grupo IDAT. Diseño gráfico. 2010. Disponible en. <https://adelossantos.files.wordpress.com/2010/10/teroria-del-color.pdf>

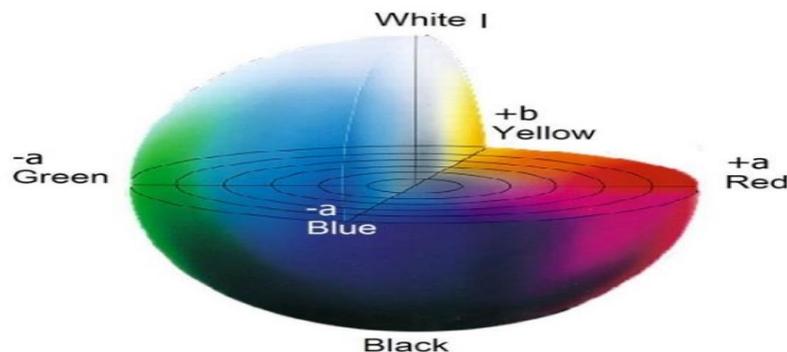
⁴⁶ CORTES, Maria. Construcción y población de bases de datos para colorantes de alta solidez en el laboratorio de la tintorería de COATS cadena Pereira S.A. [En línea]. Proyecto de pregrado. Universidad tecnológica de Pereira 2009. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1794/54308520285C828.pdf;jsessionid=9357DC24A9944793E4F23EBBD837FB45?sequence=1>

numéricamente a lo que lleno espacio de color CIE LAB. El cual es una transformación matemática del espacio X, Y y Z en el cual se fija un blanco de referencia. Ese blanco de referencia puede ser, por ejemplo, una fuente luminosa, el iluminante al que se haya adaptado el observador, un difusor perfecto o el color neutro más reflectante o transmisor de un medio de reproducción. En el sistema CIE LAB permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional, los colores deben verse sobre un fondo que vaya de blanco a gris medido por un observador adaptado a un iluminante que no sea demasiado distinto a la luz natural del medio día. Los tres ejes del sistema CIE LAB se indican con los nombres L, a y b los cuales comunican y expresan el color objetivamente⁴⁷.

- **L:** Luminosidad. Es una escala que relaciona el color con una escala de grises que va de 0 (negro) a 100 (blanco)
- **a:** Representa la tonalidad rojo/verde de izquierda a derecha, valores positivos representan un cambio hacia el rojo y valores negativos un cambio hacia el verde
- **b:** Tonalidad amarillo/azul, valores positivos indican tonos amarillos y valores negativos indican tonos azules.

El analizar color es más que una expresión numérica. Normalmente es un análisis de la igualdad o diferencia de un color al compararse con un patrón establecido. A continuación, en la imagen 4 se muestra el espacio de color CIE LAB.

Imagen 4. Espacio de color CIE LAB



Fuente. Konica Minolta. Sensing Américas Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B. Tomado el 4 de abril de 2019. En línea. Disponible en <<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-spacio-de-color-cie-lab/>>

⁴⁷ CORTES, Maria. Construcción y población de bases de datos para colorantes de alta solidez en el laboratorio de la tintorería de COATS cadena Pereira S.A. [En línea]. Proyecto de pregrado. Universidad tecnológica de Pereira 2009. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1794/54308520285C828.pdf;jsessionid=9357DC24A9944793E4F23EBBD837FB45?sequence=1>

1.5 PRUEBAS DE CALIDAD

Se denomina “Solidez” a la resistencia que presenta el textil teñido a cada uno de los agentes que son capaces de modificar su color original (cambio de color) y originar un manchado sobre un testigo blanco (transferencia de color). Industrialmente se implementa un control de calidad de la solidez de textiles, el cual se basa en ensayos regidos por la AATCC, teniendo como base los diferentes agentes que pueden producir alteraciones en el color de los textiles, los cuales se agrupan en dos grupos⁴⁸:

- **Agentes que actúan en el proceso de manufactura:** aquí encontramos el blanqueo por peróxido, el blanqueo enzimático, los tratamientos térmicos y los acabados funcionales como adición de microcápsulas.
- **Agentes de vida activa de la fibra textil,** es decir, el consumo final que tiene la fibra: aquí se encuentra el lavado, el frote, el sudor, la luz, el agua de mar o piscina, entre otros.

Los ensayos más conocidos y que frecuentemente se aplican a las fibras de poliamida por sus usos en ropa de baño, ropa deportiva y ropa íntima son, los cuales son evaluados en una escala de 1-5:

1.5.1 Lavado (AATCC 61). Dicha prueba tiene el propósito de evaluar la resistencia del color al lavado de textiles, con el que se espera que resista al lavado frecuente, de manera que se evalúa la pérdida de color y los cambios en la superficie que resultan de someter la fibra a una solución detergente y a la acción abrasiva de cinco lavadas típicas, dicha prueba tiene una duración de aproximadamente 45 minutos por lavado⁴⁹.

1.5.2 Solidez del color al agua de mar (AATCC 106). Esta prueba está diseñada para medir la resistencia que presentan las fibras textiles al agua de mar, para ello se sumerge una muestra de la fibra a evaluar junto con tejido de prueba multifibra en agua de mar artificial a condiciones de presión, temperatura y tiempo, en donde se evalúa el cambio de color de la muestra y si existe tinción en la tela de prueba multifibra⁵⁰.

⁴⁸ AATCC Technical Manual. Volumen 85. 2010

⁴⁹ Colorfastness to Laundering: Accelerated. AATCC. En línea tomado el 4 de marzo de 2019
<<https://members.aatcc.org/store/tm61/495/>>

⁵⁰ Colorfastness to Water: Sea. AATCC: en línea tomado el 4 de marzo de 2019
<<https://members.aatcc.org/store/tm106/518/>>

1.5.3 Solidez del color al agua de piscina clorada (AATCC 162). Este método está desarrollado para evaluar la resistencia de la fibra textil al ser sometida al agua de piscina clorada. La muestra de fibra a evaluar es sumergida bajo agitación a una solución de cloro diluido a condiciones de temperatura, pH, tiempo y dureza específicos. Al retirar la muestra de dicha solución se evalúa el cambio de color⁵¹.

1.5.4 Solidez del color a la cocción: método de Crockmeter (AATCC 08). Este método está diseñado para determinar la cantidad de color transferido desde la superficie de materiales textiles coloreados a otra superficie mediante frotamiento. Se emplean cuadrados de tela de prueba blancos, tanto secos como húmedos, la muestra de fibra a evaluar es sometida a presión con la tela de prueba blanca con el equipo conocido como Crockmeter, donde se evalúa la transferencia de color a la tela de prueba mediante la comparación de la escala de grises y la escala de transferencia cromática en donde se asigna una calificación⁵².

⁵¹ Colorfastness to Water: Chlorinated Pool. AATCC. En línea tomado el 4 de marzo de 2019
<<https://members.aatcc.org/store/tm162/562/>>

⁵² Colorfastness to Crocking: Crockmeter Method. AATCC. En línea tomado el 4 de marzo de 2019.
<<https://members.aatcc.org/store/tm8/481/>>

2. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA EN PROTELA S.A.

Con la finalidad de contextualizar el proyecto de grado, en este capítulo se realizará la descripción del proceso actual de teñido de fibras textiles de poliamida en la empresa PROTELA S.A. en donde se identificarán cada una de las etapas y operaciones unitarias que se llevan a cabo, los agentes químicos que intervienen como colorantes y auxiliares de tintura y las condiciones de operación en cada una de las etapas del proceso de teñido. Además, se identificarán a partir de la base de datos de tintorería las referencias de poliamida 6 y poliamida 66 en los tonos que más se procesan con el fin de identificar los posibles problemas de operación que se presentan en dicho proceso.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

PROTELA S.A. es una empresa orgullosamente colombiana con más de 69 años en el mercado. Esta empresa se dedica a la elaboración y comercialización de fibras textiles, en donde se destaca principalmente el tejido de punto y las bases no tejidas de alta calidad. En la cadena textil se integran procesos de diseño, tejeduría, tintorería, estampación, acabados y confección⁵³.

Fue fundada en 1950 por el alemán Alfredo Weil, quien creó una cultura empresarial cimentada en disciplina, responsabilidad y compromiso. Inició como una pequeña empresa ubicada en el barrio Ricaurte en la ciudad de Bogotá D.C., en donde la planta de producción se dedicaba principalmente a la tejeduría, donde creaban telas en fibras de poliamida para la confección de ropa íntima para dama, para ello se implementaba principalmente tecnología Tricot y Rashel. Años después, con el crecimiento de la empresa se incorporaron en la cadena textil procesos de tintorería, acabados y estampación, lo que obligó a la empresa a expandirse, actualmente el área administrativa y la planta de tejeduría se encuentran en la zona industrial de Álamos y la planta de tintorería y acabados en donde se realizó el presente trabajo de grado.

PROTELA S.A. es considerado como líder de investigación y desarrollo, lo que le ha permitido fortalecer la innovación y desarrollar un portafolio de anticipación a las necesidades del mercado. Además, es una empresa que realiza operaciones a nivel local, regional y mundial al contar con un grupo empresarial que abarca toda la cadena textil. La oferta de productos textiles que proporciona PROTELA S.A., se encuentra en diferentes categorías, la línea de vestuario en donde se encuentran

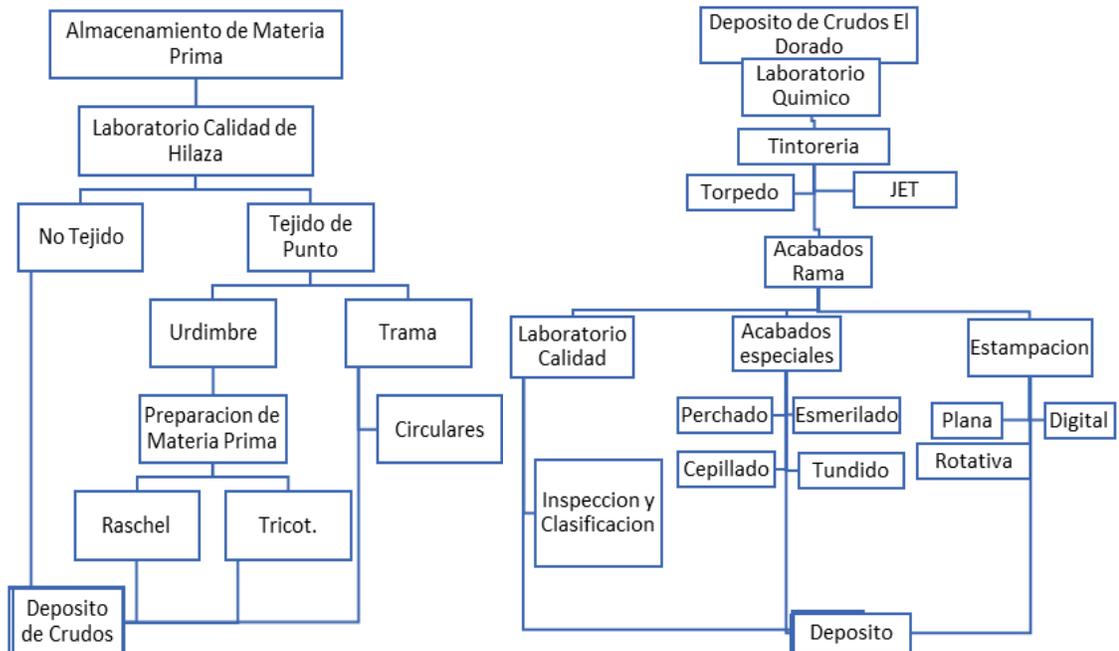
⁵³ PROTELA S.A. Quienes somos. Historia.

fibras para uso de ropa interior, vestido de baño, ropa deportiva y ropa casual o de descanso; la línea decoración para el hogar que son fibras para toallas, ropa de baño, ropa de cama y ropa de cocina, y, la línea industrial que es la tapicería y colchonería.

2.2 DESCRIPCIÓN CADENA TEXTIL PROTELA S.A.

PROTELA S.A. presenta una capacidad instalada de 800 toneladas por mes, donde se abarca toda la cadena textil de tejeduría con tecnologías Circular, Tricot y Raschel, incluyendo procesos de tintorería en fibras de poliamida, poliéster y algodón con procesos continuos y discontinuos, y, toda el área de estampación que cuenta con la capacidad de realizar estampación plana, rotativa y digital. En el diagrama 1 se puede distinguir la cadena textil en cada una de las plantas presentes en Bogotá D.C., en donde se tiene en cuenta que el diagrama de la izquierda representa la planta de tejeduría ubicada en Álamos y el diagrama de la derecha la planta de tintorería y acabados ubicada en la zona industrial de El Dorado.

Diagrama 1. Cadena Textil PROTELA S.A. Bogotá D.C.



Fuente: RODRIGUEZ Sebastián, Iniciamos con pie derecho la experiencia PROTELA. 2017. Tomado el 4 de abril en línea disponible en <<https://prezi.com/yrfi37yfswwf/iniciamos-con-pie-derecho-la-quotexperiencia-protelaquot/>>

La cadena textil de Protela inicia en la planta de tejeduría, dando origen a la fabricación de telas, ya sea en fibras de poliamida, algodón o poliéster, utilizando

tecnología Circular, Tricot y Rashel, donde se procesan aproximadamente 0,7m/min. Posteriormente, en esta misma zona se realiza un prefijado en el Fourlard, donde la tela es sometida a un baño químico, para después pasar por una serie de campos térmicos que fijan las características de la tela y la limpian. Una vez se termina esta etapa, se almacena la tela en rollos de 1000 kilos aproximadamente, las cuales son transportadas a la planta de tintorería y acabados ubicada en El Dorado. En la planta de tintorería se realiza inicialmente una preparación de la tela; ésta pasa por una máquina plegadora que se encarga de desenrollar la tela que se va a utilizar en el proceso de teñido. Los procesos de teñido tienen aproximadamente una duración de 5 horas cuando se tiñen tonos claros y hasta de 12 horas cuando se tiñen tonos oscuros y medios. Las etapas en el área de tintorería son las siguientes⁵⁴:

- Preparación de la tela para el proceso de tintura, se toma la referencia y la masa de tela que se pretende teñir.
- Programación electrónica de la máquina Jet o Torpedo, para el proceso de curva de tintura según el tipo de fibra a teñir.
- Preparación del baño de tintura, en donde se determina la cantidad de auxiliares de tintura según la capacidad de la máquina a operar.
- Se carga la máquina con la fibra a teñir, por ser un proceso feed-back se sella la máquina y se realiza el proceso de teñido, teniendo en cuenta la curva de tintura y la alimentación de los auxiliares que requiere el proceso.

Se realiza el acabado final, donde la tela vuelve a pasar por un Fourlard y por diferentes campos térmicos, se procesan aproximadamente 15,83m/min. Esta etapa tiene la finalidad de secar la tela y fijar las características de la tintura, según las especificaciones del cliente, como la resistencia a la luz, al agua, a la temperatura, entre otros. Por último, se evalúa la calidad del producto según la normativa de la Asociación Americana de Químicos y Colorantes Textiles (AATCC), donde se somete la fibra a diferentes condiciones como lavado, frote, entre otras.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL DE TEÑIDO DE FIBRAS DE PA

El teñido de fibras textiles es una técnica milenaria utilizada por el ser humano, la cual consiste en tomar una fibra textil que se encuentre en contacto con una solución colorante y al someterse a condiciones de pH y temperatura específicas, el colorante se integra a la fibra. ⁵⁵

⁵⁴ RODRIGUEZ Sebastián, Iniciamos con pie derecho la experiencia PROTELA. 2017

⁵⁵ MOLDAVAN, Simona. Investigación del proceso de tintura sobre tejidos de algodón con colorantes naturales extraídos de micro y macroalgas. Universidad Politécnica de Valencia 2016

PROTELA S.A. a diferencia de otras industrias colombianas basa su cadena textil en la producción y teñido de fibras de poliamida, ya que al evaluar la base de datos de tintorería se encontró que más del 50% de la capacidad instalada correspondía al teñido y acabado de dichas fibras textiles. Para entender el proceso de teñido actual de fibras de poliamida es necesario identificar inicialmente el tipo de materias primas que se implementan durante el proceso, conocer las condiciones de operación y conocer los resultados de calidad de los lotes teñidos actualmente.

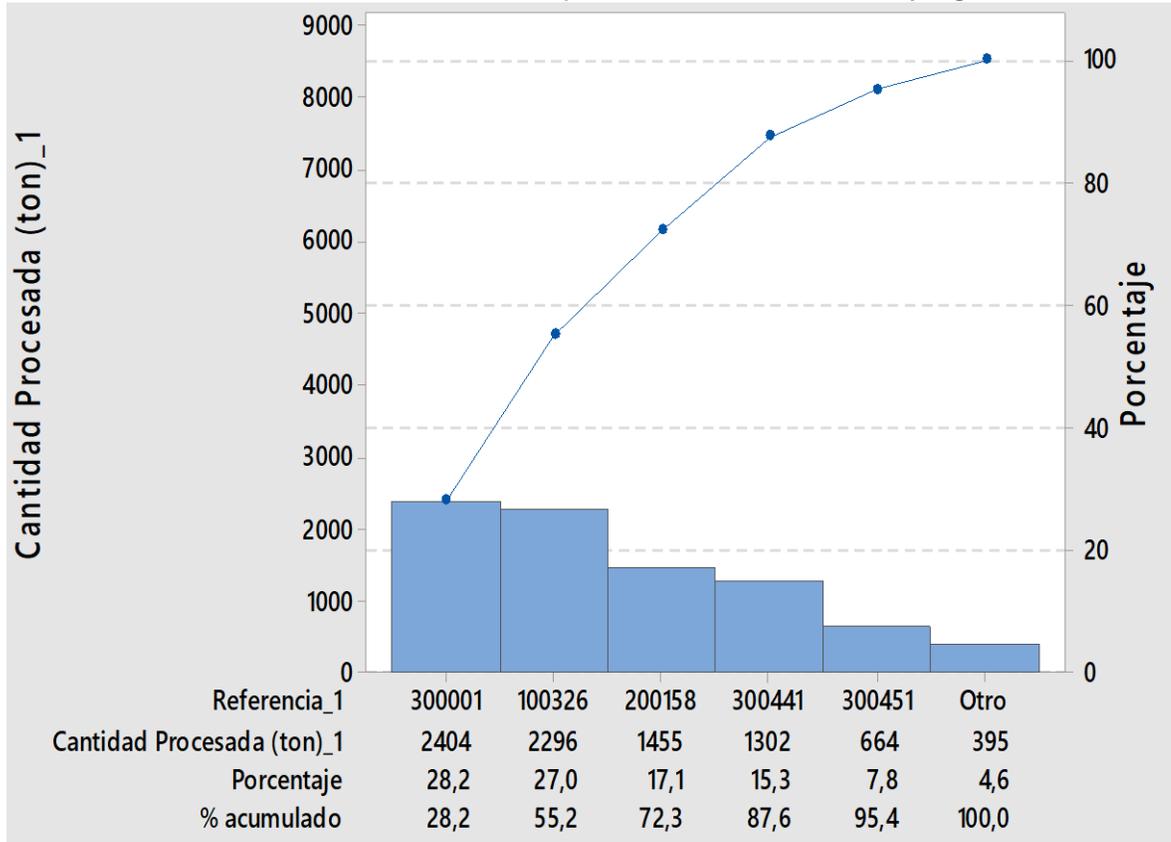
2.3.1 Materias Primas. Las materias primas requeridas por PROTELA S.A. en el proceso actual de teñido son principalmente las telas de fibras de poliamida, las cuales provienen de la planta de tejeduría de esta misma empresa, los colorantes y auxiliares de tintura como blanqueadores ópticos, igualadores, detergentes, fijadores, dadores de ácido, entre otros, los cuales tienen diferente origen dependiendo el proveedor. Estos colorantes y auxiliares de tintura deben estar certificados a nivel mundial cumpliendo con la normativa OEKO-TEX, deben contar con la ficha técnica y de seguridad, con el fin de asegurar la calidad del producto final.

2.3.1.1 Telas con fibras de Poliamida (PA) Como se dijo anteriormente, una de las materias primas de mayor importancia es la tela de fibras de poliamida, que de acuerdo con su uso se distinguen fibras de poliamida 6 y fibras de poliamida 66. Dichas telas son procedentes de la planta de tejeduría de PROTELA S.A ubicada en la zona industrial de álamos.

Teniendo en cuenta la base de datos de tintorería en un periodo de tiempo entre enero y agosto de 2018, se procesaron aproximadamente 77274 toneladas de telas con fibras de poliamida, que representan un total de 450 referencias de telas con dicha fibra, una referencia se diferencia una de la otra en el tipo de poliamida a implementar, la procedencia de las fibras de poliamida, el diámetro del hilo que se utiliza para el tejido de la tela, la distancia entre hilo e hilo en la estructura del tejido, el porcentaje de poliamida que contiene la fibra y el tipo de tecnología que se implementó en el proceso de tejido e hilado, la cual puede ser Tricot, Rachel o circular.

Al analizar la base de datos de tintorería se encontró que las referencias más procesadas son la referencia 300001 conocida como dorcas, la 100326 conocida como noraba y la 200158 conocida como encaje como se observa a continuación en el grafico 2. En dicha grafica se observa el Pareto con las 6 referencias más procesadas durante el periodo de enero a agosto de 2018 las cuales representan únicamente el 11% de las referencias procesadas que equivale a 8516 toneladas, el 89% restante representan las 68758 toneladas de las 444 referencias restantes.

Gráfica 2. Paretos referencias PA más procesadas entre enero y agosto de 2018



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

La referencia 300001 o Dorcas, como se observa en la gráfica 2 representa 2404 toneladas, dicha tela está formada por fibras de poliamida 66 (78%). Es una base textil lisa de alto desempeño, diseñada para la confección de prendas deportivas, gracias a su estructura y su contenido de elastano (22%) brinda un óptimo ajuste, soporte muscular y libertad de movimiento.

De la referencia 100326 o noraba se procesaron 2296 toneladas, dicha tela está formada por 84% de poliamida 6 y 16% de elastano. Es una base lisa con alto peso lo que le proporciona una excelente cobertura y protección. Especialmente diseñada para ropa de baño y ropa deportiva, presenta un óptimo ajuste y soporte muscular.

De la referencia 200158 o encaje se procesaron 1455 toneladas, dicha tela está formada por fibras de poliamida 6 (76%) y elastano (24%). Es un tejido ornamental, el cual se compone de dos partes el tul y el diseño o blonda. En los encajes se realizan formas bien definidas como flores, hojas, círculos, cuadrados o rectángulos. Se implementa principalmente en ropa interior femenina. Presenta una resistencia a la ruptura baja.

2.3.1.2. Colorantes y Auxiliares de tintura implementados en el proceso actual de teñido de fibras de poliamida. En el proceso de teñido de fibras de poliamida como para cualquier proceso de teñido de fibras textiles además de implementar colorantes para impartir color a las fibras textiles, se requieren diferentes auxiliares de tintura como igualadores, dadores de ácido, fijadores y detergentes en el baño de tintura con el fin de mejorar la igualación, dispersión y penetración de los colorantes sobre la fibra.⁵⁶

Según la base de datos de tintorería entre enero y agosto de 2018 los tonos más procesados son el negro, el blanco, el azul, el vinotinto, el beige, el rojo y el café como se observa a continuación en la gráfica 3, estos tonos presentaron problemas en los resultados de calidad tales como:

- Los resultados en las pruebas de solidez al lavado (AATCC61), solidez al color al agua de mar (AATCC106), solidez del color al agua de piscina clorada (AATCC162) y las pruebas de Crockmeter: al frote seco y al frote húmedo (AATCC08) no cumplían con los estándares, puesto que los resultados eran iguales o menores a 3.5, en donde se tiene en cuenta que dichas pruebas son evaluadas en una escala de 1 a 5 y resultados superiores a 3.5 son aceptados por PROTELA S.A., en las pruebas de solidez se evalúa la transferencia de color representada con la letra A, el cambio de color representado con la letra B y el desangre representada con la letra C. Estas pruebas se realizan en el laboratorio de calidad, se utilizan el siguiente formato para consignar los resultados obtenidos.

Tabla 1. Formato Resultados Pruebas de Solidez

Prueba	A	B	C
Lavado (AATCC61)			
Piscina (AATCC162)			
Mar (AATCC106)			
Frote Seco			
Frote Húmedo			

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

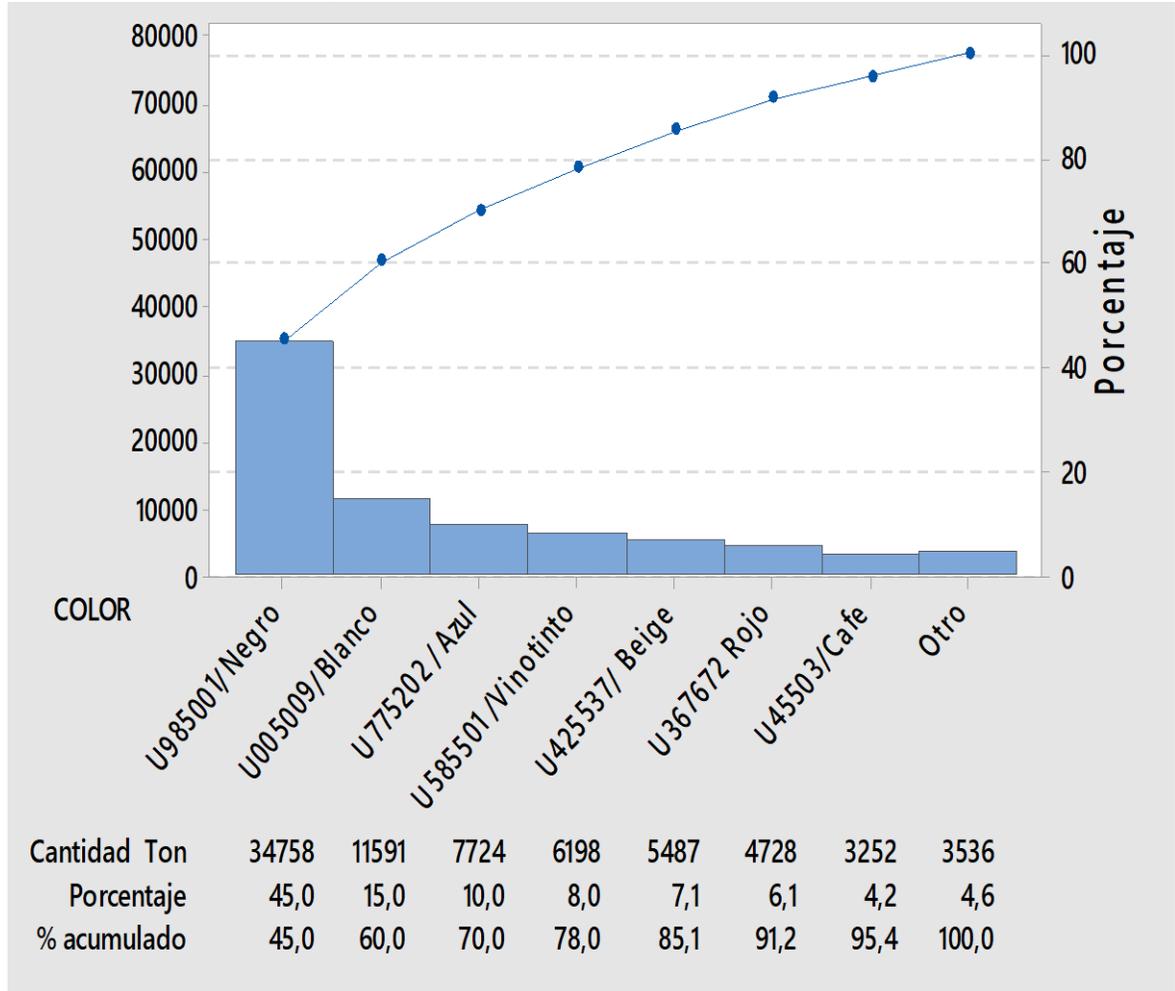
- En ocasiones los tonos no se cumplen al ser evaluados por las coordenadas CIEL LAB, esta se evalúa en el espectrofotómetro con respecto a un patrón en donde se obtienen un delta los cuales para todos los tonos a excepción del tono blanco deben ser muy cercanos a cero, los deltas son como se explicaba en el marco

⁵⁶ BERNABE Nina. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida. Parte I. Universidad Mayor de San Andrés

teórico el dl que representa la luminosidad, da representa las coordenadas rojo/verde y db que presenta las coordenadas azul/amarillo.

- Mala igualación, por lo tanto, se encontró sobre las fibras mareo, rayado, teñido desigual y manchas. La igualación se evalúa de manera visual en una cabina de tonos.

Gráfica 3. Tonos más procesados en fibras de poliamida



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

Respecto a la información recopilada anteriormente y a partir de la base de datos de tintorería, se identificaron como se observa en la tabla 2 los colorantes y auxiliares de tintorería que mayor consumo presentan en el proceso de teñido y blanqueo y aquellos que intervienen para el procesamiento de los tonos presentados en la gráfica 3.

Tabla 2. Colorantes y auxiliares de tintura con mayor consumo implementados en el proceso de teñido de fibras de poliamida en el periodo de enero a agosto de 2018.

Colorante/ Auxiliar de tintura	Consumo (Kg)	Precio (1Kg)	Costo Total
Colorante Negro Actual	8529.02	\$ 59.420	\$ 506.794.368
Fijador Actual	16228.37	\$ 13.570	\$ 220.218.981
Blanqueador Óptico Actual	4525.67	\$ 45.240	\$ 204.741.311
Igualador Actual	12328.33	\$ 13.470	\$ 166.062.605
Detergente Actual	9952.43	\$ 12.670	\$ 126.097.288
Dador de Ácido Actual	5713.42	\$ 19.600	\$ 111.983.032
Colorante Rubí Actual	1884.90	\$ 49.850	\$ 93.962.265
Colorante Rojo Bri Actual	54.27	\$ 156.130	\$ 8.473.175
Colorante Amarillo Bri Actual	20.31	\$ 118.230	\$ 2.401.251
Colorante Turquesa Actual	569.66	\$ 51.210	\$ 29.172.289
Colorante Azul Actual	3280.53	\$ 98.020	\$ 321.557.551
Colorante Amarillo	2142.38	\$ 81.430	\$ 174.454.003
			\$1.965.918.119

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

Para entender el proceso de teñido de fibras de poliamida en PROTELA S.A., es necesario conocer la función que cumple cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura descritos en la tabla 2, y de esta manera encontrar la razón por la cual se presentan malos resultados en las pruebas de calidad.

- **Blanqueador óptico Actual.** Los blanqueadores ópticos son productos que absorben la radiación del espectro ultravioleta (invisible para el ser humano) y lo retoman en color visible dentro de la gama violeta-azul. Se utilizan principalmente para alcanzar grados superiores de blanco.⁵⁷ A partir de la base de datos de tintorería, se encontró que aproximadamente el 15% de la producción de fibras de poliamida corresponde al procesamiento del tono blanco.

Para la producción de fibras con alto nivel de blancura en el proceso actual de blanqueo se implementa principalmente como auxiliar de tintura el blanqueador óptico descrito en la tabla 2, que presenta un consumo mensual de aproximadamente 502.85Kg/mes. Según la ficha técnica de dicho blanqueador óptico, este auxiliar de tintura es un agente fluorescente con matiz azul/verde de carácter aniónico el cual es estable en pH de 2-10. Se puede implementar en concentraciones entre 0.5% y 3% con respecto al peso de la tela a procesar.

⁵⁷ LOCKUÁN. Fidel. Nov 2012. La industria textil y su control de calidad. En línea. Tomado el 4 de marzo de 2019 <https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad>

Este auxiliar de tintura se emplea con una curva de tintura por agotamiento en donde se debe asegurar temperaturas entre 98°C y 105°C. Es un auxiliar de tintura que se puede implementar para el blanqueo tanto de fibras de poliamida 6 como fibras de poliamida 66.

En el proceso actual de blanqueo se implementa una solución matizante que tiene como finalidad aumentar el matiz rojo de la fibra textil y de esta manera aumentar el espectro azul-violeta y generar niveles elevados de blancura. A pesar de que tanto el blanqueador óptico como la solución matizante presentan una alta afinidad por las fibras de poliamida, se encontró que en el mes se presentan 3 reprocesos ya que el tono no cumple con las coordenadas CIE LAB las cuales para el tono blanco deben estar en los siguientes límites:

Tabla 3. Límites coordenadas CIE LAB tono blanco

Delta	Rango
DL	-1 y 1
DA	-1 y 1
DB	-2.5 y -1.5

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

Los reprocesos se deben principalmente a que no existe un manejo adecuado de la solución matizante la cual requiere una constante agitación ya que tiende a precipitarse, por lo tanto, cambia su concentración afectando el tono blanco y en ocasiones generando manchas y teñido desigual.

- **Colorantes Actuales.** Los colorantes actualmente implementados en el proceso de teñido de fibras de poliamida son colorantes ácidos los cuales según la ficha técnica presentan una alta afinidad por las fibras de poliamida 6 y poliamida 66, su alta afinidad se debe a la presencia de grupos amida en la cadena de fibras de poliamida, los cuales al aumentar la temperatura entre 95°C y 105°C se liberan dichos grupos de la cadena, lo que disminuye el pH del baño de tintura a 4 y permite que el colorante ácido cargado negativamente sea atraído hacia los sitios positivos en la fibra formando de esta manera enlaces electro-covalentes. Sin embargo, a pesar de la información suministrada por las fichas técnicas, se encontró que los colorantes negro, azul, amarillo brillante, amarillo, rojo brillante y turquesa registrados en la tabla 2 presentan malos resultados de calidad, ya que los resultados en las pruebas de solidez son menores a 3.5 y al formar tricromías se presenta teñido desigual, rayado, mareo y en ocasiones manchas sobre las fibras.

Los malos resultados en las pruebas de solidez se deben a que los colorantes presentan únicamente un grupo sulfónico, por lo tanto, son poco solubles en

agua, lo que afecta el proceso de teñido ya que el colorante no reacciona de manera homogénea sobre la fibra durante la curva de tintura por agotamiento.

- **Dador de ácido Actual** El dador de ácido o la solución Buffer se implementa para asegurar el valor requerido de pH sobre el sustrato y en el baño de tintura. En la mayoría de los casos se considera el dador de ácido como un catalizador el cual permite que al aumentar la temperatura entre 98°C y 115°C el pH sea estable y los enlaces amida sean librados al baño de tintura de manera que el colorante sea atraído y forme enlaces electro-covalentes con los espacios positivos de la fibra.

Con respecto a la ficha técnica se encontró que el dador de ácido actual es un compuesto no aniónico soluble en agua y en soluciones ácidas, permite que el pH sea estable en el proceso de teñido por agotamiento. Este se implementa en el 85% de los procesos de teñido de fibras de poliamida, se trabaja en concentraciones entre 0.5 y 1g/L. Este auxiliar de tintura presenta una alta afinidad por las fibras de poliamida 6 y de poliamida 66 lo que permite buenos resultados de calidad ya que se presenta un teñido homogéneo. Sin embargo, esta materia prima no presenta una buena disponibilidad entre los meses de febrero y marzo lo que conlleva a un aumento del costo de este auxiliar de tintura en un 30%.

- **Igualador Actual** A pesar de que los colorantes ácidos presentan una alta afinidad con la poliamida, en ocasiones, existe una baja difusión del colorante sobre la fibra, lo que provoca teñido desigual, rayado, mareado que se resume en la obtención de un tono disparejo, disminuyendo las características de calidad de la fibra textil. Los igualadores de teñido son productos que ayudan en la penetración del baño de tintura en el sustrato (fibra poliamida), mejorando la uniformidad del agotamiento y evita la aparición de manchas, rayado o mareo.⁵⁸

Según la ficha técnica el igualador de poliamida actual es un agente de migración con alta afinidad por las fibras de poliamida, permite bajo condiciones de pH (3-4.5) y temperatura (98°C y 105°C) que el colorante sea absorbido de manera uniforme a lo largo de la fibra.

Químicamente este auxiliar de tintura está constituido por una combinación de tensoactivos aniónicos y etoxilatos de amina, es altamente estable en agua y en soluciones ácidas. Este auxiliar de tintura no solo se implementa en el proceso de teñido sino también en el pretratamiento, lo que permite mejorar los resultados

⁵⁸ LOCKUÁN. Fidel. Nov 2012. La industria textil y su control de calidad. En línea. Tomado el 4 de marzo de 2019 <https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad>

de calidad. En el pretratamiento se realiza un descruce a 98°C durante 20 minutos, este pretratamiento presenta una confiabilidad del 90%, en la cual se pretende eliminar el teñido desigual, el rayado y el mareo, mejorando los resultados de calidad.

- **Detergente actual:** Los detergentes son mezclas de sustancias no iónicas o aniónicas, que actúa sobre la tensión superficial de los baños de tratamiento, con el fin de deshacer y eliminar la suciedad de los sustratos. Además, los detergentes son utilizados al igual que los fijadores para mejorar los resultados de las pruebas de calidad, pues permiten eliminar el colorante que no reaccionó con la fibra.⁵⁹

Según la ficha técnica el detergente actual químicamente es un derivado de etoxilatos y grasas ácidas, el cual es estable entre pH de 4 y 6, se utilizan concentraciones entre 1 y 2g/L según la intensidad del tono a trabajar. La curva de tintura implementada se da por agotamiento a una temperatura de 80°C durante 20 minutos. Este auxiliar de tintura presenta una alta afinidad por las fibras de poliéster, por lo cual no elimina completamente el colorante que no reacciona con la fibra de poliamida, por esta razón no se cumplen con las pruebas de solidez y para tonos oscuros como el azul, el vinotinto y el negro se requieren entre 2 y 3 lavados. Este auxiliar de tintura no genera teñido desigual, manchas ni afecta el tono del producto final. Además, es amigable con el medio ambiente al estar registrado por la legislación ZDHC que contempla la lista de compuestos que pueden estar presentes en las fibras textiles y que no son perjudiciales para el ser humano.

- **Fijador Actua:** Los fijadores para poliamida son productos que se implementan para el tratamiento posterior del proceso de teñido, el cual tiene como finalidad mejorar la calidad del teñido y a la vez, el resultado de las pruebas de solidez. Estos reaccionan iónicamente con las moléculas de los colorantes anclados a la fibra de poliamida, de manera que el colorante que no reacciona completamente con la fibra es eliminado, por ende, se mejoran las pruebas de calidad⁶⁰.

Según la ficha técnica este auxiliar de tintura el cual es un polímero de sulfonato aromático de carácter aniónico, fácilmente soluble en agua, es un producto especial para el fijado de tejidos de poliamida con colorantes ácidos, mejora las pruebas de calidad y la resistencia al lavado.

⁵⁹ LOCKUÁN. Fidel. Nov 2012. La industria textil y su control de calidad. En línea. Tomado el 4 de marzo de 2019 <https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad>

⁶⁰ LOCKUÁN. Fidel. Nov 2012. La industria textil y su control de calidad. En línea. Tomado el 4 de marzo de 2019 <https://issuu.com/fidel_lockuan/docs/v._la_industria_textil_y_su_control_de_calidad>

Presenta una excelente estabilidad en máquinas de alta turbulencia y no permite la formación de manchas sobre la fibra. Para el proceso de fijado luego del teñido de las fibras de poliamida es necesario que el baño de tintura presente un pH bajo entre 4 y 5 y a una temperatura de operación de 80°C. Las concentraciones para implementar el fijador dependen del tono que se está trabajando, ya que para tonalidades oscuras se utiliza una mayor concentración. El rango establecido por el proveedor se encuentra en un rango de concentración entre 3 y 4.5%.

Sin embargo, al evaluar la base de datos de tintorería se encontró que el fijador actual no logra los resultados esperados según la ficha técnica ya que, en tonos oscuros como el negro, el azul y el vinotinto se requieren hasta 3 fijados para obtener resultados aceptables en las pruebas de solidez las cuales deben ser mayores a 3.5.

2.3.2 Condiciones de Operación teñido de fibras de poliamida. El teñido de fibras de poliamida es un proceso tipo batch, el cual se realiza en Jet o Torpedos según algunas características de la fibra y la afinidad del colorante con dicha fibra. El torpedo es una máquina de tinte para textiles, se asimila a una autoclave, formado por una bomba de circulación reversible dentro-fuera y fuera-dentro con inversor, indicando que en el proceso de teñido la tela se encuentra estática y el baño de tintura se distribuye de manera uniforme sobre la superficie de la tela de manera circular, ocurriendo el teñido de la fibra de poliamida.

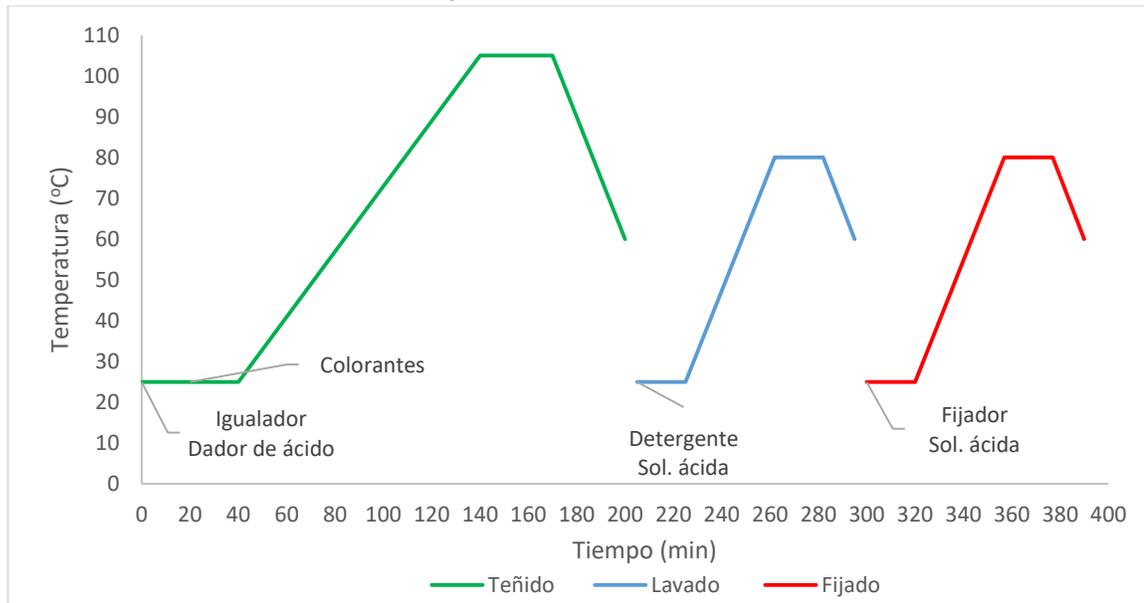
Por su parte, el Jet es una máquina de tintura, en ella, el tejido es arrastrado por el baño de tintura impulsado por una bomba a través de la tobera, creando un flujo de líquido que impregna al tejido y ocurriendo así el proceso de teñido de la fibra de poliamida⁶¹.

El proceso de teñido actual de fibras de poliamida de PROTELA S.A. se realiza por agotamiento, siguiendo las especificaciones de la curva de tintura descrita en la gráfica 4. Una curva de tintura es la representación gráfica del proceso de tintura en donde se tiene en cuenta el tiempo, la temperatura y el momento en que debe ser dosificados cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura. ⁶²

⁶¹ SOLÉ, Antonio. Máquinas de tintura por agotamiento. En línea tomado el 4 de marzo de 2019 <<https://asolengin.files.wordpress.com/2014/09/mc3a1quinas-de-tintura-por-agotamiento1.pdf>>

⁶² MOLINA, Fredy. Teñido de fibras celulósicas con colorantes reactivos. Colegio de Ingenieros de Perú. En línea tomado el 10 de julio de 2019. <<https://es.slideshare.net/Nicolas1964/teido-de-algodn-con-colorantes-reactivos>>

Grafica 4. Curva de tintura del proceso actual.



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

Como se observó en la gráfica 2 más del 73.3% corresponde a tonos oscuros y medios por lo cual es necesario realizar un proceso de lavado y fijado luego del proceso de teñido, es de esta manera y como se evidencia en el gráfico 4 el proceso de teñido de fibras de poliamida se realiza en 3 etapas: teñido, lavado y fijado.

- **Etapa 1: Teñido.** Para entender el proceso se tomó como referencia un lote de 400 Kilogramos de tela dorcas. Inicialmente se carga la fibra a la máquina de tintura de manera manual, una vez se ha realizado dicha actividad se cierra la máquina de tintura y se adiciona el volumen de agua necesario para cumplir con la relación de baño 1:10 (por 1Kg de tela 10 L de agua) en este caso serían 4000L. La fibra que se carga a la máquina previamente fue sometida a un pretratamiento con el fin de eliminar aquellas impurezas y aceites que la tela adquirió en el proceso de tejeduría, esta etapa del proceso se lleva a cabo en la planta de tejeduría de PROTELA S.A.

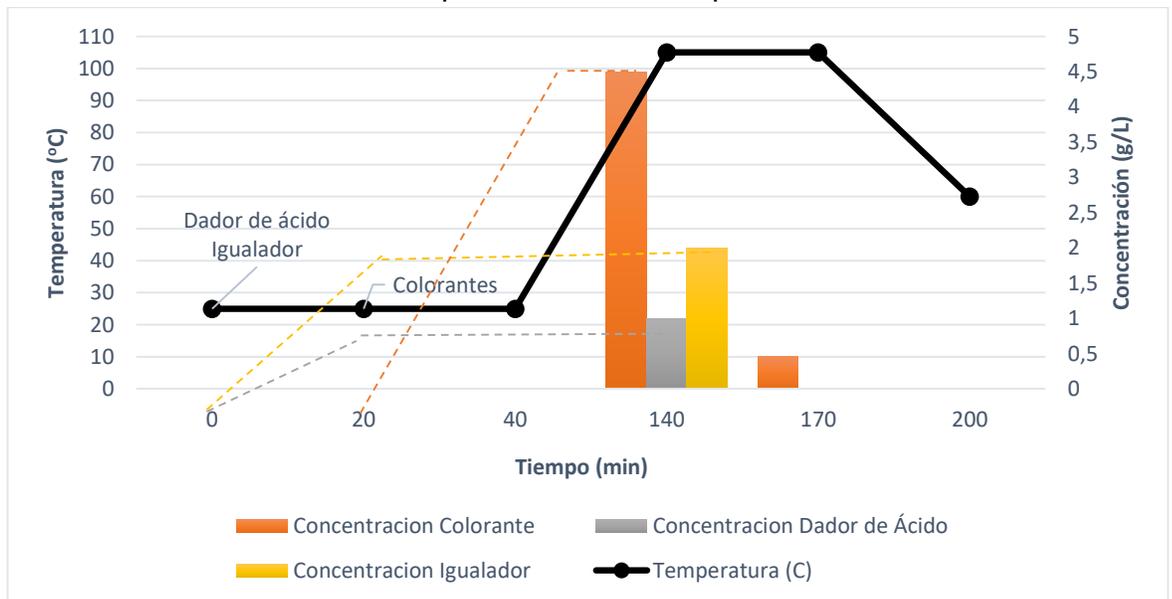
Una vez se ha cargado la tela en la máquina de tintura y se ha adicionado el volumen necesario de agua, se adicionan por medio de un tanque dosificador a temperatura ambiente durante 20 minutos los auxiliares de tintura requeridos, los cuales son el dador de ácido y el igualador. En ocasiones se implementan otros auxiliares de tintura como antiespumantes, protectores o antiebraduras que permiten mejorar la calidad del producto final. Una vez se dosifican los

auxiliares de tintura se adicionan durante 20 minutos los colorantes requeridos en el proceso a temperatura ambiente. Es necesario controlar el pH inicial del baño de tintura el cual se debe encontrar en un rango entre 6.5 y 7.

Posteriormente, se aumenta la temperatura hasta 105°C con un gradiente de 0.8°C/min, como se explicó anteriormente la temperatura óptima de teñido de fibras de poliamida debe estar en un rango entre 95°C y 105°C, ya que los grupos amida presentes en la cadena de estas fibras se liberan al baño de tintura lo que disminuye el pH de éste a 4.5, lo que permite que el colorante ácido cargado negativamente reaccione con la fibra de poliamida formando enlaces electro covalentes. Como se observa en la gráfica 5 en el minuto 140 se alcanza la temperatura de 105°C, la concertación del colorante y el auxiliar de tintura es la misma a la cual fueron alimentados al iniciar el proceso. Se mantiene dicha temperatura durante 30 minutos. A medida que transcurre el tiempo, la concentración del colorante y los auxiliares de tintura disminuye en el baño de tintura.

Finalmente se disminuye la temperatura a 60°C con un gradiente de 2°C/min y se descarga únicamente el baño de tintura. Antes de descargar el baño de tintura se debe tomar el pH final de éste, el cual es una medida inicial que indica si el colorante agotó de manera correcta sobre la fibra de poliamida. El pH final debe encontrarse en un rango entre 4 y 4.5.

Grafica 5. Curva de tintura etapa teñido fibras de poliamida

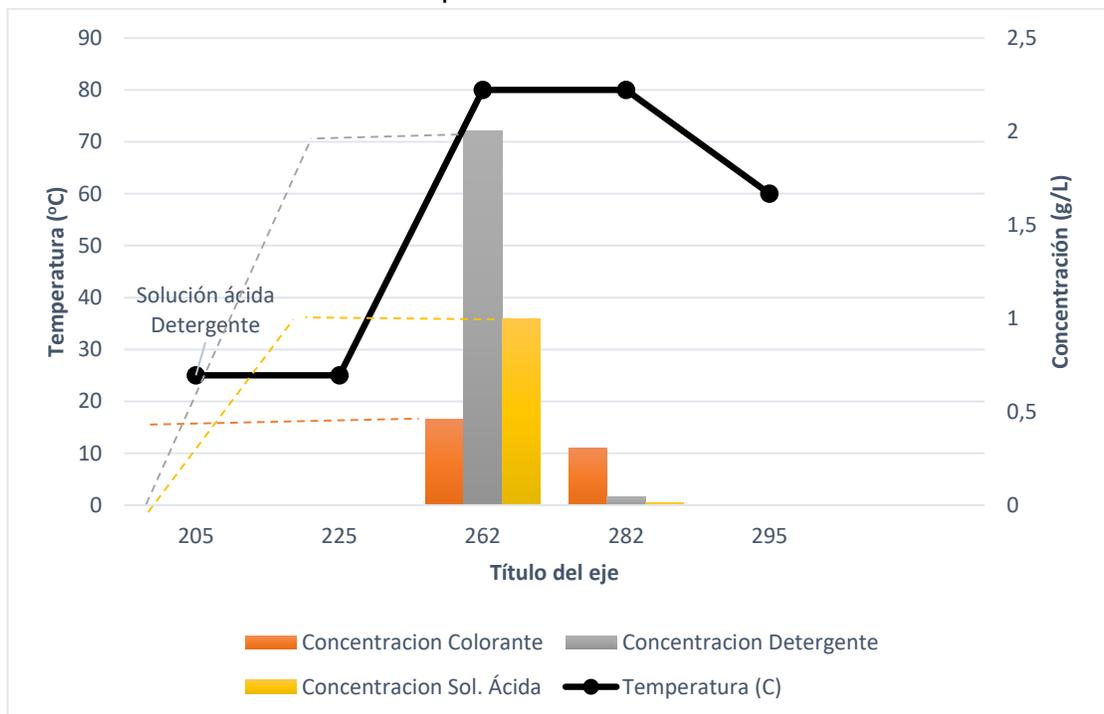


Fuente: elaboración propia, con base en PROTELA S.A

- Etapa 2: Lavado.** El colorante no reacciona completamente con la fibra y cierto porcentaje de este queda en la superficie de la tela. En esta etapa del proceso se adiciona nuevamente a la máquina de tintura el volumen de agua necesario para cumplir con la relación de baño 1:10, como en ningún momento se descarga la tela, se asume que la masa de esta es la masa inicial (400Kg en este caso).

Posteriormente durante 20 minutos se adiciona el detergente y la solución ácida, con el fin de eliminar el colorante que no reaccionó. Se aumenta la temperatura a 80°C con gradiente de 1.5°C/min. Dicha temperatura se mantiene 20 minutos, en donde la concentración del detergente, del colorante y la solución ácida disminuye como se observa en la gráfica 6. Finalmente se disminuye la temperatura a 60°C con un gradiente de 1.5°C/min y se descarga únicamente el baño de tintura.

Grafica 6. Curva de tintura etapa de lavado.



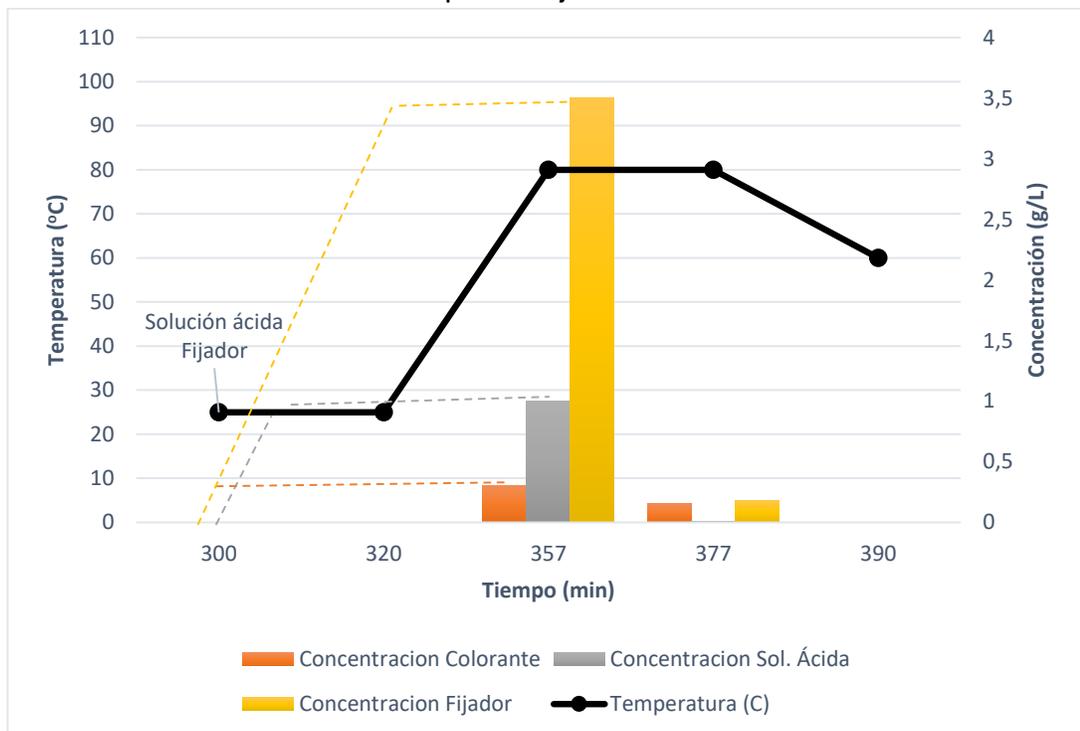
Fuente: elaboración propia, con base en PROTELA S.A

- Etapa 3: Fijado.** El colorante que no se logró retirar de la superficie de tela en la etapa de lavado se debe fijar a la fibra por medio de un fijador de poliamida y una solución ácida con el fin de mejorar las pruebas de solidez. Se adiciona volumen de agua necesario (4000L en este caso) para asegurar la relación de baño 1:10. Posteriormente se dosifica durante 20 minutos el fijador y la solución

ácida. Se aumenta la temperatura a 80°C a un gradiente de 1.5°C/min. Una vez se alcanza la temperatura de 80°C, inicia la reacción entre la fibra, el colorante y el fijador en donde a medida que pasa el tiempo se disminuye la concentración del fijador, la solución ácida y el colorante en el baño de tintura como se observa en la gráfica 7.

Finalmente se disminuye la temperatura a 60°C y se descarga el baño de tintura, y de manera manual se descarga la tela de la máquina y esta es llevada a acabado en ramas en donde es sometida a secado a temperaturas mayores a 100°C

Grafica 7. Curva de tintura Etapa de Fijado.



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

2.3.2.1 Balance de Materia Proceso de teñido de fibras de poliamida. A continuación, en el diagrama 3 se evidencia el esquema de proceso del teñido de fibras de poliamida, el cual como se dijo anteriormente es un proceso de teñido tipo batch. De la misma manera como se describió el proceso para realizar el balance se tomó como base de cálculo un lote de 400Kg de fibra y los datos de las concentraciones de cada uno de los colorantes y auxiliares reportados en la base de datos de tintorería que se encuentran a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Concentración de colorantes y auxiliares de tintura implementados en el proceso de teñido actual de fibras de poliamida.

Etapa del Proceso	Colorante/Auxiliar de tintura	Concentración
Pretratamiento	Igualador	2%
	Detergente	2g/L
Teñido	Colorantes Ácidos	4.5%
	Igualador	2%
	Dador de ácido	1g/L
Lavado	Detergente	2g/L
	Solución ácida	1g/L
Fijado	Fijador	3.5%
	Solución ácida	1g/L

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

Las concentraciones de los colorantes y auxiliares de tintura se encuentran en los en los rangos estipulados de las fichas técnicas e indican la masa de los colorantes y auxiliares de tintura que debe ser alimentada al reactor. La masa de los auxiliares de tintura cuyas concentraciones se encuentran registradas en g/L se halla con respecto al volumen del baño de tintura. Mientas que la masa de los colorantes y los auxiliares de tintura que se encuentran reportada como porcentaje se hallas con respecto a la masa de la tela. Como se observa a continuación en la ecuación 3 y 4 respectivamente.

Ecuación 3. Masa auxiliar de tintura cuya concentración se encuentra en g/L

$$m_{cg} = \frac{C_A * V}{C_s}$$

Donde

C_A es la concentración del colorante o auxiliar de tintura en g/L reportada para el proceso (Tabla 4)

V es el volumen del baño de tintura (L)

C_s es la concentración de la solución a la que se encuentra el auxiliar de tintura la cual se encuentra en %

m_{cg} es la masa del colorante o auxiliar de tintura que se alimenta al reactor (Kg)

Ecuación 4. Masa colorantes y auxiliares de tintura cuya concentración se encuentra reportada en porcentaje

$$m_{cp} = \frac{C_A * m_f}{C_s}$$

Donde

C_A es la concentración del colorante o auxiliar de tintura cuya concentración se encuentra reportada en porcentaje (Tabla 4)

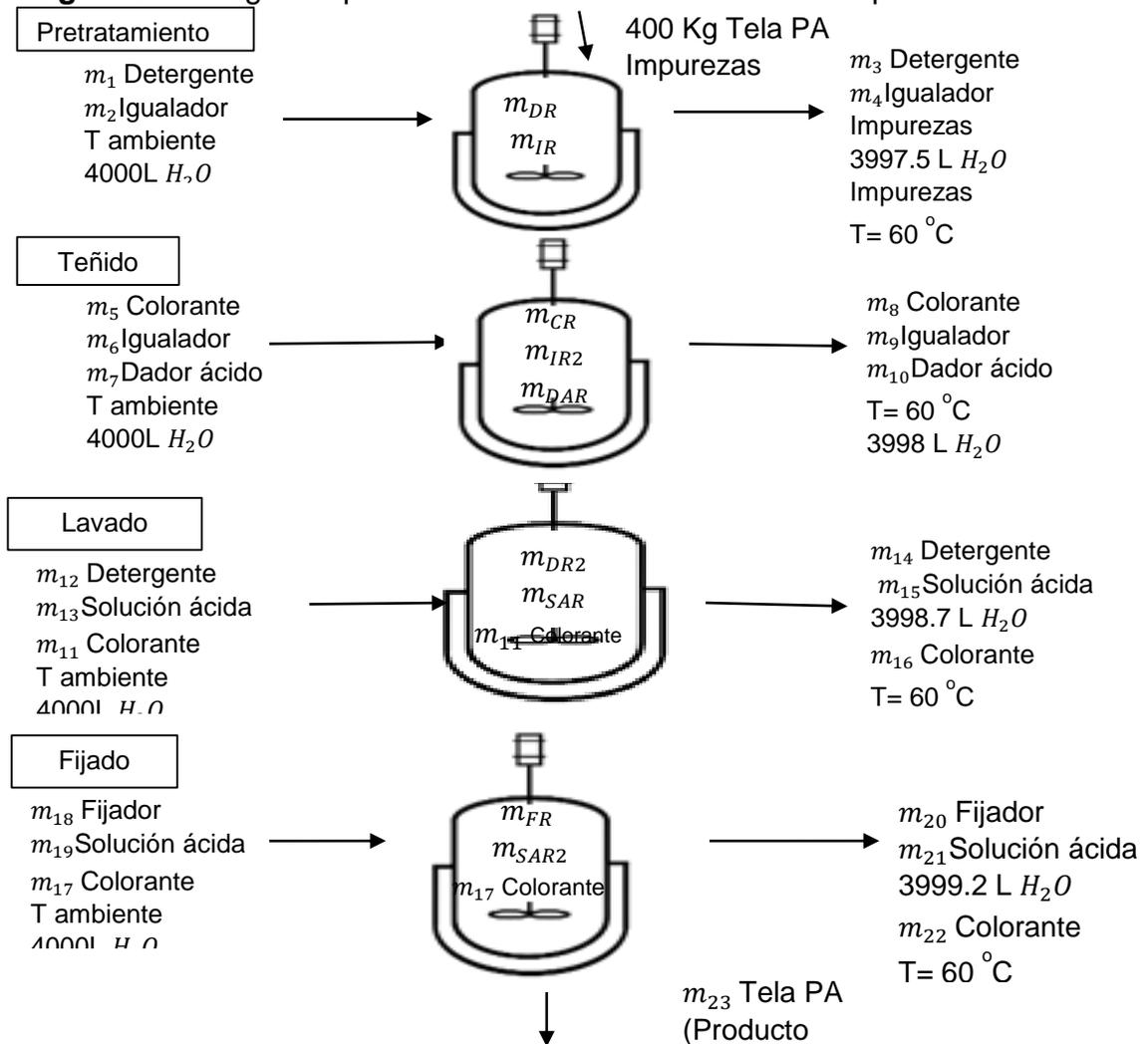
m_f es la masa de la fibra (Kg)

C_s es la concentración de la solución a la que se encuentra el auxiliar de tintura la cual se reporta en %

m_{cp} es la masa del colorante o auxiliar de tintura que se alimenta al reactor (Kg)

Para realizar el balance de materia es necesario tener en cuenta que cada una de las etapas del proceso de teñido de fibras de poliamida explicadas anteriormente (pretratamiento, teñido, lavado y fijado), se realizan en el mismo reactor, es decir que como se explicó anteriormente, la fibra de poliamida a teñir no sale en ningún momento de este, entonces, para conocer la masa inicial de colorantes y auxiliares de tintura a alimentar en cada etapa se tiene en cuenta la masa inicial de la fibra. A continuación, en el diagrama 2 se evidencia el esquema del proceso de teñido de fibras de poliamida.

Diagrama 2. Diagrama proceso actual de teñido de fibras de poliamida



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

En donde:

m_{DR}: Masa detergente que reacciona con la fibra de poliamida en el pretratamiento

m_{IR}: Masa igualador que reacciona con la fibra de poliamida en el pretratamiento

m_{CR}: Masa colorante que reacciona con la fibra de poliamida

m_{IR2}: Masa igualador que reacciona con la fibra de poliamida en el teñido

m_{DAR}: Masa dador de ácido que reacciona con la fibra de poliamida en el teñido

m_{DR2}: Masa detergente que reacciona con la fibra de poliamida en el lavado

m_{SAR}: Masa solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida en el lavado

m_{FR}: Masa fijador que reacciona con la fibra de poliamida en el fijado

m_{SAR2}: Masa solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida en el fijado

m₁₁ y m₁₇ masa de colorante que no reaccionó y que se encuentra en la superficie de la fibra

En la base de datos de tintorería para un lote de 400Kg en relación de baño 1:10 se encuentra registrada la concentración final de cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura en el baño de tintura residual, después de realizarse cada una de las etapas del proceso, las cuales se encuentran registradas a continuación en la tabla 5.

Tabla 5. Concentración final colorantes y auxiliares en el baño de tintura luego de proceso

Proceso	Colorante/Auxiliar de Tintura	Concentración Final.
Pretratamiento	Igualador PA	0.001 g/L
	Detergente	0.0005 g/L
Teñido	Colorantes Ácidos	0.4613 g/L
	Dador de Ácido	0.005 g/L
	Igualador PA	0.001 g/L
Lavado	Detergente	0.0425 g/L
	Solución Ácida	0.0105 g/L
	Colorantes Ácidos	0.3074 g/L
Fijado	Fijador	0.1841 g/L
	Colorantes Ácidos	0.1538 g/L
	Solución Ácida	0.0105 g/L

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

Con base en la tabla 4, en la tabla 5 y en el diagrama 2 se presenta a continuación en balance de masa del proceso de teñido de fibras de poliamida.

- **Pretratamiento:** en este proceso se eliminan aquellas impurezas presentes en la fibra que pueden afectar el teñido de las fibras de poliamida. Según el diagrama 3 se tiene que el balance para esta etapa de proceso es la siguiente:

Ecuación 5. Balance en la etapa de pretratamiento.

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4 + m_{DR} + m_{IR}$$

Para conocer la alimentación tanto del detergente como del igualador, se tiene en cuenta las relaciones de las ecuaciones 6 y 7, las cuales dependen de la concentración del auxiliar de tintura, del peso de la fibra o del volumen del baño de tintura.

Ecuación 6. Alimentación detergente PA en el pretratamiento.

$$m_1 = 2g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 8Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 7. Alimentación de igualador PA en el pretratamiento.

$$m_2 = 2\% * 400Kg = 8Kg \text{ Igualador}$$

Ecuación 8. Detergente PA a la salida del pretratamiento.

$$m_3 = 0.0005g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.002 Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 9. Igualador PA a la salida del pretratamiento.

$$m_4 = 0.001 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.004 Kg \text{ Igualador}$$

Ecuación 10. Detergente PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{DR} = m_1 - m_3$$

$$m_{DR} = 8Kg - 0.002Kg = 7.998Kg$$

Ecuación 11. Igualador PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{IR} = m_2 - m_4$$

$$m_{IR} = 8Kg - 0.004Kg = 7.996Kg$$

- **Teñido:** En esta parte del proceso los colorantes ácidos alimentados reaccionan con la fibra de poliamida. Las condiciones de operación se muestran en la gráfica 5 en donde colorantes y auxiliares de tintura se alimentan a temperatura

ambiente y posteriormente se aumenta la temperatura a 105°C durante 30 minutos. El balance de materia en esta etapa está dado por la ecuación 12:

Ecuación 12. Balance en la etapa de teñido

$$m_5 + m_6 + m_7 = m_8 + m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{CR} + m_{IR2} + m_{DAR}$$

Ecuación 13. Alimentación de colorante ácido en el teñido

$$m_5 = 4.5\% * 400Kg = 18Kg \text{ Colorante}$$

Ecuación 14. Alimentación de igualador PA en el teñido

$$m_6 = 2\% * 400Kg = 8Kg \text{ Igualador}$$

Ecuación 15. Alimentación de dador de ácido PA en el teñido.

$$m_7 = 1g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 4Kg \text{ Dador de ácido}$$

Ecuación 16. Colorante ácido a la salida.

$$m_8 = 0.4613 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 1.8452 Kg \text{ Colorante}$$

Ecuación 17. Igualador PA a la salida

$$m_9 = 0.001 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.004 Kg \text{ Igualador}$$

Ecuación 18. Dador de ácido PA a la salida

$$m_{10} = 0.005 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.02 Kg \text{ Dador de ácido}$$

Ecuación 19. Dador de ácido PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{DAR} = m_7 - m_{10}$$

$$m_{DAR} = 4Kg - 0.02Kg = 3.98Kg$$

Ecuación 20. Igualador PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{IR2} = m_6 - m_9$$

$$m_{IR2} = 8Kg - 0.004Kg = 7.996Kg$$

Ecuación 21. Colorante ácido que reacciona con la fibra de poliamida

$$m_{CR} = m_5 - (m_8 + m_{11})$$

Se debe tener en cuenta que m_{11} corresponde al colorante que no reaccionó con la fibra de poliamida, pero que se encuentra en la superficie de la fibra. Representado por la ecuación 22.

Ecuación 22. Colorante ácido que no reacciona con la fibra de poliamida

$$m_{11} = m_{16} + m_{22}$$

- **Lavado:** en esta etapa del proceso se elimina parte del colorante que no reaccionó y que se encuentra en la superficie de la fibra. Como se muestra en el gráfico 2, se adicionan los auxiliares de tintura a temperatura ambiente, la cual se aumenta a 80°C durante 20 min. El balance en esta etapa está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 23. Balance en la etapa de lavado

$$m_{11} + m_{12} + m_{13} = m_{14} + m_{15} + m_{16} + m_{17} + m_{DR2} + m_{SAR}$$

Ecuación 24. Alimentación detergente PA en el lavado.

$$m_{12} = 2g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 8Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 25. Alimentación solución ácida en el lavado.

$$m_{13} = 1g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 4Kg \text{ Solución ácida}$$

Ecuación 26. Detergente PA a la salida del lavado

$$m_{14} = 0.0425g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.17 Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 27. Solución ácida la salida del lavado.

$$m_{15} = 0.0105 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.042 Kg \text{ Solución ácida}$$

Ecuación 28. Colorante la salida del lavado.

$$m_{16} = 0.3074g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 1.2296 Kg \text{ Colorante}$$

Ecuación 29. Detergente PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{DR2} = m_{12} - m_{14}$$

$$m_{DR2} = 8Kg - 0.17Kg = 7.83Kg$$

Ecuación 30. Solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{SAR} = m_{13} - m_{15}$$
$$m_{SAR} = 4Kg - 0.042Kg = 3.958Kg$$

Ecuación 31. Colorante que no fue eliminado después del proceso de lavado.

$$m_{17} = m_{11} - m_{16}$$

- **Fijado:** en esta etapa del proceso se fija anionicamente parte del colorante que no reaccionó y que se encuentra en la superficie de la fibra. Como se muestra en el gráfico 2 se adicionan los auxiliares de tintura a temperatura ambiente aumentándose a 80°C durante 20 minutos. El balance para esta etapa se da por la siguiente ecuación:

Ecuación 32. Balance en la etapa de fijado

$$m_{17} + m_{18} + m_{19} = m_{20} + m_{21} + m_{22} + m_{FR} + m_{SAR2}$$

Ecuación 33. Alimentación de fijador PA en el fijado.

$$m_{18} = 3.5\% * 400Kg = 14Kg \text{ Fijador}$$

Ecuación 34. Alimentación solución ácida en el lavado.

$$m_{19} = 1g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 4Kg \text{ Solución ácida}$$

Ecuación 35 Fijador PA a la salida del Fijado

$$m_{20} = 0.1841g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.7364 Kg \text{ Fijador}$$

Ecuación 36. Solución ácida la salida del fijado

$$m_{21} = 0.0105 g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.042 Kg \text{ Solución ácida}$$

Ecuación 37 Colorante la salida del fijado

$$m_{22} = 0.1538g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.6152 Kg \text{ Colorante}$$

Ecuación 38. Fijador PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{FR} = m_{18} - m_{20}$$
$$m_{FR} = 14Kg - 0.7364Kg = 13.2636Kg$$

Ecuación 39. Solución ácida que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{SAR2} = m_{19} - m_{21}$$

$$m_{SAR2} = 4Kg - 0.042Kg = 3.958Kg$$

Ecuación 40. Colorante que fue eliminado después del proceso de fijado

$$m_{22} = m_{17}$$

$$m_{17} = 0.6152 Kg$$

De esta manera reemplazando en la ecuación 31 se tiene que:

$$m_{11} = m_{17} + m_{16}$$

$$m_{11} = 0.6152 Kg + 1.2296 Kg$$

$$m_{11} = 1.8448 Kg$$

Con estos resultados se reemplaza en la ecuación 21 y se calcula la cantidad de colorante que reaccionó con la fibra de poliamida en la etapa de teñido:

$$m_{CR} = m_5 - (m_8 + m_{11})$$

$$m_{CR} = 18Kg - (1.8452 Kg + 1.8448 Kg)$$

$$m_{CR} = 14.31Kg$$

De esta manera encontramos que el balance global del proceso está dado por la ecuación 42, en donde se tiene en cuenta que la masa de agua que sale del proceso es de 15993.4Kg y el peso final de la fibra es de 482.6Kg como se observa a continuación, ya que en cada una de las etapas la tela absorbió agua y reaccionó con los diferentes colorantes y auxiliares de tintura.

Ecuación 41. Masa final de la tela luego del proceso de teñido

$$m_{23} = 400Kg + 6.6Kg + m_{DR} + m_{IR} + m_{CR} + m_{IR2} + m_{DAR} + m_{DR2} + m_{SAR} + m_{FR} + m_{SAR2}$$

$$m_{23} = (400 + 6.6 + 7.998 + 7.996 + 14.31 + 7.996 + 3.98 + 7.83 + 3.958 + 13.267 + 3.958)Kg$$

$$m_{23} = 482.6Kg$$

Ecuación 42: Balance global proceso teñido fibras de poliamida

$$400 + 16000 + m_1 + m_2 + m_5 + m_6 + m_7 + m_{12} + m_{13} + m_{18} + m_{19} = m_3 +$$

$$m_4 + m_8 + m_9 + m_{10} + m_{14} + m_{15} + m_{16} + m_{20} + m_{21} + m_{22} + m_{23} + 15993.4$$

$$(400 + 16000 + 8 + 8 + 18 + 8 + 4 + 8 + 4 + 14 + 4)Kg = (0.002 + 0.004 + 1.8452 +$$

$$0.004 + 0.02 + 0.17 + 0.042 + 1.2296 + 0.7364 + 0.042 + 0.6152 + 482.6 + 15993.4)Kg$$

$$16476Kg = 16476Kg$$

2.3.3. Condiciones de operación blanqueo de fibras de poliamida. El proceso de blanqueo de fibras textiles tiene como objetivo la obtención de telas con alto nivel de blancura. Para este proceso se implementan blanqueadores ópticos, los cuales amplían las ondas visibles, ya sea el cuadrante azul o el cuadrante rojo de manera que a la vista del ser humano se genera sensación de blancura. El proceso de blanqueo de fibras de poliamida al igual que el proceso de teñido, se da por agotamiento⁶³.

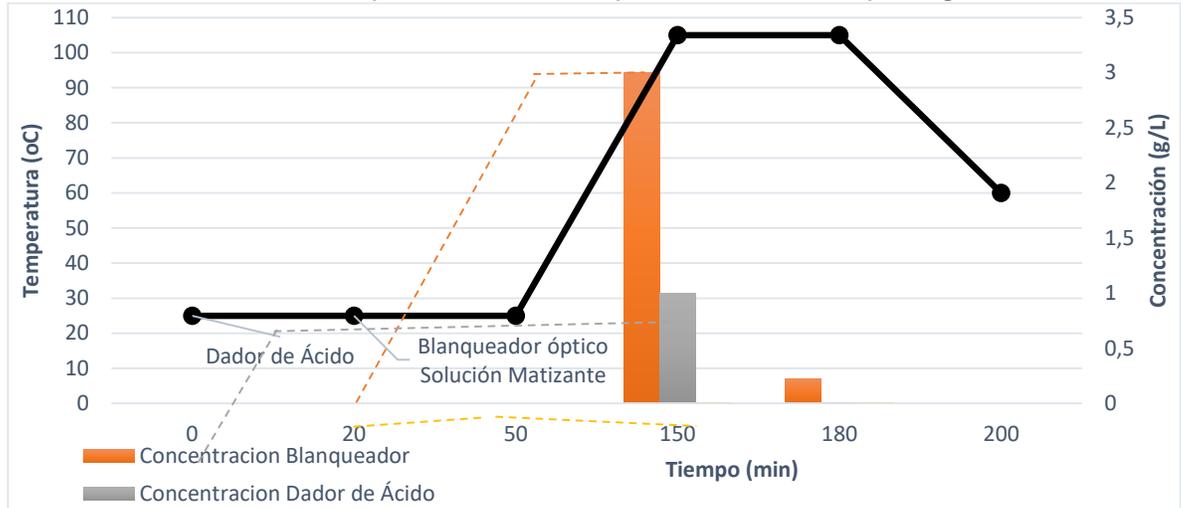
Inicialmente se carga la tela de poliamida que se va a procesar (400Kg) de manera manual a la máquina de tintura, esta se cierra y se adiciona el volumen de agua necesario para cumplir con la relación de baño 1:10. (4000L). La fibra que se alimenta al proceso previamente fue sometida a un proceso de pretratamiento con en donde se utilizan como auxiliares de tintura una sal de sodio y un detergente con el fin de retirar aquellas impurezas y aceites que adquirió la fibra durante el proceso de tejeduría. Una vez se ha alimentado el volumen de agua necesaria, se alimenta al reactor mediante un tanque dosificador el dador de ácido, esta operación se realiza a temperatura ambiente durante 20 minutos. Posteriormente se alimenta a temperatura ambiente el blanqueador óptico y la solución matizante por medio del tanque dosificador durante 30 minutos.

Luego de alimentados los auxiliares de tintura se registra el pH inicial el cual debe estar en un rango entre 7 y 6.5. Posteriormente se aumenta la temperatura a 105°C con un gradiente de 1°C/min y se mantiene dicha temperatura durante 30 minutos, es a esta temperatura que el blanqueador óptico y los demás auxiliares de tintura reaccionan con la fibra y la concentración de éstos disminuye a medida que pasa el tiempo. Finalmente baja la temperatura a 60°C con un gradiente de 1.5°C/min y se registra el pH final el cual debe estar en un rango entre 4 y 4.5, lo que indica que el blanqueador óptico agotó de manera correcta. A continuación, en la gráfica 8, se encuentra la curva de tintura por agotamiento del blanqueo de fibras de poliamida, en donde se observa el proceso descrito anteriormente.

Luego del proceso de teñido y de blanqueo de fibras de poliamida, éstas son sometidas a acabados en donde son secadas en ramas a temperaturas mayores a 100oC, en dichos acabados se implementan algunos suavizantes, termorresistentes o microcápsulas según el uso al que va a ser destinada la tela; para posteriormente ser comercializada o para continuar su proceso en la cadena textil.

⁶³ Centro de actividad regional para la producción limpia. Prevención de la contaminación en la industria textil en los países mediterráneos. Ministerio de ambiente España.

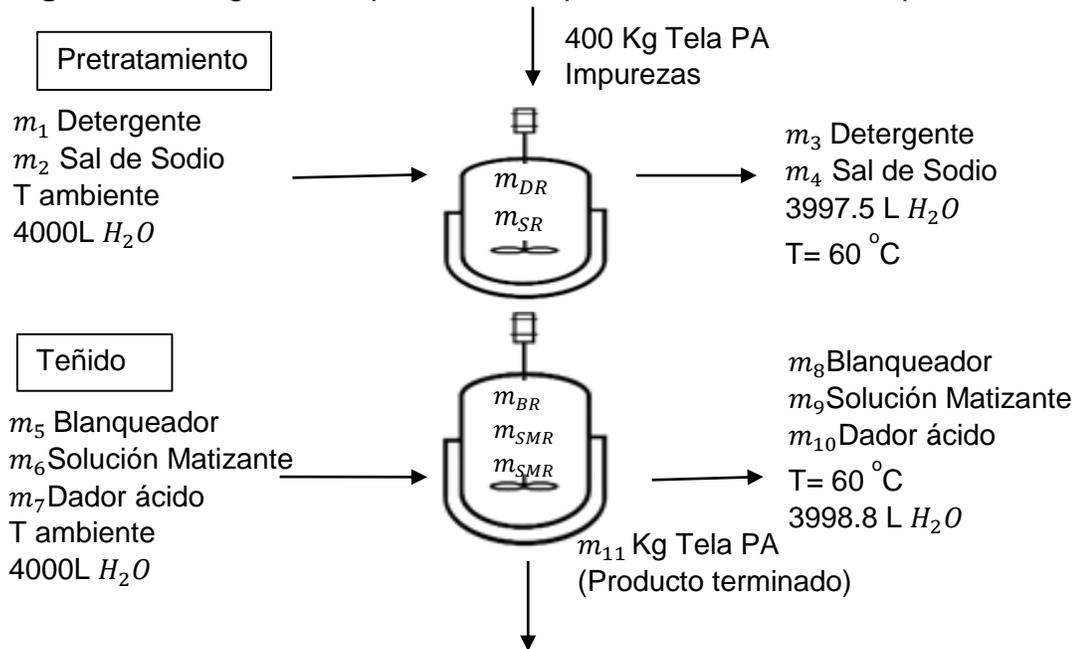
Grafica 8. Curva de blanqueo de fibras de poliamida, tintura por agotamiento.



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

A continuación, en el diagrama 3 se evidencia el esquema del proceso de blanqueo de fibras de poliamida, siendo un proceso tipo batch el cual tiene lugar en un reactor tipo jet o torpedo. Para realizar el balance se toma como base de cálculo un lote de 400 Kg de la fibra dorcas y los datos de las concentraciones de cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura reportados en la base de datos de tintorería en el periodo de enero a agosto de 2018.

Diagrama 3. Diagrama de proceso blanqueo actual de fibras de poliamida



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

En donde:

m_{SR}: Masa sal que reacciona con la fibra de poliamida en el pretratamiento

m_{DR}: Masa detergente que reacciona con la fibra de poliamida en el pretratamiento

m_{BR}: Masa de blanqueador óptico que reacciona con la fibra de poliamida

m_{SMR}: Masa solución matizante que reacciona con la fibra de poliamida

m_{DAR}: Masa dador de ácido que reacciona con la fibra de poliamida

Para realizar el balance de materia al igual que para el proceso de teñido de fibras de poliamida, es necesario tener en cuenta que cada una de las etapas del proceso de blanqueo (pretratamiento y blanqueo) se realizan en el mismo reactor tipo Jet o Torpedo, una vez ha sido cargado el reactor con la tela que se pretende procesar, éste se cierra y se alimentan los reactivos a través del tanque del reactor. Una vez que termina cada una de las etapas, el baño de tintura es descargado y se conduce a la planta de tratamiento de agua de PROTELA S.A.

Como en ningún momento del proceso se descarga la tela que se procesa, para conocer la cantidad de blanqueador óptico y auxiliares de tintura que se implementan a lo largo del proceso se tiene en cuenta la masa inicial (400Kg) de ésta.

En la tabla 6 se encuentran las concentraciones que se utilizan para un lote estándar, estas se encuentran acorde con la información descrita por las fichas técnicas.

Tabla 6. Concentraciones de blanqueador y auxiliares de tintura proceso actual

Colorante/Auxiliar de Tintura	Concentración
Blanqueador	3%
Tripolifosfato de sodio	1g/L
Dador de Ácido	1 g/L
Detergente	2 g/L
Solución matizante	0.005%

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

Según la base de datos de tintorería para un lote de 400 Kg en relación de baño 1:10 (4000L), se encontró la concentración final de cada uno de los auxiliares en el baño de tintura, después de realizarse cada una de las etapas del proceso. Dichos resultados se encuentran a continuación registrados en la tabla 7.

Tabla 7 Concentración final blanqueador y auxiliares en el baño de tintura luego del proceso

Proceso	Colorante/Auxiliar de Tintura	Concentración Final.
Pretratamiento	Tripolifosfato de Sodio	0.002 g/L
	Detergente	0.0005 g/L
	Blanqueador Óptico	0.225 g/L
Blanqueo	Dador de Ácido	0.005 g/L
	Solución matizante	0.00001 g/L

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

El proceso de banqueo de fibras de poliamida es de tipo semi-batch, por lo cual depende de la demanda que tiene en el momento PROTELA S.A. Según los datos consignados en la tabla 6, las concentraciones de auxiliares de tintura se encuentran registradas en porcentaje o en g/L, esto se debe a que la cantidad de auxiliares de tintura a utilizar dependerá ya sea del peso de la tela a teñir o del volumen de agua a implementar, como se evidencio anteriormente en el caso del teñido de fibras de poliamida. Es de esta manera que para un lote de 400 kg y una relación de baño 1:10 se tienen los siguientes balances de materia.

- **Pretratamiento:** en este proceso se eliminan aquellas impurezas presentes en la fibra que pueden afectar el teñido de las fibras de poliamida. Según el diagrama 5 se tiene que el balance para esta etapa de proceso es la siguiente:

Ecuación 43. Balance en la etapa de pretratamiento.

$$m_1 + m_2 = m_3 + m_4 + m_{DR} + m_{SR}$$

Para conocer la alimentación tanto del detergente como de la sal de sodio, se tienen en cuenta las siguientes relaciones, las cuales dependen de la concentración, del peso de la fibra o del volumen del baño de tintura.

Ecuación 44. Alimentación detergente PA en el pretratamiento.

$$m_1 = 2g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 8Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 45. Alimentación de la sal de Sodio en el pretratamiento.

$$m_2 = 1g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 4Kg \text{ sal de Sodio}$$

Ecuación 46. Detergente PA a la salida del pretratamiento.

$$m_3 = 0.0005g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.002 Kg \text{ Detergente}$$

Ecuación 47. Sal de sodio a la salida del pretratamiento.

$$m_4 = 0.002g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.008 Kg \text{ sal de Sodio}$$

Ecuación 48. Detergente PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{DR} = m_1 - m_3$$
$$m_{DR} = 8Kg - 0.002Kg = 7.998Kg$$

Ecuación 49. Sal de sodio que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{TR} = m_2 - m_4$$
$$m_{TR} = 4Kg - 0.008Kg = 3.992Kg$$

- **Blanqueo:** En esta parte del proceso, el blanqueador óptico alimentado reacciona con la fibra de poliamida. Las condiciones de operación se muestran en la gráfica 8 en donde los auxiliares de tintura se alimentan a temperatura ambiente y posteriormente se aumenta la temperatura a 105°C durante 30 minutos.

Ecuación 50. Balance en la etapa de blanqueo

$$m_5 + m_6 + m_7 = m_8 + m_9 + m_{10} + m_{BR} + m_{SMR} + m_{DAR}$$

Ecuación 51. Alimentación de blanqueador óptico

$$m_5 = 3\% * 400Kg = 12Kg \text{ Blanqueador}$$

Ecuación 52. Alimentación Solución matizante

$$m_6 = 0.005\% * 400Kg = 0.02Kg \text{ Solución matizante}$$

Ecuación 53. Alimentación de dador de ácido PA.

$$m_7 = 1g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 4Kg \text{ Dador de ácido}$$

Ecuación 54. Blanqueador óptico a la salida

$$m_8 = 0.225g/L * 4000L * \frac{1Kg}{1000g} = 0.9 Kg \text{ Colorante}$$

Ecuación 55. Solución matizante a la salida

$$m_9 = 0.00001 \text{ g/L} * 4000L * \frac{1Kg}{1000 \text{ g}} = 0.00004 \text{ Kg Igualador}$$

Ecuación 56. Dador de ácido PA a la salida

$$m_{10} = 0.005 \text{ g/L} * 4000L * \frac{1Kg}{1000 \text{ g}} = 0.02 \text{ Kg Dador de ácido}$$

Ecuación 57. Blanqueador ácido que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{BR} = m_5 - m_8$$
$$m_{BR} = 12Kg - 0.9Kg = 11.1Kg$$

Ecuación 58. Dador de ácido PA que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{DAR} = m_7 - m_{10}$$
$$m_{DAR} = 4Kg - 0.02Kg = 3.98Kg$$

Ecuación 59 Solución matizante que reacciona con la fibra de poliamida.

$$m_{SM} = m_6 - m_9$$
$$m_{SMR} = 0.02Kg - 0.00004Kg = 0.01996Kg$$

De esta manera encontramos que el balance global del proceso está dado por la ecuación 61, en donde se tiene en cuenta que la masa de agua que sale del proceso es de 7996.3Kg y el peso final de la fibra es de 427.09 Kg como se observa a continuación, ya que en cada una de las etapas la tela absorbió agua y reaccionó con los diferentes auxiliares de tintura.

Ecuación 60. Masa final de la tela luego del proceso de blanqueo

$$m_{11} = 400Kg + 3.7Kg + m_{DR} + m_{SR} + m_{BR} + m_{DAR} + m_{SMR}$$
$$m_{11} = (400 + 3.7 + 7.998 + 3.992 + 11.1 + 3.98 + 0.01996)Kg$$
$$m_{23} = 427.08996Kg$$

Ecuación 61: Balance global proceso blanqueo fibras de poliamida

$$400 + 8000 + m_1 + m_2 + m_5 + m_6 + m_7$$
$$= m_3 + m_4 + m_8 + m_9 + m_{10} + 427.08996 + 7886.3$$
$$(400 + 8000 + 8 + 4 + 12 + 0.02 + 4)Kg$$
$$= (0.002 + 0.008 + 0.9 + 0.00004 + 0.02 + 427.08996 + 7886.3)Kg$$
$$8428.02Kg = 8428.02Kg$$

En el presente capítulo se realizó el diagnóstico del proceso actual de teñido y blanqueo de fibras de poliamida en PROTELA S.A., donde se identificaron las curvas de tintura tanto del proceso de teñido como del proceso de blanqueo. Se estableció que para que ocurra la reacción y se formen los enlaces electro covalentes entre la fibra de poliamida y el colorante o el blanqueador óptico según el caso, se requieren altas temperaturas, un pH inicial de 6 y un pH final de 4, que en el proceso se cumpla una relación de baño 1:10.

Según la base de datos de tintorería en el periodo de tiempo de enero a agosto de 2018, se encontró que las fibras más procesadas son: dorcas, noraba y encaje en los tonos negro, azul, vinotinto, blanco, beige y café. Se evidenció que aproximadamente en el 50% de los lotes procesados para las fibras de poliamida no se cumplen con las especificaciones de calidad requeridas por PROTELA S.A. lo cual se evidencia al evaluar los resultados de las pruebas de solidez, la homogeneidad de tono y los resultados de la lectura de las coordenadas CIEL LAB las cuales deben tener valores cercanos a cero para que se cumpla con el tono exigido por el cliente. Se identificó de esta manera que:

- Los resultados en las pruebas de solidez para los tonos negro, azul, vinotinto y café no son los adecuados, ya que se encuentran en valores menores o iguales a 3.5.
- En más del 50% de las fibras procesadas no se presenta un teñido homogéneo, por lo cual se evidencia rayado, teñido desigual y mareos.
- Para los tonos negro, azul, vinotinto, blanco, amarillo, agua marina y rojo en el 20% de los lotes procesados no se cumple con el tono, puesto que los valores que se registran por medio de las Coordenadas CIEL LAB son valores que se encuentran alejados al cero.

Al evaluar la base de datos de tintorería, se identificaron los colorantes y auxiliares de tintura que mayor consumo y participación en los procesos de teñido y blanqueo presentaban, con el fin de determinar la razón del no cumplimiento de las pruebas de calidad. En donde se encontró que para el proceso de blanqueo el uso de solución matizante genera una mala reproducibilidad del tono de un lote a otro, debido a las malas condiciones de manejo de dicho auxiliar de tintura. Por otro lado, en el proceso de teñido se identificó que los colorantes negro, azul, rojo brillante, amarillo brillante, amarillo y turquesa, el igualador actual, el detergente actual y el fijador actual reportados en la tabla 2 no cumplen con las pruebas de solidez por lo cual se requieren 2 a 3 lavados y 2 a 3 fijados lo que aumenta no solo el costo de formula sino el consumo de agua y energía. Esto se debe a que dichos auxiliares de tintura no presentan buena afinidad por las fibras procesadas.

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA CON RESPECTO AL DIAGNÓSTICO REALIZADO

En el capítulo anterior, se logró identificar que los tonos más procesados en PROTELA S.A. son el negro, azul, vinotinto y blanco en las referencias de encaje, dorcas y noraba en los cuales no se alcanzan los estándares de calidad requeridos. El producto final no cumple con el tono al ser evaluado por medio de las coordenadas CIE LAB, se presenta mareo, teñido desigual y machado y las pruebas de solidez establecidas por la asociación americana de químicos y colorantes textiles presentan resultados menores a 3.5.

En el diagnostico además se identificaron los colorantes y auxiliares de tintura que mayor participación en el proceso presentaban, identificando la función de cada uno de estos durante el proceso de teñido y blanqueo de fibras de poliamida. Como se explicó anteriormente PROTELA S.A. es una industria que se encuentra en el mercado hace más de 67 años por lo cual, muchos de los procesos productivos se han realizado de la misma manera por décadas, la propuesta de mejora estuvo enfocada en un cambio de materias primas en donde se dio la posibilidad de hacer nuevas negociaciones con proveedores que habitualmente no le suministraban a PROTELA S.A.

3.1 IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES

Para cada una de las actividades productivas de una industria, las empresas tienen la necesidad de adquirir productos y servicios como materias primas, maquinaria, servicios de limpieza, seguros, entre otros. Cada una de las empresas realiza una selección de proveedores de acuerdo a las necesidades enfocado principalmente en la calidad. En la selección de proveedores se debe tener en cuenta el impacto de los productos adquiridos sobre la productividad, la calidad y la competitividad que le proporcionan a la empresa.⁶⁴

Para la selección de nuevas materias primas para los procesos de teñido y blanqueo de fibras de poliamida para PROTELA S.A. es necesario evaluar cada uno de los posibles proveedores, en donde se tendrá en cuenta el cumplimiento de la normativa OEKO-TEX, disponibilidad o tiempo de entrega, precio y cumplimiento de especificaciones técnicas. Antes de realizar la selección se debe tener claro cuáles son los productos que se quieren adquirir y la calidad de estos, con el fin de comparar productos iguales o similares que se adapten al proceso que se quiere evaluar.

⁶⁴ De Boer, L. A review of methods supporting supplier selection. European Journal of purchasing and Supply Management, 2011

3.2 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

El proceso de selección de proveedores se realiza en dos etapas las cuales son búsqueda de información y selección y evaluación de proveedores. La búsqueda de información permite localizar proveedores, esta se puede realizar por medio de sitios web, recomendaciones, ferias y exposiciones, fuentes internas de la empresa y bases de datos⁶⁵.

De manera que para seleccionar los proveedores posibles que ofrezcan auxiliares de tintura tales como: blanqueadores, detergentes, igualadores, dadores de ácido, fijadores y colorantes para el proceso de teñido de fibras de poliamida, se implementó una base de datos de PROTELA S.A. la cual contiene información de diferentes proveedores. La información recopilada fue la siguiente.

Tabla 8. Ficha de Posibles Proveedores

Ficha de Proveedores
Nombre: Proveedor A Productos o servicios que suministra: Blanqueador óptico para poliamida Colorantes ácidos metal-complejos
Nombre: Proveedor B Productos o servicios que suministra: Dador de ácido para proceso de teñido de poliamida Igualador para proceso de teñido de poliamida Detergente con afinidad por fibras de poliamida
Nombre: Proveedor C Productos o servicios que suministra: Detergente con afinidad por fibras de poliamida Fijador para el proceso de fijado de fibras de poliamida
Nombre: Proveedor D Productos o servicios que suministra: Auxiliares de tintura para un proceso de teñido de fibras de poliamida sin proceso de fijado.
Nombre: Proveedor E Productos o servicios que suministra: Auxiliares de tintura para proceso de teñido de fibras de Colorantes ácidos y blanqueador óptico
Fuente: elaboración propia, con base en PROTELA S.A

⁶⁵ Maqueta CF Unidad 2. Búsqueda y selección de proveedores 02.

Con base en la lista de recopilación (tabla 8) de los posibles proveedores se debe solicitar información a los proveedores seleccionados según algunos aspectos como condiciones referidas de calidad, condiciones económicas y otras condiciones como disponibilidad, tiempo de entrega entre otros⁶⁶. Los aspectos que se tendrán en cuenta para la selección de materias primas para el proceso de teñido de fibras de poliamida se encuentran a continuación en el diagrama 4.

Diagrama 4. Aspectos que se desean conocer de los proveedores



Fuente: elaboración propia.

Dichos criterios de evaluación dependen de cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura requeridos, en este caso y con base en el diagnóstico se observa la oportunidad de reemplazar los colorantes azul, amarillo, amarillo brillante, rojo brillante, turquesa y negro, el dador de ácido, el igualador para poliamida, el detergente, el fijador y el blanqueador óptico que son aquellos colorantes y auxiliares de tintura que mayor participación en el proceso de teñido y blanqueo de fibras de poliamida presentan.

El estudio de Dickson es una herramienta que describe la importancia de 23 criterios que permiten realizar una selección de proveedores según las necesidades de las empresas, este estudio contempla que para que la selección de proveedores sea efectiva se deben evaluar mínimo 3 criterios⁶⁷. Cada uno de los criterios a evaluar en el presente trabajo (diagrama 4) tienen la misma importancia para evaluar a un proveedor, de manera que se promedian las puntuaciones para establecer la clasificación.

3.2.1 Criterios de evaluación. Los criterios identificados para el desarrollo de la matriz de selección se tuvieron en cuenta aquellos que cumplen con los requisitos establecidos por PROTELA S.A. Como se dijo anteriormente se establece la misma

⁶⁶ Proveedores-compra y venta. 2009

⁶⁷ RIVERO. Stella. Elaboración de una matriz para evaluación de proveedores en sistemas de prestación de servicios. Universidad Militar Nueva Granada. 2016

importancia para cada uno de los criterios, dichos criterios se seleccionaron de acuerdo al estudio Dickson.

3.2.1.1 Nivel de Calidad (C1). Es un criterio de gran importancia, el cual se tienen en cuenta según las especificaciones de las fichas técnicas de cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura suministradas por los proveedores. En donde se tiene en cuenta si dichos auxiliares presentan afinidad por las fibras de poliamida y si cumplen con la normativa OEKO TEX. A pesar de que anteriormente se dijo que cada uno de los criterios a evaluar presentan la misma importancia, si los colorantes y auxiliares de tintura propuestos por un proveedor no cumplen con la normativa OEKO-TEX se descarta de inmediato. Ya que la normativa OEKO-TEX indica el límite de sustancias nocivas como bencenos, toluenos, alquitranes, pesticidas, metales pesados, entre otros que pueden estar presentes en un auxiliar de tintura y que estos no sean tóxicos para el ser humano y para el medio ambiente.

3.2.1.2 Precio (C2). el precio es un elemento importante, ya que este provoca un impacto en la economía de la empresa, se pretenden implementar colorantes y auxiliares de tintura que presenten un costo igual o mayor al costo de los auxiliares de tintura actuales

3.2.1.3 Cumplimiento especificaciones técnicas (C3). Es un criterio muy importante, se debe tener en cuenta que los colorantes y auxiliares de tintura a evaluar se ajusten a la curva de tintura tanto de teñido como de blanqueo descrita anteriormente.

3.2.1.4 Disponibilidad (C4). este criterio describe si los colorantes y auxiliares de tintura propuestos, se encuentran presente cuando se requieren, es decir, que no se presente desabastecimiento a lo largo del año.

3.2.1.5 Tiempo de entrega(C5). Los proveedores seleccionados se encuentran fuera del país por lo cual se requiere un tiempo de entrega de máximo 15 días con el fin de asegurar que el proceso productivo de PROTELA S.A. no se vea afectado.

3.2.2 Construcción escala de valoración. La asignación de la escala para la clasificación de los proveedores en cada uno de los criterios, se realiza a partir de la valoración de expertos, la base de datos de PROTELA S.A. y la técnica multicriterio para la selección de proveedores. Se consideraron como expertos a 3 directivos de PROTELA S.A. Dicha valoración se presenta a continuación de la tabla 9 a la 13.

Tabla 9. Nivel de calidad de los colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C1)

Nivel	Puntos	Definición
Excelente	1	Cumplimiento de normativa OEKO-TEX, afinidad por las fibras de poliamida. Las muestras físicas suministradas por parte de los proveedores presentan una calidad entre 95-100%
Buena	2	Cumplimiento de normativa OEKO-TEX, afinidad por las fibras de poliamida. Las muestras físicas suministradas por parte de los proveedores presentan una calidad entre 75-94%
Regular	3	Cumplimiento de normativa OEKO-TEX, afinidad por las fibras de poliamida. Las muestras físicas suministradas por parte de los proveedores presentan una calidad entre 0-74%

Fuente: expertos seleccionados PROTELA S.A

Tabla 10. Precio colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C2)

Nivel	Puntos	Definición
Excelente	1	Precio importadores o productores es menor al precio de los auxiliares de tintura actuales
Buena	2	Precio importadores o productores es igual al precio de los auxiliares de tintura actuales
Regular	3	Precio importadores o productores es mayor al precio de los auxiliares de tintura actuales

Fuente: expertos seleccionados PROTELA S.A

Tabla 11. Cumplimiento especificaciones técnicas auxiliares de tintura (C3)

Nivel	Puntos	Definición
Excelente	1	Se adapta a la curva de tintura establecida en PROTELA S.A y se adapta a modificaciones necesarias
Buena	2	Se adapta a la curva de tintura establecida en PROTELA S.A y se adapta a modificaciones necesarias con dificultad
Regular	3	No se adapta a la curva de tintura establecida en PROTELA S.A

Fuente: expertos seleccionados PROTELA S.A

Tabla 12. Disponibilidad colorantes y auxiliares de tintura suministrados (C4)

Nivel	Puntos	Definición
Excelente	1	Disponibilidad del producto en todas las épocas del año
Buena	2	Disponibilidad del producto en el 90% del año
Regular	3	Disponibilidad en menos del 90% del año

Fuente: expertos seleccionados PROTELA S.A

Tabla 13. Tiempo de entrega colorantes y auxiliares de tintura (C5)

Nivel	Puntos	Definición
Excelente	1	Menos de 5 días
Buena	2	Menos de 10 días
Regular	3	Menos de 15 días

Fuente: expertos seleccionados PROTELA S.A

3.3 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL PROVEEDOR

Con base en la información suministrada por los expertos seleccionados, cada uno de los criterios a evaluar presentan la misma importancia, de manera que el peso de cada uno de los criterios corresponde a 20%. De manera que se procedió a valorar cada uno de los proveedores por medio de la matriz de decisión o matriz criterio proveedor.

Tabla 14. Matriz de decisión

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5
Proveedor A	1	1	1	2	2
Proveedor B	1	1	1	2	2
Proveedor C	1	1	1	2	2
Proveedor D	1	1	3	2	1
Proveedor E	3	2	1	2	3

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

Es necesario normalizar la matriz para continuar con el proceso de selección de proveedores implementado el método de multicriterio.⁶⁸

Tabla 15. Normalización Matriz de decisión

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	Total
Proveedor A	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.8
Proveedor B	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.8
Proveedor C	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.8
Proveedor D	0.20	0.20	0.067	0.10	0.200	0.767
Proveedor E	0.067	0.067	0.10	0.10	0.067	0,041

Fuente: ARIEL; BURBANO y HOYOS. Procedimiento Para La Evaluación De Proveedores Mediante Técnicas Multicriterio Scientia et Technica 2004.

⁶⁸ ARIEL. William, BURBANO y HOYOS. Carolina. Procedimiento Para La Evaluación De Proveedores Mediante Técnicas Multicriterio Scientia et Technica 2004.

Con base en los resultados de la matriz de selección se tiene una clasificación de cada uno de los proveedores evaluados en donde se encontró que los proveedores A, B, C y D cumplirían con los criterios demandados por PROTELA S.A lo que indica que del proveedor A se puede implementar los colorantes ácidos y el blanqueador óptico para fibras de poliamida, los auxiliares de tintura recomendados por el Proveedor B son el igualador, el dador de ácido y el detergente 1. Del proveedor C se puede implementar el fijado y el detergente 2 para fibras de poliamida y del proveedor D se pueden implementar una serie de auxiliares de tintura que permiten realizar un proceso de teñido sin fijado.

Por otro lado, el Proveedor E obtuvo una puntuación del 41% lo que indica que los colorantes y auxiliares de tintura, propuestos por dicho proveedor no cumplirán los resultados esperados y causará un impacto negativo en la producción. por lo tanto y de acuerdo a la opinión de los expertos se descarta dicho proveedor.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COLORANTES Y AUXILIARES DE TINTURA SELECCIONADOS

Con base en los resultados de la matriz de selección, se eligió una serie de colorantes y auxiliares de tintura que cumplen con las exigencias de PROTELA S.A., a continuación, se va a describir cada una de las materias primas que se pretenden implementar en el proceso de blanqueo y de teñido de fibras de poliamida, dichas especificaciones se encuentran en las fichas técnicas entregadas por los proveedores, las cuales son de alta confidencialidad y por ende no es posible adjuntarlas al presente trabajo.

3.4.1 Blanqueador Óptico Propuesto. Para el blanqueo de fibras de poliamida se utilizan blanqueadores ópticos, que tienen la propiedad de absorber luz ultravioleta del espectro y emitirla como luz visible en una longitud de onda determinada. La propuesta es implementar un blanqueador óptico concentrado que presente un matiz azul/violeta especial para poliamida, seda, lana y fibras de celulosa que requieren un alto grado de blancura. Es un producto que se puede implementar tanto en procesos reductivos como oxidativos. Esta materia prima es muy similar al blanqueador óptico actual puesto que este último presenta un matiz azul y se utiliza para procesos reductivos en pH entre 2-4.5. La estructura química del blanqueador a implementar hace parte de derivados de Diestirilo Bifenilo, por lo tanto, es un compuesto que brinda estabilidad en el blanqueo y acabado de fibras de poliamida. Para curvas por agotamiento se pueden implementar concentraciones entre 0.5% y 2.5%. Se estipula una relación de baño 1:10 y una temperatura de blanqueo de 105°C.

El blanqueador propuesto presenta toda la normativa OEKO-TEX, es un producto que no es tóxico ni para los seres humanos ni para el medio ambiente, no contiene sustancias químicas prohibidas como metales pesados extraíbles con formaldehído, plaguicidas, alquifenoles y etoxilatos de alquifenol, bencenos, toluenos y compuestos químicos orgánicos bromados o clorados. Es un producto con buena disponibilidad y se pueden adquirir bajas cantidades, siendo una buena ventaja en el momento de realizar ensayos a nivel de planta.

3.4.2. Dador de Ácido Propuesto. El dador de ácido es uno de los auxiliares de tintura de mayor importancia en el proceso teñido de fibras de poliamida, ya que actúa como catalizador y permite obtener las condiciones óptimas de pH necesarios para que el colorante ácido reaccione correctamente con la fibra de poliamida. En la industria textil para el teñido de fibras de poliamida, se implementan ácidos como el ácido fórmico, ácido acético y ácido cítrico como catalizadores, sin embargo, de estos tres el que mayor estabilidad durante el proceso de tintura presenta es el ácido fórmico, a pesar de ser un ácido mucho más corrosivo que el ácido cítrico y que el ácido acético estabiliza el pH a temperaturas entre 98° y 105°C y disminuye el pH del baño de temperatura paulatinamente, si presentar teñido desigual y mareo, el colorante reacciona con la fibra de manera homogénea.

El dador de ácido que se propone, se basa en el principio de pH deslizante, que consiste en que el pH disminuye de neutro a ácido a medida que aumenta la temperatura del baño de tintura, por lo tanto, la curva de tintura por agotamiento es controlada. El dador de ácido propuesto cuenta con toda la documentación legal requerida para ser implementada en PROTELA S.A., además cumple con toda la normativa OEKO-TEX, por lo tanto, no se encuentran trazas ni existe la presencia de altos contaminantes como lo son metales pesados extraíbles con formaldehído, plaguicidas, alquifenoles, bencenos y toluenos. Este auxiliar de tintura presenta una muy buena disponibilidad y puede ser distribuido a PROTELA S.A. hasta en un máximo de 5 días, lo cual es un beneficio por ser uno de los auxiliares de tintura con mayor consumo e importancia en el proceso de teñido. El dador de ácido propuesto es un ácido orgánico, reacciona en función de la temperatura, es ideal para el teñido de fibras de poliamida y de lana, permite que los colorantes complejo-metálicos reaccionen correctamente con la fibra y que el pH durante el proceso permita una mayor absorción de colorante.

3.4.3 Igualador de Poliamida Propuesto. Para asegurar la calidad del teñido de fibra de poliamida con colorantes ácidos, es necesario implementar un igualador de poliamida, el cual debe presentar un carácter aniónico que permita que el enlace covalente entre la fibra de poliamida y el colorante se dé a lo largo de toda la tela

de manera homogénea y no se presenten problemas de igualación, de rayado, mareo o manchado; los cuales ocurren debido a diferencias en el sustrato, lo que no permite que sea posible una buena uniformidad clásica del color. Al evaluar las propuestas de diferentes proveedores se determinó que según la disponibilidad del producto y el cumplimiento de la normativa OEKO-TEX, el igualador propuesto para poliamida, el cual además de tener una disponibilidad de menos de una semana no contienen sustancias tóxicas como bencenos, toluenos, formaldehído o plaguicidas que afecten la salud y la vida tanto del medio ambiente como del ser humano.

La propuesta de igualador para poliamida, se trata de un auxiliar de tintura con fórmula de arisulfonatos con alcohol graso y polietilenglicolésteres, que permite tener una buena afinidad con los colorantes de poliamida, mejora las propiedades de nivelación y compatibilidad por los colorantes ácidos. Al igual que igualador actual, presenta un carácter aniónico. Según la ficha técnica se pueden implementar concentraciones entre 1.0% y 3.0% lo cual depende no solo del tono que se va a teñir sino también del tipo de fibra. Normalmente para poliamida 66 y para tonos medios y oscuros se utilizan concentraciones entre 2.5% y 3.0%.

3.4.4 Detergente para Poliamida Propuesto. Los detergentes o tensoactivos son sustancias no iónicas, las cuales actúan sobre la tensión superficial de la fibra que se va a teñir, eliminando no solo impurezas o grasas que adquiere la tela sino también el colorante que no reaccionó con la fibra, mejorando de esta manera la calidad del producto final. Al evaluar las propuestas de los proveedores, se distinguieron dos tensoactivos que podrían reemplazar al producto que actualmente se utiliza, el cual es un detergente especial para fibras de poliéster. Las propuestas son las siguientes:

3.4.4.1 Detergente 1 Propuesto. Es un agente de limpieza catiónico, principalmente implementado luego del teñido de fibras de poliamida y en el pretratamiento de todo tipo de textiles, que elimina los agentes insolubles en agua como impurezas, aceite, etc. Es un producto que se encuentra en estado líquido (alcohol graso etoxilado) y a temperatura ambiente presenta una densidad de 0.99g/cm³. En el tratamiento y pretratamiento de fibras de lana y de poliamida es estable en pH de 4.5; en pH altos se pueden presentar precipitados, lo cual puede generar manchas y tono desigual en el producto final.

Este detergente es muy efectivo para eliminar colorantes ácidos complejo metálicos, ya que actúa sobre la superficie de la fibra de poliamida eliminado en un alto porcentaje el colorante que no reaccionó. De esta manera, mejora los resultados de las pruebas de solidez como lavado, al agua de mar, a piscina, al sudor y al frote. Como se dijo anteriormente, es necesario alimentar el detergente al baño de tintura

a un pH de 4.5. La curva de tintura para el lavado de la fibra de poliamida es similar a la curva que se implementa actualmente en PROTELA S.A., ya que el agotamiento se realiza a 80°C durante 20 min. Las concentraciones de detergente a implementar van de un rango de 0.5 a 1g/L dependiendo del tono que se va a teñir. Este producto tiene muy buena disponibilidad, puesto que el proveedor tiene oficinas a nivel nacional, es posible la compra en pequeñas cantidades (más de 10 Kg). Es un producto que cumple con la normativa OEKO-TEX y se encuentra registrado en INDITEX, por lo tanto, no contiene sustancias que pueden ser nocivas para el ser humano y el medio ambiente.

3.4.4.2 Detergente 2 Propuesto. Es un auxiliar de tintura implementado principalmente para el lavado posterior de estampados, también puede ser utilizado para el lavado posterior de teñido de fibras de poliamida, pues tiene una alta afinidad con los colorantes ácidos y de complejo metálicos en fibras de lana, poliamida y seda en medio ligeramente alcalino.

Químicamente se clasifica como un alquilamonio etoxilado, a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido y presenta una buena afinidad con el agua. Este auxiliar de tintura reduce el riesgo de sangrado de fondos blancos del producto final, es decir, que mejora los resultados de las pruebas de solidez, pues reduce la transferencia de color al encontrarse en contacto con fibras de tonos más claros.

Presenta una alta efectividad de limpieza, es un producto con muy buena disponibilidad y es utilizado en diferentes industrias textiles a nivel mundial, razón por la cual se puede adquirir en un periodo menor a 15 días, es un producto que permite la compra en pocas cantidades (15 kg). Cumple con los estándares legales de la norma OEKO-TEX, se encuentra registrado en INDETEX, asegurando así, que no existe la presencia de sustancias nocivas tanto para el ser humano como para el medio ambiente. En cuanto a la curva de tintura es muy similar a la curva implementada en PROTELA S.A., el agotamiento se da a 80°C durante 20 minutos. Se debe alimentar a pH bajos menores a 4.5, es un producto más estable en presencia de ácido acético al igual que el detergente 1 propuesto. Se implementan concentraciones entre 0.2 y 0.5 g/L en procesos de teñido con relación de baño 1/10.

3.4.5 Colorantes Ácidos Propuestos. Los colorantes, también conocidos como anilinas, son sustancias que pueden ser solubles en agua o en disolventes orgánicos, presentan grupos reactivos capaces de fijarse a los diversos sustratos al formar diferentes tipos de enlace. Para el teñido de fibras de poliamida se utilizan colorantes ácidos, los cuales son muy solubles en agua y su alta afinidad con las fibras de poliamida se debe a que, al aumentar la temperatura, se generan sitios de

enlace iónico en las fibras textiles y disminuye el pH del baño de tintura, de manera que se aumentan los grupos amino protonados, es aquí donde el colorante se fija aniónicamente a la fibra.

3.4.5.1 Colorante Negro ácido propuesto. Es un colorante complejo-metálico, que contiene dos grupos sulfonados, por lo tanto, presenta una alta afinidad por las fibras de poliamida y muy buenos resultados de solidez. Es muy estable al formar diferentes tricromías, permitiendo obtener un teñido uniforme sin presencia de rayado o mareo, esto debido a que el colorante reacciona con cada una de las fibras de poliamida a lo largo de la superficie de la tela. Al igual que los colorantes estándar, la temperatura de agotamiento requerida es de 105°C por un tiempo de 30 minutos. Requiere de pH bajos entre 4 y 3 a lo largo de la curva de tintura, el colorante se puede trabajar en concentraciones entre 1.5% y 6%. Este colorante cumple con la normativa OEKO-TEX, no contiene compuestos que pueden ser tóxicos para el ser humano y el medio ambiente.

3.4.5.2 Colorante rojo brillante propuesto. Es un colorante complejo metálico con presencia de cromo (Cr), permitido según la normativa, este colorante cumple con todos los estándares de la norma OEKO-TEX, por lo tanto, no contiene sustancias que son tóxicas para el ser humano y para el medio ambiente. Compuesto por dos grupos sulfonados que permite buenos resultados en las pruebas de calidad y buena estabilidad en el proceso de teñido de fibras de poliamida. Según las especificaciones en ficha técnica suministrada por el proveedor, es un colorante con una alta afinidad por las fibras de poliamida, se utiliza para procesos en relación de baño 1:10, la curva de agotamiento se da en temperaturas entre 105 y 110°C es posible implementar concentraciones entre 0.05% y 2% del colorante para lograr los diferentes tonos deseados. Para un buen proceso de agotamiento es necesario de pH bajos entre 4 y 3, el cual debe ser estable durante el proceso.

3.4.5.3 Colorante amarillo brillante propuesto. Este colorante ácido se clasifica entre los colorantes complejo-metálicos, los cuales contienen cromo (Cr) en su cadena. Este colorante cumple con toda la normativa OEKO-TEX, por lo tanto, este colorante no contiene sustancias que pueden ser tóxicas para el ser humano y el medio ambiente. El colorante amarillo brillante que se propone es un colorante con una alta afinidad por las fibras de poliamida y presenta buenos resultados en las pruebas de calidad debido a que presenta en su cadena dos grupos sulfonados que permiten mayor estabilidad en el proceso de teñido. Según la ficha técnica proporcionada por el proveedor, es un colorante cuya temperatura de agotamiento se encuentra entre 98 y 105°C, requiere pH bajos para lograr reaccionar de manera estable con la fibra de poliamida, entre 4 y 3. Este colorante se trabaja en

concentraciones entre 0.05 y 2%. Tiene la ventaja de poder comprarse mínimo 15Kg.

3.4.5.4 Colorante turquesa propuesto. Es un colorante complejo-metálico con presencia de cromo (Cr) en la cadena, contiene dos grupos sulfonados, presenta alta afinidad por las fibras de poliamida y altos resultados en las pruebas de calidad. Al igual que los colorantes anteriores, es un colorante que requiere una temperatura de agotamiento entre 98° y 105°C y pH bajos entre 4 y 3 para lograr reaccionar con la fibra de poliamida. Este colorante se puede trabajar en concentraciones entre 0.05 y 2%. Cumple con toda la normativa OEKO-TEX, no se exceden los niveles mínimos de sustancias tóxicas como bencenos, toluenos, metales pesados, formaldehído o plaguicidas. Además, es un producto con alta disponibilidad, ya que se encuentra disponible en menos de 15 días en donde se pueden adquirir mínimo 15 Kg.

3.4.5.5 Colorante amarillo propuesto. Consiste en un colorante complejo-metálico el cual contiene tres grupos sulfonados, presenta alta afinidad por las fibras de poliamida y muy buenos resultados de solidez. Es muy estable al formar deferentes tricromías permitiendo obtener un teñido uniforme sin presencia de rayado o mareo, debido a que el colorante reacciona con cada una de las fibras de poliamida a lo largo de la superficie de la tela. Al igual que los colorantes anteriores, la temperatura de agotamiento requerida es de 105°C por un tiempo de 30 minutos. Requiere de pH bajos entre 4 y 3 a lo largo de la curva de tintura. Según la ficha técnica suministrada por el proveedor el colorante se puede trabajar en concentraciones entre 0.1% y 4%. Cumple con la normativa OEKO-TEX, no contiene compuestos que pueden ser tóxicos para el ser humano y el medio ambiente.

3.4.5.6 Colorante azul propuesto. Colorante complejo-metálico el cual contiene tres grupos sulfonados, presenta alta afinidad por las fibras de poliamida y muy buenos resultados de solidez. Es muy estable al formar diferentes tricromías, lo que permite obtener un teñido uniforme sin presencia de rayado o mareo, debido a que el colorante reacciona con cada una de las fibras de poliamida a lo largo de la superficie de la tela. Al igual que los colorantes anteriores, la temperatura de agotamiento requerida es de 105°C por un tiempo de 30 minutos. Requiere de pH bajos entre 4 y 3 a lo largo de la curva de tintura. Según la ficha técnica suministrada por el proveedor, el colorante se puede trabajar en concentraciones entre 0.1% y 5%. Es utilizado especialmente para el teñido de tonos medios y oscuros. Cumple con la normativa OEKO-TEX, no contiene compuestos que pueden ser tóxicos para el ser humano y el medio ambiente.

3.4.6 Fijador para poliamida propuesto. Es un agente de tratamiento posterior y de reserva para poliamida y sus mezclas, es un derivado de sulfonato aromático, el cual es compatible con compuestos aniónicos y no aniónicos. Como agente de fijación permite la mejora de los resultados de las pruebas de solidez tanto de los productos de los procesos de tintura como de los procesos de estampación sobre fibras de poliamida y lana con colorantes ácidos y complejo metálicos. Se deben adquirir mínimo 20Kg del producto, cumple con la normativa OEKO-TEX, no presenta sustancias como bencenos, toluenos, formaldehído o plaguicidas que pueden ser tóxicos no solo para el ser humano y sino para el medio ambiente en general.

Este fijador puede implementarse en el proceso de teñido de fibras de poliamida con la misma curva de tintura descrita en la gráfica 2, ya que se debe adicionar temperatura ambiente a un pH entre 4 a 4.5 en compañía de una solución ácida, el baño de tintura alcanzará una temperatura de 80°C durante 20 minutos. Las concentraciones recomendadas de este producto se encuentran en un rango entre 2-4% sobre peso del tejido, lo cual depende del tono que se está trabajando, puesto que para tonos medios y oscuros se implementan concentraciones altas.

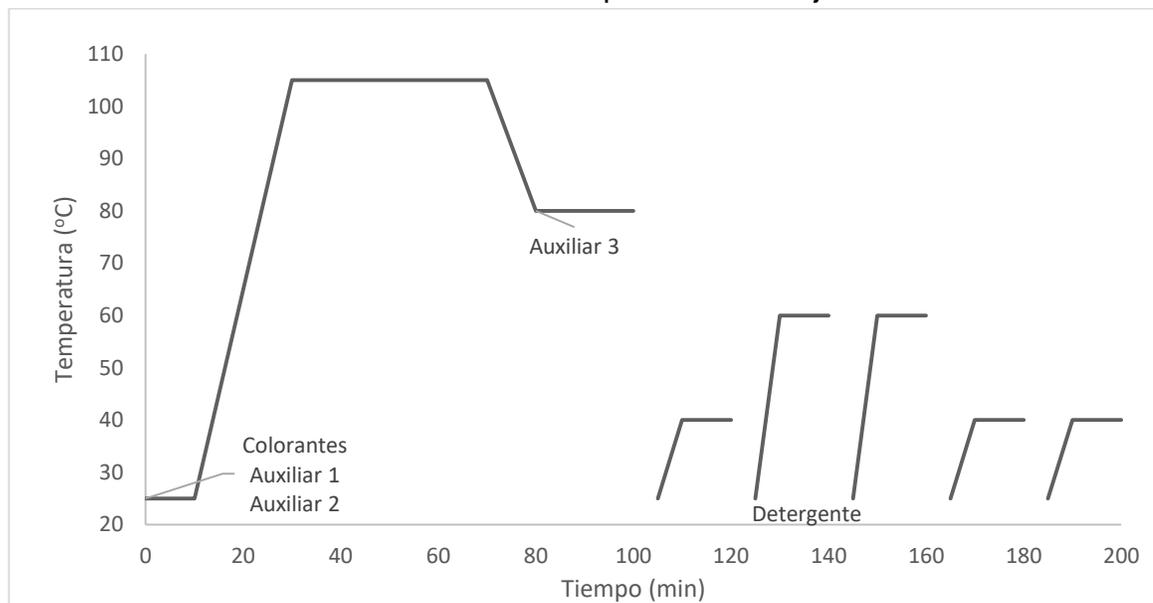
3.4.7 Proceso de Teñido sin Fijado. Con el fin de disminuir los costos de proceso y el número de reprocesos en el teñido de fibras de poliamida, se propone implementar un nuevo tipo de tecnología que se ha venido desarrollando en los últimos años, donde se busca que el proceso de teñido sea limpio y sustentable. En el proceso se contempla modificar la curva de tintura, puesto que se modifican en su totalidad los auxiliares de tintura a implementar, solo se contempla implementar 4 auxiliares de tintura, los cuales permitirán el desarrollo del proceso de teñido.

El proceso consiste en alimentar a temperatura ambiente los colorantes y el auxiliar de tintura uno (0.5%) y dos (0.7g/L), el auxiliar de tintura uno es un compound, el cual reúne una serie de auxiliares de tintura como igualadores, antiespumantes, antiqiebres, humectantes, entre otros, que aseguran la calidad del teñido en la fibra. Por otro lado, el auxiliar de tintura dos se trata de la solución buffer, es decir, en el dador de ácido el cual va a permitir estabilizar el pH del baño de tintura permitiendo de esta manera que ocurra la reacción y la formación del enlace electrocovalente entre el colorante y la fibra de poliamida. Luego de la alimentación se aumenta la temperatura a 105°C durante 40 minutos. Posteriormente, se disminuye la temperatura a 80°C en donde se adiciona el auxiliar de tintura 3 (4%), el cual corresponde a un compound que permite que el colorante que no reaccionó con la fibra de poliamida sea eliminado y mejoren las pruebas de calidad. El agotamiento

a esta temperatura se da durante 20 minutos, se disminuye la temperatura a 60°C y se bota el baño de tintura.

Finalmente, se realiza un proceso de lavado en donde se utiliza el auxiliar de tintura 4, que corresponde a un tensoactivo alquilamonio etoxilado, el cual permite retirar el colorante que se encuentra en la superficie de la fibra y que no reaccionó con ésta. Para el proceso descrito anteriormente, se proponen 5 lavados, el primero y los dos últimos se desarrollan a una temperatura de 40°C durante 10 minutos, implementando únicamente agua. Y el segundo y tercer lavado se realizan a una temperatura de 60°C durante 10 minutos, en donde se utiliza una concentración de 1g/L del detergente (auxiliar tintura 4). A continuación, en la gráfica 9 se puede observar la curva de tintura descrita anteriormente, para la propuesta de teñido de fibras de poliamida en el cual no se implemente el proceso de fijado.

Gráfica 9: Proceso de teñido de fibras de poliamida sin fijado.



Fuente: elaboración propia en base ficha técnica del proceso

Con base en los resultados de la matriz de selección se logró determinar cuáles son los colorantes y auxiliares de tintura que cumplen con la normativa OEKO-EX, presentan una buena disponibilidad, bajos precios y puede ser implementada en el proceso actual sin que se presenten grandes modificaciones en las curvas de tinturas establecidas actualmente por PROTELA S.A., con estas materias primas se pretende mejorar el proceso de teñido y de blanqueo disminuyendo el consumo de las mismas, de agua y de energía y, el número de reprocesos que se presentan actualmente.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA

En el presente capítulo se hablará acerca de los resultados obtenidos al evaluar los diferentes colorantes y auxiliares de tintura seleccionados anteriormente, con el fin de mejorar el proceso de teñido y blanqueo de fibras de poliamida. Además, se describirá el procedimiento experimental de cada auxiliar de tintura por medio de diagramas de flujo. Cabe resaltar que cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura se evaluaron de manera individual con el fin de evaluar los resultados al modificar una sola variable.

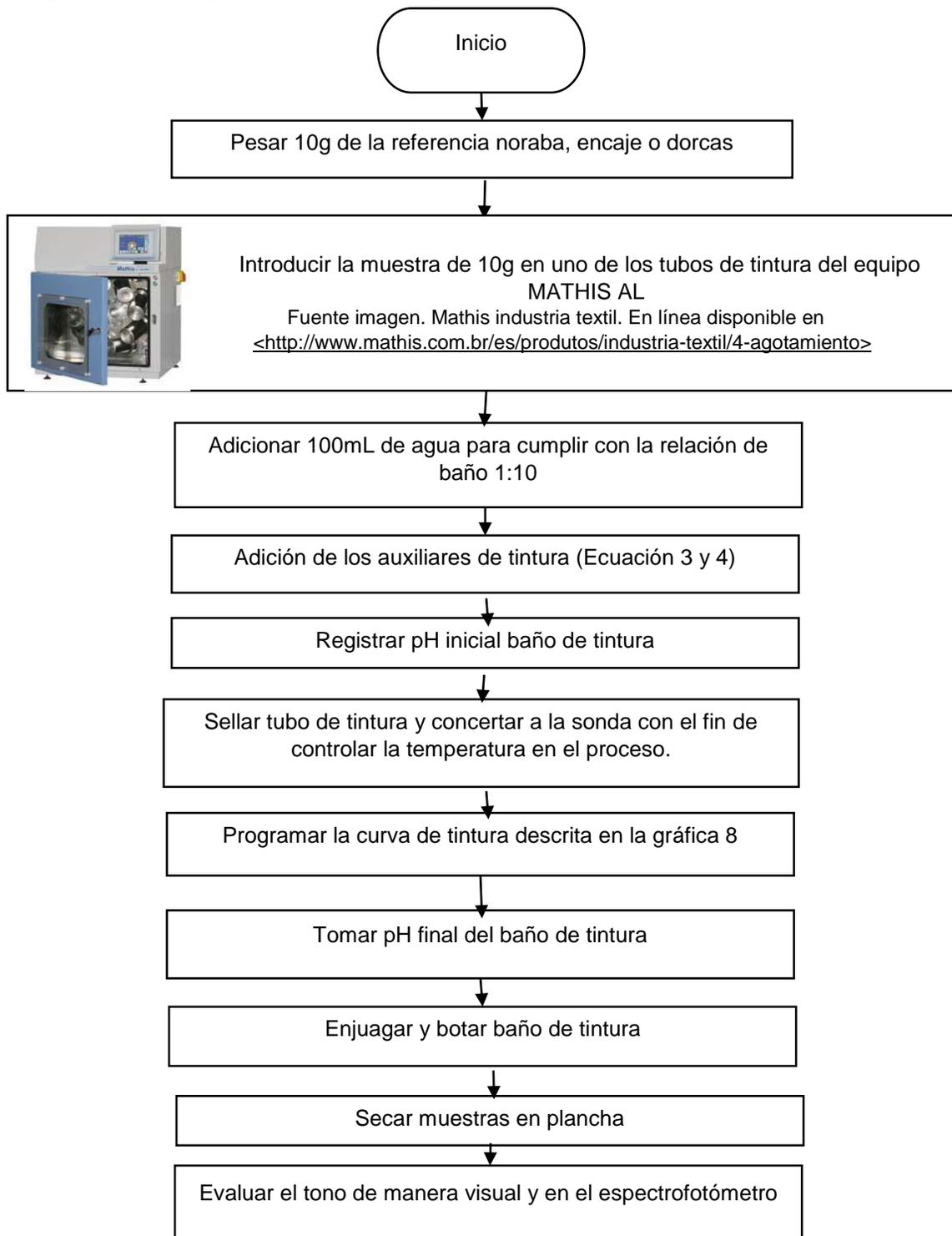
Igualmente, se encontrará el resultado de los diferentes ensayos realizados a nivel de laboratorio y/o a nivel de planta, para cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura propuestos. Cada una de las muestras obtenidas de cada ensayo se evaluaron de manera cualitativa y cuantitativa, por medio del espectrofotómetro y las lecturas de las coordenadas CIEL LAB, de las pruebas de solidez y de manera visible en la cabina de tonos.

4.1 BLANQUEADOR ÓPTICO

Como se ha descrito a lo largo del presente trabajo, el tono blanco es uno de los procesados en PROTELA S.A., representando el 15% de la producción de fibras de poliamida procesadas. Según la matriz de selección se propone implementar un blanqueador óptico el cual se adapta a la curva de tintura actual puesto que no se requiere modificar condiciones de operación como temperatura, gradiente de temperatura, relación de baño y pH. Este auxiliar de tintura presenta un matiz azul/rojizo, por lo cual se propone eliminar el uso de solución matizante. Este auxiliar de tintura se evaluó a nivel de laboratorio, planta piloto y planta como se muestra a continuación:

4.1.1 Evaluación matiz del blanqueador óptico. Inicialmente se evaluó el matiz del blanqueador óptico propuesto, para ello se realizaron 3 montajes a nivel de laboratorio implementando la máquina de tintura la MATHIS ALT, en la cual se programó la curva de tintura descrita en la gráfica 8. Para evaluar el matiz se tuvo en cuenta la ficha técnica y se evaluó a diferentes concentraciones 0.5%, 1% y 3% en la referencia noraba, se realizaron 3 réplicas de cada una de las concentraciones seleccionadas como se observa en el anexo 1. Estos ensayos se realizaron con 10g de la referencia noraba cada uno, en donde se tuvo en cuenta las condiciones de operación como relación de baño (1:10), temperatura (105°C), gradiente de temperatura (1°C/min), pH inicial (7-6.5) y pH final (4.5- 4). A continuación, en el diagrama 5 se describe el procedimiento que se llevó a cabo para realizar dichos ensayos a nivel de laboratorio.

Diagrama 5. Diagrama de flujo blanqueo fibras de poliamida a nivel laboratorio



Fuente: elaboración propia en base en Protela S.A

Como se observa en el anexo 1, al evaluar los resultados de manera visual con el blanqueador óptico propuesto se encontró que este presenta un matiz violeta, el cual se intensifica al aumentar la concentración del blanqueador óptico. Este matiz es similar al tono blanco de PROTELA S.A. por lo cual se propone formular dicho tono en las diferentes referencias (noraba, encaje y dorcas) sin implementar la solución matizante.

4.1.2 Desarrollo tono blanco en las referencias de enaje, noraba y dorcas. Con base en los resultados cualitativos del matiz del blanqueador óptico propuesto a diferentes concentraciones, se propone desarrollar el tono blanco implementando únicamente dicho blanqueador y suprimiendo el uso de la solución matizante, ya que como se observa en el anexo 1 el blanqueador óptico propuesto aumenta el espectro visible a las coordenadas azul/ rojo por lo cual logra la sensación de blancura requerida por PROTELA S.A. eliminado el uso de solución matizante. De esta manera, se desarrolló el tono blanco en las referencias de encaje, noraba y dorcas para muestras de 10g a nivel de laboratorio. Se propuso implementar las mismas concentraciones que se implementan con el blanqueador óptico actual, pero eliminando la solución matizante, ya que como se explicó anteriormente el blanqueador óptico actual presenta un matiz azul/verde por lo cual para alcanzar el grado de blancura exigido (matiz azul/rojo) se requiere de la solución matizante la cual presenta un matiz rojizo.

Para cada una de las referencias de tela se realizaron 3 réplicas implementando el blanqueador óptico propuesto y siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama 5. Al igual que en los ensayos anteriores se controlaron las condiciones de operación como temperatura, gradiente de temperatura, relación de baño, pH inicial y pH final. Los ensayos se realizaron siguiendo la fórmula de tintura descrita a continuación en la tabla 16. En donde se evidencia que las concentraciones de los auxiliares de tintura tanto del proceso actual como del proceso propuesto son las mismas exceptuando el uso de solución matizante en el proceso propuesto.

Tabla 16. Ensayos a nivel de laboratorio con el blanqueador propuesto en las diferentes referencias de tela

Auxiliar Tintura	Noraba		Dorcas		Encaje	
	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta	Actual	Propuesta
Blanqueador actual	2.5%	-	3%	-	2,76%	-
Blanqueador Propuesto	-	2.5%	-	3%	-	2,76%
Dador de Ácido	1 g/L	1 g/L	1 g/L	1 g/L	1 g/L	1 g/L
Solución matizante	0.005%	-	0.005%	-	0.005%	-

Fuente: elaboración propia

Una vez se realizaron los ensayos y se secaron las muestras, se evaluó el tono de por medio del espectrofotómetro implementando las coordenadas CIE LAB. Como se explicó anteriormente el tono se evalúa con respecto al tono patrón registrado en el espectrofotómetro. En donde las coordenadas CIE LAB arrojan un delta en luminosidad (dl), coordenada verde/rojo (da) y coordenada azul/amarillo (db). Para el tono blanco el valor de las coordenadas db debe encontrarse en un rango entre -1.5 y -2.5. Mientras que las coordenadas dl y da deben estar en un rango entre -1 y 1 como se explicó en la tabla 3. Los resultados para cada uno de los ensayos en las diferentes referencias fueron los siguientes

4.1.2.1 Referencia noraba. Se obtuvieron resultados de calidad altos, no se registraron manchas y en la cabina de tonos se evidenció que el blanqueador se agotó correctamente. Al evaluar los resultados del tono en el espectrofotómetro tanto de la muestra con el proceso actual como para las muestras con el proceso propuesto, se encontró que con el blanqueador óptico propuesto el tono se cumple con las especificaciones requeridas por PROTELA S.A. ya que estos se encuentran en los rangos establecidos a diferencia de la muestra obtenida con el proceso actual. Lo cual se encuentra registrado a continuación en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados blanqueo de la fibra noraba a nivel laboratorio.

Blanqueador actual		Blanqueador Propuesto Ensayo 1		Blanqueador Propuesto Ensayo 2		Blanqueador Propuesto Ensayo 3	
Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor
DL	-1.01	DL	-0.51	DL	-0.53	DL	-0.55
DA	1.30	DA	0.30	DA	0.25	DA	0.28
DB	-2.56	DB	-2.31	DB	-2.29	DB	-2.30

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla 17 el blanqueador óptico propuesto presenta una buena reproducibilidad ya que el tono blanco con dicho blanqueador y sin la solución matizante en los tres ensayos presentan coordenadas CIE LAB muy similares entre sí y que cumplen con el tono establecido por PROTELA S.A. Además, se puede evidenciar que se presentan mejores resultados en cuanto al tono con el blanqueador propuesto que con el blanqueador actual. Ya que los resultados del tono con el blanqueador actual se encuentran fuera de los rangos establecidos por PROTELA S.A (Tabla 3)

4.1.2.2 Referencia dorcas. En la referencia dorcas al igual que en la referencia noraba, se pudo observar en la cabina de tonos bajo luz ultravioleta que el blanqueador óptico propuesto agotó correctamente. También se encontró que en esta referencia el blanqueador óptico propuesto presenta mejores resultados en el tono que el blanqueador actual. Además, el blanqueador propuesto presenta una

buena reproducibilidad puesto que los valores de las coordenadas CIE LAB son valores muy similares entre sí y se encuentran en el rango establecido por PROTELA S.A.

Tabla 18. Resultados blanqueo de la fibra dorcas a nivel laboratorio.

Blanqueador actual		Blanqueador Propuesto Ensayo 1		Blanqueador Propuesto Ensayo 2		Blanqueador Propuesto Ensayo 3	
Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor
DL	-0.11	DL	-0.61	DL	-0.55	DL	-0.58
DA	1.15	DA	0.99	DA	0.95	DA	0.94
DB	-1.67	DB	-1.56	DB	-1.60	DB	-1.57

Fuente: elaboración propia

4.1.2.3. Referencia de Encaje. Se evaluaron las muestras de manera visible y se encontró que el blanqueador propuesto agotó de manera homogénea tanto en el encaje como en el tul. Al evaluar los resultados de las coordenadas CIEL LAB, se encontró que el tono se alcanza con el blanqueador propuesto actual al encontrarse en el rango establecido por PROTELA S.A. Además, se puede evidenciar en la tabla 19 que con el blanqueador óptico propuesto se logra una buena reproducibilidad.

Tabla 19. Resultados blanqueo de la fibra de encaje a nivel laboratorio.

Blanqueador actual		Blanqueador Propuesto Ensayo 1		Blanqueador Propuesto Ensayo 2		Blanqueador Propuesto Ensayo 3	
Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor
DL	-1.06	DL	-0.84	DL	-0.75	DL	-0.81
DA	0.96	DA	0.37	DA	0.40	DA	0.42
DB	-3.47	DB	-2.20	DB	-2.25	DB	-2.23

Fuente: elaboración propia

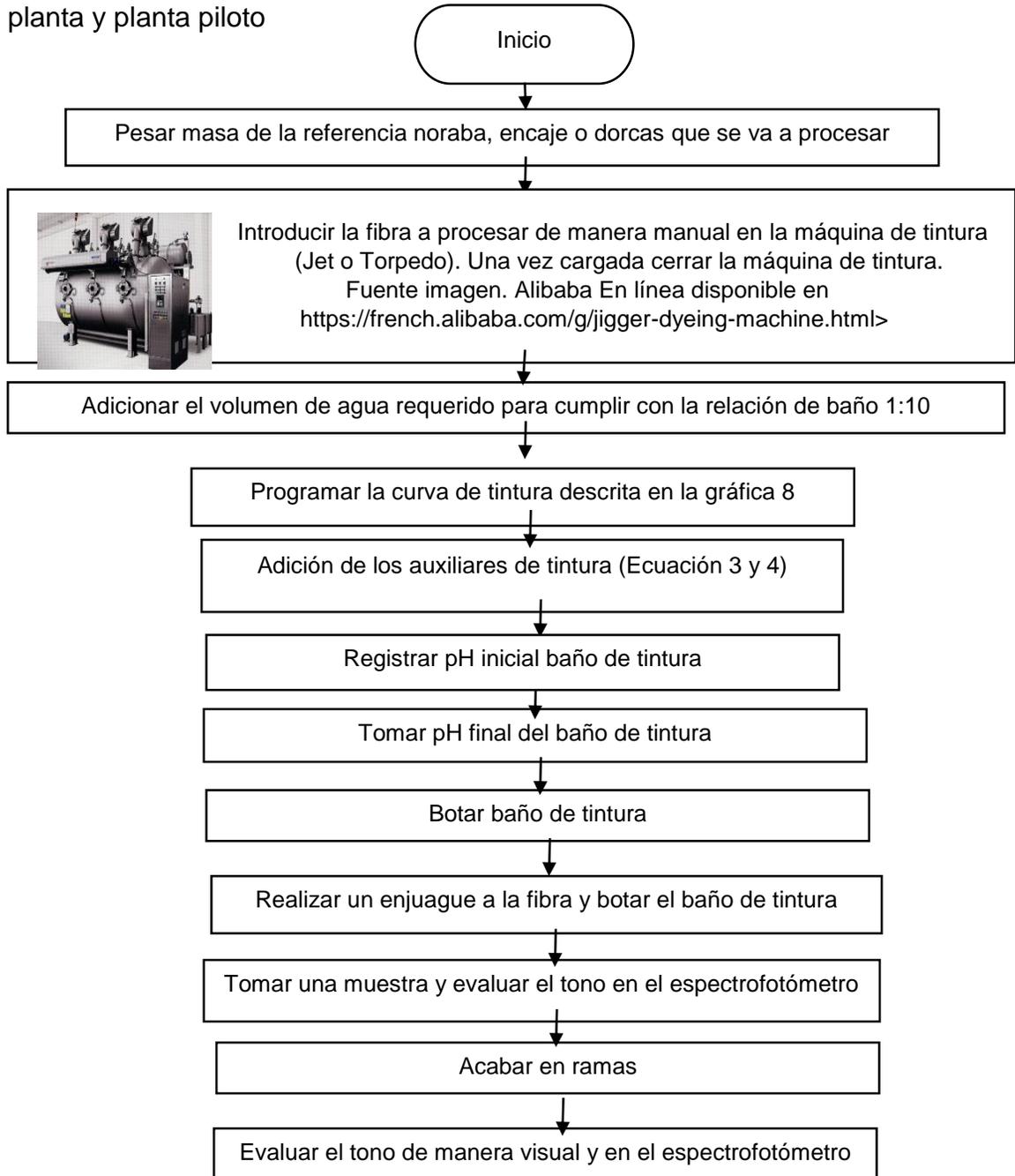
4.1.3. Evaluación proceso de blanqueo a nivel de planta piloto y de planta.

Como los resultados obtenidos con el blanqueador óptico propuesto a nivel laboratorio fueron satisfactorios, se realizó un ensayo a nivel planta piloto para una muestra de 650g de la referencia dorcas y un ensayo a nivel de planta para un lote de 236.40Kg de la referencia noraba. Estos ensayos se realizaron con el fin de determinar si existía una buena reproducibilidad del proceso, así como para evaluar si el tono blanco con el nuevo blanqueador óptico se veía afectado cuando la fibra es sometida a acabado en ramas.

El acabado en ramas es un proceso en el cual se somete la fibra a temperaturas mayores a 100°C, donde en ocasiones se ha visto que el tono blanco se ve afectado con el blanqueador actual, el tono tiende a pasar al cuadrante amarillo (db positivo), perdiendo la sensación de blancura que percibe el ojo humano. Por esta razón es

necesario evaluar la estabilidad que presenta el blanqueador óptico propuesto en al ser la fibra secada y acabada en ramas. En el diagrama 6 se encuentra el procedimiento que se llevó a cabo a nivel de planta y a nivel de planta piloto para el proceso de blanqueo de fibras de poliamida

Diagrama 6. Diagrama de flujo proceso de blanqueo fibras de poliamida a nivel de planta y planta piloto



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

4.1.3.1 Ensayo a nivel de planta piloto. Los ensayos se realizaron en el Jet de la planta piloto del laboratorio química de PROTELA S.A. para dos muestras de la referencia dorcas, el primero de 650g y el segundo de 600g. Estos corresponden a solicitudes de clientes, los cuales requieren dichas cantidades para continuar con la cadena textil. Estos ensayos se realizaron implementando el blanqueador óptico propuesto y eliminado el uso de la solución matizante; las concentraciones correspondientes para dicha fibra de los diferentes auxiliares de tinte implementados (dador de ácido, blanqueador óptico) se encuentran descritos en la tabla 16. En el diagrama 6, se describe el procedimiento que se llevó a cabo para realiza el proceso de blanqueo a nivel de planta piloto. En donde se observa que el tono debe ser evaluado tanto después del proceso de blanqueo como después del acabado en ramas. Los resultados obtenidos se encuentran a continuación en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados proceso de blanqueo para la referencia dorcas a nivel de planta piloto implementando el blanqueador óptico propuesto.

Blanqueador Propuesto Ensayo 1 (650g)				Blanqueador Propuesto Ensayo 2 (600g)			
Después de blanqueo		Después acabado en ramas		Después de blanqueo		Después acabado en ramas	
Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor
DL	-1.34	DL	-0.92	DL	-1.26	DL	-0.95
DA	0.96	DA	0.99	DA	1.02	DA	0.97
DB	-1.29	DB	-1.55	DB	-1.32	DB	-1.59

Fuente: elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos, se puede observar que el blanqueador óptico presenta una alta estabilidad al cambio de temperatura, además de la ventaja de que, al realizar el termo-fajado, la tela presenta un DB menor lo que representa un aumento en la coloración azul, lo que beneficia al producto final al aumentar la zona visible y dar mayor sensación de blanco. Igualmente, con los resultados obtenidos se puede observar que existe una buena reproducibilidad, es decir, que el tono es muy similar al resultado obtenido a nivel de laboratorio.

4.1.3.2 Ensayo a nivel de planta. Se realizaron dos ensayos a nivel de planta en el Jet para dos lotes de 233.4Kg y 255.7Kg de la referencia noraba. Dichos lotes corresponden a demandas requeridas por los clientes. En el proceso se controlaron las condiciones de operación como temperatura, gradiente de temperatura, pH inicial, pH final y relación de baño, de manera que se siguió la curva de tinte descrita en la gráfica 8. Se realizaron dichos ensayos a nivel de planta siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama 6, con el fin de determinar si el blanqueador óptico propuesto presenta una buena reproducibilidad. Los resultados de las coordenadas CIE LAB se encuentran a continuación en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados proceso de blanqueo para la referencia noraba a nivel de planta implementando el blanqueador óptico propuesto.

Blanqueador Propuesto Ensayo 1 (233.4Kg)				Blanqueador Propuesto Ensayo 2 (255.7Kg)			
Después de blanqueo		Después acabado en ramas		Después de blanqueo		Después acabado en ramas	
Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor	Delta	Valor
DL	-0.43	DL	-0.51	DL	-0.46	DL	-0.51
DA	0.20	DA	0.25	DA	0.33	DA	0.36
DB	-2.14	DB	-2.25	DB	-2.22	DB	-2.31

Fuente: elaboración propia

Con base en estos resultados se puede observar que existe una buena reproducibilidad del proceso, ya que los resultados obtenidos a nivel de laboratorio son muy similares a los que se obtuvieron en los ensayos a nivel de planta. Con los resultados obtenidos se puede concluir que es posible implementar el blanqueador óptico propuesto en el proceso de blanqueo de fibras de poliamida, eliminado el uso de la solución matizante. Los resultados de calidad muestran que con dicho blanqueador no se presenta teñido desigual, manchas o mareo, además al evaluar visiblemente se observa que el blanqueador logra el grado de blancura requerido por PROTELA S.A, en donde los valores de las coordenadas CIE LAB se encuentran en los rangos establecidos

4.2 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA

Como se ha descrito a lo largo del proyecto, en el teñido de fibras de poliamida se implementan diferentes colorantes y auxiliares de tintura durante el proceso. Cada uno de los auxiliares de tintura y colorantes seleccionados se evaluaron de manera individual y se compararon los resultados con los que se obtienen al implementar los colorantes y los auxiliares de tintura actuales. Los ensayos se realizaron siguiendo la siguiente formula de tintura.

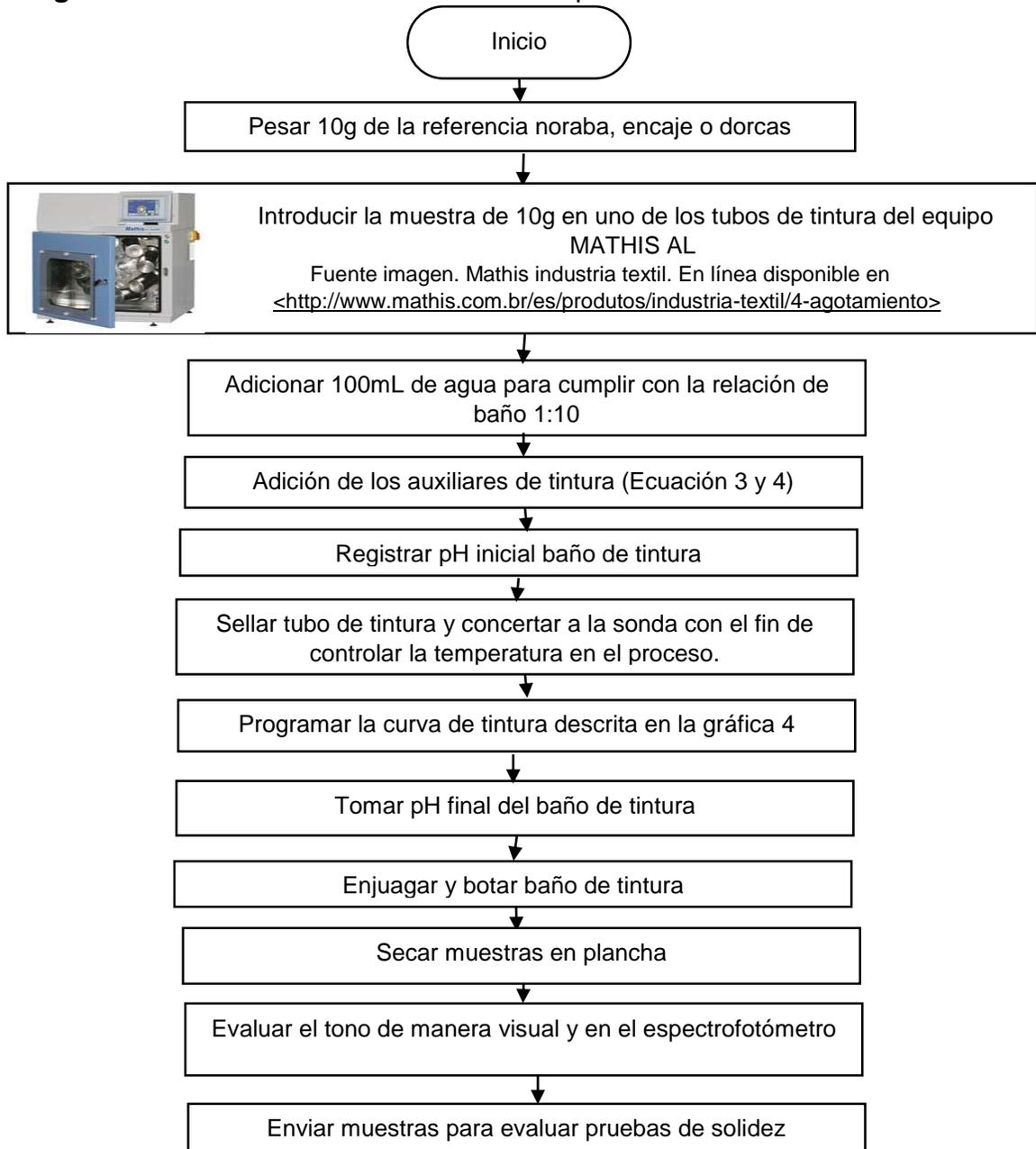
Tabla 22. Formula de tintura proceso de teñido fibras de poliamida

Etapas del Proceso	Colorante/Auxiliar de tintura	Concentración
Teñido	Colorantes Ácidos	2-4%
	Igualador	2%
	Dador de ácido	1g/L
Lavado	Detergente	2g/L
	Solución ácida	1g/L
Fijado	Fijador	3.5%
	Solución ácida	1g/L

Fuente: elaboración propia

A nivel de laboratorio se evaluaron los colorantes propuestos, el dador de ácido propuesto, el igualador propuesto y el fijador propuestos. Para ello se utilizaron muestras de tela de 10g, puesto que la máquina de tintura implementada fue la MATHIS ALT en donde cada uno de los tubos de tintura tienen una capacidad máxima de 500mL. El procedimiento que se llevó a cabo en el laboratorio se encuentra a continuación en el diagrama

Diagrama 7. Proceso de teñido de fibras de poliamida a nivel de laboratorio



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

4.2.1 Colorantes Propuestos. Con el fin de mejorar los resultados de las pruebas de calidad, se evaluaron los colorantes ácidos que cumplían con todos los parámetros descritos en la matriz de selección requeridos en PROTELA S.A. Los colorantes: amarillo, amarillo brillante, rojo brillante, azul y negro. Se evaluaron a nivel de laboratorio en muestras de 10g de la referencia dorcas cada una. Los ensayos se realizaron en la máquina de tintura MATHIS ALT, siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama 7. Se realizó un montaje para cada uno de los colorantes actuales y para cada uno de los colorantes propuestos implementando las concentraciones registradas en la tabla 23. Este ensayo se realizó con el fin de determinar si los colorantes actuales pueden ser reemplazados por los colorantes propuestos.

Tabla 23. Concentraciones ensayos colorantes propuestos

Colorante	Concentración
Colorante Negro 1 Propuesto	4%
Colorante Negro Actual	4%
Colorante Amarillo Brillante Propuesto	2%
Colorante Amarillo Brillante Actual	2%
Colorante Rojo Brillante Propuesto	2%
Colorante Rojo Brillante Actual	2%
Colorante Turquesa Propuesto	2%
Colorante Turquesa Actual	2%
Colorante Azul Propuesto	2%
Colorante Azul Actual	2%
Colorante Amarillo Propuesto	2%
Colorante Amarillo Actual	2%

Fuente: elaboración propia

Una vez se ha completado la curva de tintura se evalúa por medio del espectrofotómetro el matiz de los colorantes propuestos, para ello se implementan las coordenadas CIE LAB, en donde se compara el matiz de los colorantes propuestos con respecto a los colorantes actuales. Las coordenadas CIE LAB para los tonos diferentes al blanco deben presentar valores cercanos a ceros, a continuación, en la tabla 24 se encuentran los rangos en los cuales debe encontrarse el tono para que sea aceptado por PROTELA S.A.

Tabla 24. Rango Coordenadas CIE LAB para tonos diferentes al blanco

Delta	Rango
DL	-1 y 1
DA	-1 y 1
DB	-1 y 1

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

Los resultados al evaluar el matiz de los colorantes propuestos se encuentran a continuación en la tabla 25, en donde se puede observar que los colorantes: negro, amarillo, amarillo brillante, azul y rojo brillante presentan un matiz muy similar a los colorantes actuales ya que los valores de las coordenadas CIE LAB son valores muy cercanos a cero. Sin embargo, el colorante turquesa presenta un matiz más azul y más rojo, por lo tanto no se podría implementar como el sustituto del colorante turquesa actual. En las imágenes que se encuentran en la tabla 25 se observa las muestras obtenidas después del proceso de teñido en donde las muestras ubicadas al lado izquierdo corresponden a las fibras que fueron teñidas con los colorantes actuales y al lado derecho se encuentran las muestras de fibra que fueron teñidas con los colorantes propuestos.

Tabla 25. Resultados matiz colorantes propuestos con respecto a los actuales

COLORANTE		RESULTADO	
Negro 1		Delta	Valor
		DL	-0.02
		DA	-0.01
		DB	-0.02
Amarillo Brillante		Delta	Valor
		DL	0.19
		DA	-0.18
		DB	0.92
Rojo Brillante		Delta	Valor
		DL	-0.13
		DA	-0.22
		DB	0.99
Turquesa		Delta	Valor
		DL	0.50
		DA	-1.81
		DB	-1.94
Azul		Delta	Valor
		DL	-0.52
		DA	0.35
		DB	0.52
Amarillo		Delta	Valor
		DL	0.66
		DA	-0.12
		DB	0.75

Fuente: elaboración propia

Una vez se evaluó el matiz de cada uno de los colorantes propuestos con respecto a los colorantes actuales, se enviaron las muestras al laboratorio de calidad de PROTELA S.A. en donde se realizaron las pruebas de solidez correspondientes al uso de ropa de baño, las cuales se encuentran regidas por la Asociación Americana de Químicos y Colorantes Textiles (AATCC) en donde las fibras fueron sometidas al lavado, al método Crockmeter (frote seco y frote húmedo) y expuesta al agua de mar y al agua de piscina clorada, como se explicó anteriormente, en las pruebas de solidez se evalúa la transferencia de color (A), el cambio de color (B) y el desangre (C). Los resultados obtenidos fueron los siguientes y se encuentra registrados en el anexo 2.

Tabla 26 Resultados pruebas de solidez colorantes actuales y propuestos

Prueba	Colorante	Colorante Amarillo Brillante Actual			Colorante Amarillo Brillante Propuesto		
		A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)		4.5	4.0	3.0	4.5	4.0	4.0
Agua de Mar (AATCC 106)			3.0			4.0	
Piscina (AATCC 162)		2.0	2.0	4.5	3.5	3.5	4.5
Frote Húmedo (AATCC 08)		4.5			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)		4.5			4.5		
Prueba	Colorante	Colorante Rojo Brillante Actual			Colorante Rojo Brillante Propuesto		
		A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)		4.5	2.5	1.5	4.5	4.0	3.5
Agua de Mar (AATCC 106)			1.0			4.0	
Piscina (AATCC 162)		2.0	2.0	4.0	3.5	3.5	4.0
Frote Húmedo (AATCC 08)		4.0			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)		4.5			4.5		
Prueba	Colorante	Colorante Turquesa Actual			Colorante Turquesa Propuesto		
		A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)		4.5	2.0	2.0	4.5	4.0	4.0
Agua de Mar (AATCC 106)			1.0			4.0	
Piscina (AATCC 162)		4.5	2.0	4.0	4.5	3.5	4.5
Frote Húmedo (AATCC 08)		4.0			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)		2.0			4.5		
Prueba	Colorante	Colorante Amarillo Brillante Actual			Colorante Amarillo Brillante Propuesto		
		A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)		4.5	4.0	3.0	4.5	4.0	4.0
Agua de Mar (AATCC 106)			3.0			4.0	
Piscina (AATCC 162)		2.0	2.0	4.5	3.5	3.5	4.5
Frote Húmedo (AATCC 08)		4.5			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)		4.5			4.5		

Tabla 26. (Continuación)

Prueba	Colorante			Colorante Amarillo		
	Colorante			Propuesto		
	Actual			Propuesto		
	A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)	4.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5
Agua de Mar (AATCC 106)		3.5			4.5	
Piscina (AATCC 162)	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5
Frote Húmedo (AATCC 08)	4.5			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)	4.5			4.5		

Prueba	Colorante			Colorante Azul		
	Colorante			Propuesto		
	Actual			Propuesto		
	A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)	4.0	4.0	3.0	4.5	4.0	4.0
Agua de Mar (AATCC 106)		3.0			4.0	
Piscina (AATCC 162)	4.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0
Frote Húmedo (AATCC 08)	4.5			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)	4.5			4.5		

Prueba	Colorante			Colorante Negro		
	Colorante			Propuesto		
	Actual			Propuesto		
	A	B	C	A	B	C
Lavado (AATCC 61)	3.5	4.0	2.0	3.5	4.0	4.0
Agua de Mar (AATCC 106)		3.5			4.0	
Piscina (AATCC 162)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5
Frote Húmedo (AATCC 08)	4.5			4.5		
Frote Seco (AATCC 08)	4.0			4.5		

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla 26 los resultados de las pruebas de solidez de las fibras teñidas con los colorantes propuestos son mejores que los resultados obtenidos por las fibras teñidas con los colorantes actuales, razón por la cual es posible reemplazar los colorantes actuales por los colorantes amarillo brillante, amarillo, rojo brillante, azul, negro 1 y negro 2 propuestos, ya que presentan un matiz muy similar y se mejora la calidad del producto final. Posteriormente para evaluar el comportamiento de dichos colorantes al formar tricromías se realizaron 7 ensayos por cada uno de los colorantes a diferentes concentraciones como se observa en el anexo 3, estas concentraciones se seleccionaron según las especificaciones encontradas en cada una de las fichas técnicas de los colorantes propuestos. Esto se realizó, con el fin de alimentar la curva espectral al espectrofotómetro, lo que permitirá formular diferentes tonos con dichos colorantes en donde el espectrofotómetro identificará las concentraciones mínimas y máximas de colorante a implementar en el momento de desarrollar un tono.

Una vez alimentada la curva espectral se formularon los tonos más procesados durante el periodo de enero a agosto de 2018 (Gráfica 3): negro, café, aguamarina, azul, rosado y amarillo, los cuales en su fórmula de tintura contienen los colorantes propuestos. Estos ensayos se realizaron a nivel de laboratorio implementando la máquina de tintura MATHIS ALT en donde se tomaron muestras de tela de 10g de la referencia dorcas y se realizaron dos replicas para cada uno de los tonos desarrollados como se observa en el anexo 4.

A continuación, en la tabla 27 se encuentran los resultados obtenidos al evaluar el tono por medio de las coordenadas CIE LAB:

Tabla 27. Resultados evaluación de tono de fibras teñidas con colorante propuestos

Tono	Colorantes Propuestos	Resultados Ensayo 1	Resultados Ensayo 2
Café	Azul	DL 0,07	DL 0,09
	Amarillo	DA 0,17	DA 0,15
	Rojo	DB -0.45	DB -0.43
Rosado	Amarillo Brillante	DL -1.01	DL -1.04
	Rojo Brillante	DA -0,23	DA -0,25
	Rojo	DB 0,10	DB 0,15
Aguamarina	Turquesa	DL 1,34	DL 1,35
	Azul	DA 1,64	DA 1,68
	Amarillo	DB 2,25	DB 2,66
Azul	Azul	DL 0,66	DL 0,72
	Turquesa	DA -3,56	DA -3,59
		DB 4,43	DB 4,48
Amarillo	Amarillo	DL 0,35	DL 0,37
	Amarillo Brillante	DA 0,97	DA 0,93
		DB -1.00	DB -0.98
Negro	Negro	DL -0.03	DL -0.02
		DA -0.01	DA 0,01
		DB -0.03	DB -0.02

Fuente: elaboración propia

Una vez finalizo el proceso de teñido se evaluó el tono por medio de las coordenadas CIE LAB, en donde se encontró que aquellos tonos en los cuales se implementaban el colorante turquesa propuesto (azul y aguamarina) no se obtenía

el matiz que se requiere para llegar al tono puesto que se encontraba fuera del rango de aceptación de PROTELA S.A. (tabla 24), esto se debe a como se observó anteriormente, el matiz es totalmente distinto, además, al observar visiblemente la fibra se observa teñido desigual y manchas sobre esta, esto indica que el colorante turquesa no cumple con las especificaciones de calidad, por lo tanto, no se recomienda implementar dicho colorante en el proceso de teñido.

Por otro lado, se formuló el tono negro implementando únicamente el colorante negro propuesto a diferencia de del proceso actual que para el desarrollo de dicho tono implementa el colorante negro actual y el colorante rubí actual que se encuentran consignados en la tabla 2. Como se observa en la tabla 19 los resultados del tono según las coordenadas CIE LAB se encuentran en el rango establecido por PROTELA S.A. de manera que se no es necesario el uso de una tricromía para formular el tono negro lo que disminuirá el costo químico al eliminar el colorante rubí del proceso de teñido de fibras de color negro.

4.2.2 Dador de Ácido. Inicialmente se propone implementar el dador de ácido propuesto en fibras de encaje ya que es posible determinar si el colorante agotó de manera correcta tanto en el diseño como en el tul de esta fibra. Además, con base en la ficha técnica suministrada por el proveedor, se indica que el pH durante el proceso de teñido es más estable en fibras de encaje que en fibras de las referencias noraba y dorcas, esto se debe a la máquina de tintura a implementar, ya que las fibras de encaje por ser delicadas y presenta una resistencia a la ruptura menor que las fibras de las referencias noraba y dorcar se deben teñir en torpedo en donde el baño de tintura es el que circula a través de la fibra. Para realizar el ensayo se tomaron muestras de tela de encaje de 10g y realizó el proceso de teñido de los tonos beige, azul, rojo y negro, como se dijo anteriormente se tomaron las mismas concentraciones que se implementan en el proceso actual (tabla 23). Para cada uno de los tonos desarrollados con el dador de ácido propuesto se realizaron 3 réplicas.

Como se explicó anteriormente el dador de ácido en el proceso de teñido de fibras de poliamida tiene la función de mantener estable el pH, lo que permite que el colorante reaccione de manera correcta con la fibra de poliamida, lo que se ve reflejado en la fibra luego del proceso de teñido en donde el colorante debe reaccionar de la misma manera en el diseño como en el tul. Es necesario evaluar el pH inicial y el pH final del baño de tintura, el pH inicial debe estar en un rango entre 7 y 6.5 y el pH final entre 4.5 y 4 lo que indicara que el proceso de teñido se llevó a cabo a las condiciones de operación adecuadas.

A continuación, en la tabla 28 se registró el pH inicial y el pH final tanto del proceso con el dador de ácido actual como con el dador de ácido actual, en donde se observa que el pH con el dador de ácido propuesto se encuentra en el rango establecido por PROTELA S.A lo que indica que es posible implementar dicho auxiliar de tintura en el proceso de teñido de fibras de poliamida en las referencias de encaje. Además, con base en los resultados obtenidos se observa que, con el dador de ácido propuesto, el pH final es mayor con respecto a pH final obtenido con el dador de ácido actual lo que permite que la fibra luego de un enjuague presente pH neutro entre 6 y 7.

Tabla 28. Resultados pH inicial y pH final ensayos con dador de ácido

Tono	Proceso Actual		Propuesta Ensayo 1		Propuesta Ensayo 2		Propuesta Ensayo 3	
	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
Beige	6.85	4.05	6.65	4.29	6.63	4.26	6.68	4.28
Rojo	6.79	4.17	6.66	4.52	6.65	4.52	6.63	4.50
Azul	7.20	4.17	6.94	4.41	6.98	4.43	6.96	4.41
Negro	6.56	4.28	6.30	4.49	6.28	4.47	6.32	4.50

Fuente: elaboración propia

Con base a los resultados registrados en la tabla 28, se puede observar que el pH tanto inicial como final con el dador de ácido propuesto son muy similares entre sí, esto indica que al implementar dicho auxiliar de tintura permitirá que el proceso no solo sea exacto ya que se cumple con el rango de pH establecido, sino que también sea un proceso con alta precisión. Esto se puede observar de manera visible en el anexo 5, en donde se evidencia que el colorante agoto de la misma manera tanto en el diseño como en el tul de la fibra de encaje en los 3 ensayos de cada uno de los tonos.

4.2.3 Igualador para poliamida. Se propone implementar un igualador de poliamida que como se especificó anteriormente presenta una composición química similar al igualador de poliamida actualmente implementado. Para ello se propone implementar inicialmente el igualador propuesto en fibras de encaje de los tonos más procesados los cuales son el negro, el azul, el beige y el rojo. Se realizaron ensayos a nivel de laboratorio siguiendo el diagrama 7 para muestras de 10g con 2 réplicas por cada uno de los tonos. Se implementó la misma concentración de 2% que se implementa con el igualador actual con el fin de evaluar la calidad del teñido a las mismas condiciones de operación.

A diferencia de los otros auxiliares de tintura los resultados obtenidos con el igualador propuesto solo se pueden evaluar de manera visual en la cabina de tonos simulando luz de oficina, en donde se determina si el colorante reaccionó de manera homogénea tanto en el diseño como en el tul de las fibras de encaje. En la imagen 5 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tonos procesados, la muestra de la derecha corresponde a la muestra procesada con igualador propuesto y la muestra de la izquierda corresponde a la fibra procesada con igualador actual.

Imagen 5. Muestras procesadas con el igualador actual y con el igualador propuesto



Fuente: elaboración propia

En la imagen 5 se observa que las fibras que fueron procesadas con el igualador propuesto (derecha) presentan mejor igualación que aquellas que fueron procesadas con el igualador actual (izquierda) ya que el colorante reaccionó de manera homogénea tanto en el diseño como en el tul de las fibras de encaje, por lo cual es posible reemplazar dicho auxiliar de tintura por el igualador actual con el fin de mejorar los resultados de calidad en las fibras de encaje. En el anexo 6 se encuentran los dos ensayos realizados con el igualador propuesto en donde se observa que existe una buena reproducibilidad ya que el teñido fue homogéneo en ambos casos y no se presenta un teñido desigual entre el diseño y el tul.

Posteriormente se evaluó el igualador propuesto en las fibras de la referencia dorcas, en los tonos café, aguamarina, rosado y rojo. Para dichos ensayos inicialmente se realizó un pretratamiento con este auxiliar de tintura a una concentración de 2% y detergente con una concentración de 2g/L, se realizó en relación de baño 1:10 a una temperatura de 60°C por 20 minutos. Posteriormente

se realizó el procedimiento descrito en el diagrama 7 para una muestra de 10g de dicha fibra. En el anexo 7 se puede observar que las fibras procesadas con el igualador propuesto no presentan un teñido homogéneo, al contrario, se evidencia mareo, rayado y manchado sobre la fibra. Por esta razón se descarta el uso de este auxiliar de tintura para las referencias noraba y dorcas y se propone implementar únicamente en las fibras de encaje.

4.2.4 Fijador para poliamida. Se evaluó este auxiliar de tintura en los tonos negro, vinotinto y azul en referencias de dorcas y noraba. Cada uno de los ensayos propuestos se realizaron a nivel laboratorio siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama 7, para muestras de 10g de fibra siguiendo la curva de tintura descrita en la gráfica 7. El primer ensayo se realizó con el fijador actual a una concentración de 3.5% para cada uno de los tonos, en el segundo y tercer ensayo se implementó el fijador propuesto a concentraciones de 4% y 3.5% respectivamente para cada uno de los tonos. Al finalizar el proceso de teñido se enviaron las muestras al laboratorio de calidad con el fin de evaluar las pruebas de solidez para uso de ropa de baño regidas por la Asociación Americana de Químicos y Colorantes Textiles (AATCC). Los resultados de las pruebas de calidad se encuentran a continuación en la tabla 29, con base en los resultados de dichas pruebas se encontró que es posible implementar el fijador propuesto reemplazando el fijador actual a una concentración de 3.5% ya que se obtienen resultados mejores con este auxiliar de tintura que con el fijador actual. No se recomienda implementar concentraciones mayores puesto que a una concentración de 4% se obtienen los mismos resultados que al implementar una concentración de 3.5%.

Como se observa en las pruebas de solidez para el tono azul no se recomienda implementar el fijador propuesto, ya que las pruebas de solidez presentan valores por debajo de los obtenidos con el fijador actual, esto se debe a que la naturaleza de los colorantes implementados para dicho tono no presenta una buena afinidad con el fijador propuesto, ya que los resultados son los mismos así se incremente la concentración de éste.

Tabla 29. Pruebas de solidez fijador actual vs. Fijador propuesto

				Tono Negro. Referencia dorcas							
Fijador actual 3.5%				Fijador propuesto 4%				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	3.5	4.0	2.0	Lavado	4.0	4.0	4.0	Lavado	4.0	4.0	4.0
Piscina		3.5		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
Mar	4.0	4.0	4.0	Mar	4.0	4.0	4.5	Mar	4.0	4.5	4.5
Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.5			Frote	4.5		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

Tabla 29. (Continuación)

Fijador actual 3.5%				Tono Negro. Referencia noraba				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	3.5	4.0	2.0	Lavado	4.0	4.0	4.0	Lavado	4.0	4.0	4.0
Piscina		4.0		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
Mar	3.5	4.0	4.5	Mar	4.0	4.0	4.5	Mar	4.0	4.0	4.5
Frote Seco	4.0			Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.5			Frote	4.5		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

Fijador actual 3.5%				Tono Vinotinto. Referencia dorcas				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	1.5	4.0	1.0	Lavado	3.5	4.0	2.0	Lavado	3.5	4.0	2.0
Frote Seco	4.0			Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.0			Frote	4.5		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

Fijador actual 3.5%				Tono Vinotinto. Referencia noraba				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	2.5	4.0	2.0	Lavado	4.0	4.0	3.5	Lavado	4.0	3.0	3.5
Piscina		4.0		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
Mar	4.0	4.0	4.5	Mar	4.0	3.5	4.5	Mar	4.0	4.0	4.5
Frote Seco	4.0			Frote Seco	4.0			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.0			Frote	4.0		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

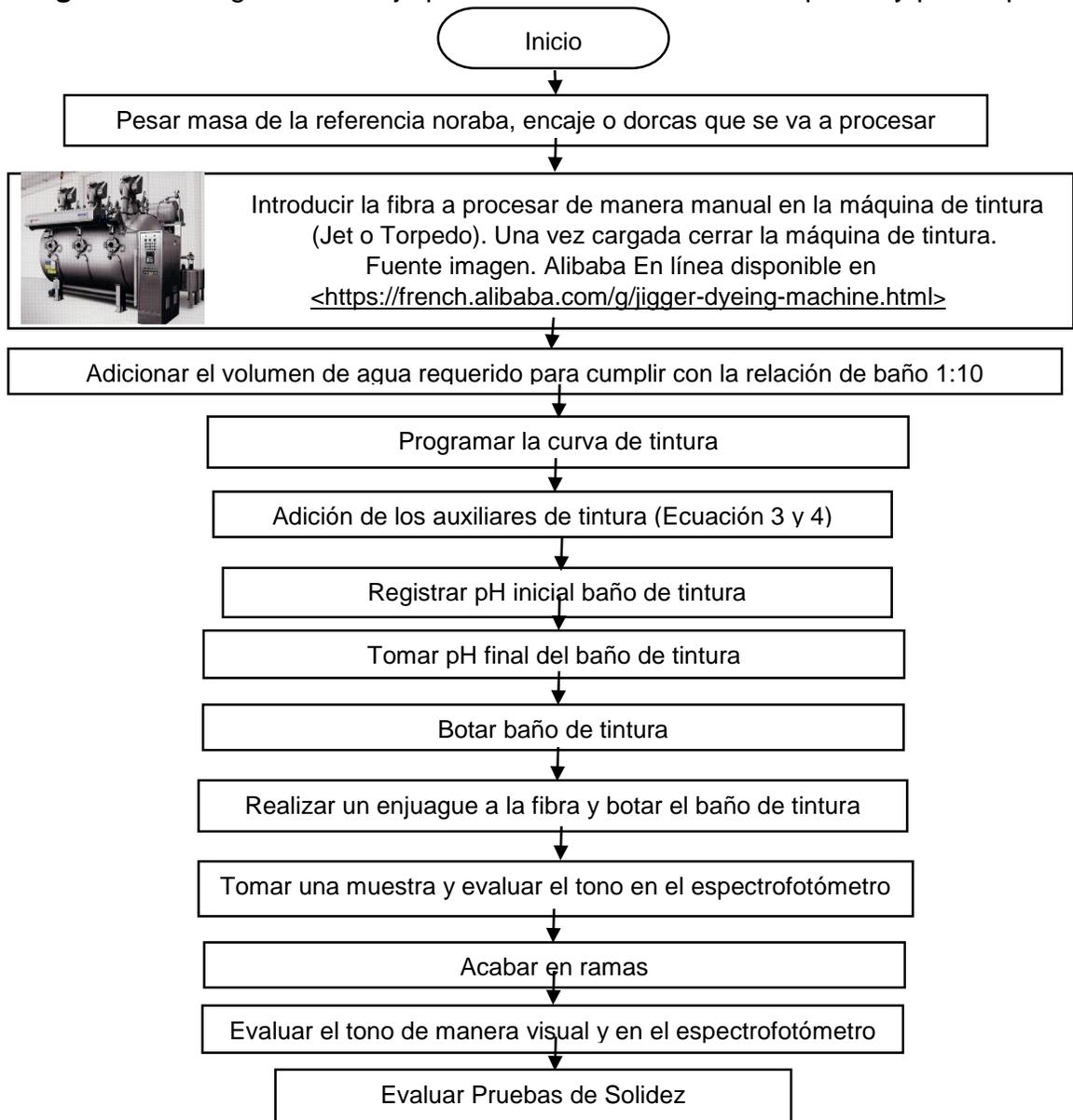
Fijador actual 3.5%				Tono Azul. Referencia dorcas				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	4.0	4.0	2.0	Lavado	4.0	4.0	1.0	Lavado	4.0	4.0	1.0
Piscina		4.0		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
Mar	4.0	4.0	4.5	Mar	3.5	4.0	4.5	Mar	3.5	4.0	4.5
Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.0			Frote	4.0		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

Fijador actual 3.5%				Tono Azul. Referencia noraba				Fijador Propuesto 3.5%			
Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
Lavado	4.0	4.0	2.5	Lavado	4.0	4.0	2.5	Lavado	4.0	4.0	2.5
Piscina		4.0		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
Mar	4.0	4.0	4.5	Mar	3.0	4.0	4.5	Mar	3.0	4.0	4.5
Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
Frote	4.0			Frote	4.0			Frote	4.0		
Húmedo				Húmedo				Húmedo			

Fuente: elaboración propia

4.2.5 Detergente de Poliamida. Para el lavado de fibras de poliamida se propone implementar dos detergentes los cuales como se especificaron anteriormente según la ficha técnica, presentan alta afinidad por las fibras de poliamida a diferencia del detergente actual que presenta mayor afinidad por las fibras de poliéster. Estos ensayos se realizaron a nivel de planta en la referencia dorcas en el tono negro. El procedimiento se llevó a cabo siguiendo el proceso de teñido descrito en el diagrama 8.

Diagrama 8. Diagrama de flujo proceso de teñido a nivel de planta y planta piloto



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

Se procesaron 3 lotes a nivel de planta el primero de 57.37Kg, el segundo de 58.68Kg y el tercero de 57.49Kg. Cada uno de estos correspondía a la demanda solicitada por los clientes. Estos lotes se realizaron en relación de baño 1:10, en el mismo Jet, a las mismas condiciones de operación. Únicamente se modificó el detergente a implementar en donde el primer lote fue procesado con el detergente actual, el segundo con el detergente 1 propuesto y el tercero con el detergente 2 propuesto. Las concentraciones de los detergentes se establecieron según las fichas técnicas entregadas por los proveedores, estas se encuentran a continuación en la tabla 30.

Tabla 30. Concentraciones de detergente para el proceso de lavado.

	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Detergente Actual	2g/L	-	-
Detergente 1 Propuesto	-	1g/L	-
Detergente 2 Propuesto	-	-	0.5g/L

Fuente: elaboración propia

Una vez termino el procedimiento se evaluaron los resultados de las pruebas de solidez después del proceso de teñido y después del proceso de acabado en ramas con el fin de determinar si existía una variación en los resultados. Se evaluó visualmente cada uno de los lotes para determinar si se presentó mareo, teñido desigual, manchado o rayado a lo largo de toda la fibra. Y se evaluó el tono luego del acabado en ramas por medio de las coordenadas CIE LAB para determinar si el detergente modifico o no el tono negro. Los resultados se encuentran a continuación en la tabla 31.

Tabla 31. Resultados proceso de lavado (grafica 6) detergente actual vs. Detergentes propuestos.

Evaluación del tono		Resultados Detergente Actual (Lote 1)							
		Después de teñido				Después de acabado			
Delta	Valor	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
		Lavado	3.5	4.0	2.0	Lavado	3.5	4.0	2.0
		Piscina		3.5		Piscina		4.0	
		Mar	4.0	4.0	4.0	Mar	4.0	4.0	4.0
		Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.0		
		Frote Húmedo	4.0			Frote Húmedo	3.5		
DL	-0.63								
DA	-0.39								
DB	0.13								

Tabla 31. (Continuación)

Resultados Detergente 1 Propuesto (Lote 2)										
Evaluación del tono		Después de teñido				Después de acabado				
		Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	
Delta	Valor	Lavado	3.5	4.0	4.0	Lavado	3.5	4.0	4.0	
	DL	-0,49	Piscina		4.0	Piscina		4.0		
	DA	-0.47	Mar	3.5	4.0	4.5	Mar	3.5	4.0	4.5
	DB	0,20	Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
			Frote Húmedo	4.0			Frote Húmedo	4.0		
Resultados Detergente 2 Propuesto (Lote 3)										
Evaluación del tono		Después de teñido				Después de acabado				
		Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C	
Delta	Valor	Lavado	2.5	4.0	3.0	Lavado	2.5	4.0	3.0	
	DL	-0,82	Piscina		4.0	Piscina		4.0		
	DA	-0.55	Mar	3.5	4.0	4.5	Mar	3.0	4.0	4.5
	DB	0.30	Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
			Frote Húmedo	4.0			Frote Húmedo	4.0		

Fuente: elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos se puede observar que el detergente 1 propuestos con el cual se procesó el lote #2 presenta mejores resultados en las pruebas de calidad a comparación que con el detergente actual, esto indica que este detergente elimina de manera efectiva el colorante que no reacciona con la fibra de poliamida. en cuanto al tono se puede observar que el tono se cumple por lo tanto el detergente 1 propuesto no modifica el matiz del tono negro. De esta manera se puede observar que es posible implementar dicho detergente reemplazando el detergente actual, ya que se mejoran los resultados de calidad.

Por otro lado, los resultados obtenidos con el detergente 2 no son los esperados, ya que estos se encuentran por debajo de los parámetros establecidos por PROTELA S.A. es por esta razón que se descarta el uso de este detergente en el proceso de teñido de fibras de poliamida

Para evaluar la reproducibilidad de los resultados se realizó un cuarto lote tono negro nivel de planta para una carga de 200Kg de la referencia dorcas que correspondía la demanda de un cliente, en este proceso de teñido se implementó el detergente 1 propuesto y como se observa a continuación en la tabla 32, los

resultados en las pruebas de solidez fueron los mismos, lo que indica que el auxiliar de tintura es estable y cumple con los estándares de calidad de PROTELA S.A. al encontrarse los resultados de las pruebas de solidez por encima de 3.5. Por lo cual se puede implementar dicho detergente en el proceso actual.

Tabla 32. Resultados proceso de lavado (grafica 6) detergente 1 propuesto

Evaluación del tono		Resultados Detergente 1 Propuesto (Lote 2)							
		Después de teñido			Después de acabado				
Delta	Valor	Prueba	A	B	C	Prueba	A	B	C
		Lavado	3.5	4.0	4.0	Lavado	3.5	4.0	4.0
		Piscina		4.0		Piscina		4.0	
		Mar	3.5	4.0	4.5	Mar	3.5	4.0	4.5
DL	-0.52	Frote Seco	4.5			Frote Seco	4.5		
DA	-0.50	Frote Húmedo	4.0			Frote Húmedo	4.0		
DB	0.19								

Fuente: elaboración propia

4.3 TEÑIDO DE FIBRAS DE POLIAMIDA SIN PROCESO DE FIJADO

Se evaluó el proceso de teñido de fibras de poliamida sin proceso de fijado a nivel de planta piloto para dos muestras de la referencia dorcas, la primera de 600g y la segunda de 650g. Las cuales corresponden a solicitudes de clientes. Estos ensayos se realizaron en el Jet en una relación de baño 1:10 para el tono negro, siguiendo la curva de tintura descrita en la gráfica 9 y siguiendo el procedimiento descrito en el diagrama 8. El resultado de la prueba fue enviado a acabado en ramas en donde se evaluó el tono mediante las coordenadas CIEL LAB después del teñido y después del acabado en ramas, además se evaluaron los resultados de las pruebas de solidez del producto final, los cuales se encuentran a continuación en la tabla 33.

Tabla 33. Resultados Prueba teñido sin fijador

Después de Tintura		Después Acabado		Pruebas de Solidez			
Delta	Valor	Delta	Valor	Prueba	A	B	C
DL	-0.14	DL	-0.52	Lavado	3.5	4.0	4.0
DA	0.56	DA	-0.49	Piscina		4.0	
DB	-0.24	DB	-0.31	Mar	4.0	4.0	4.5
				Frote Seco	4.5		
				Frote Húmedo	4.5		

Tabla 33. (Continuación)

Ensayo 2. 650g							
Después de Tintura		Después Acabado		Pruebas de Solidez			
Delta	Valor	Delta	Valor	Prueba	A	B	C
DL	-0.16	DL	-0.53	Lavado	3.5	4.0	4.0
DA	0.59	DA	-0.50	Piscina		4.0	
DB	-0.22	DB	-0.34	Mar	4.0	4.0	4.5
				Frote Seco	4.5		
				Frote Húmedo	4.5		

Fuente: elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos se encuentra que la propuesta de teñido sin fijado, logra los estándares de calidad establecidos por PROTELA S.A., ya que las coordenadas CIEL LAB presentan valores muy cercanos a cero y las pruebas de solidez logran los resultados aceptados por los diferentes clientes como se observa en el anexo 9. Esta propuesta presenta la ventaja de utilizar únicamente 4 auxiliares de tintura, los cuales presentan una alta afinidad por las fibras de poliamida lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos. Con esta propuesta se elimina el proceso de fijado, el cual en ocasiones modifica la estabilidad dimensional y la densidad de la superficie de la fibra, como lo es el ancho y el peso de la fibra. Además, con base en los resultados se evidencia que existe una buena reproducibilidad ya que los resultados de las coordenadas CIE LAB son similares entre si lo que indica que el colorante agotó de manera correcta en los dos ensayos realizados.

5. ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Como se puede apreciar en el capítulo anterior las pruebas técnicas realizadas para cada uno de los colorantes y auxiliares de tintura arrojaron resultados positivos respecto a la calidad del producto final, en este capítulo veremos si la propuesta planteada representa un ahorro significativo para PROTELA S.A., para ello, se tendrá en cuenta si existe una disminución en el consumo de auxiliares de tintura, colorantes, agua y energía eléctrica.

5.1. PROCESO DE BLANQUEO

Para conocer los costos del proceso para el blanqueo de fibras de poliamida se debe tener en cuenta las concentraciones de cada uno de los auxiliares de tintura que intervienen en el proceso, la cantidad de agua que implementa y la energía.

Tabla 34. Costo Químico proceso de blanqueo

PROCESO ACTUAL				
Producto	Concentración	Unidad	Costo Kg	Costo Auxiliar tintura x 1Kg fibra procesado
Tripolifosfato de sodio	1	g/L	\$ 4196	\$ 41.96
Detergente Actual	2	g/L	\$ 12670	\$ 253.40
Blanqueador Actual	3g	%	\$ 45240	\$ 1357.20
Sol. Matizante	0.005	%	\$ 9264	\$ 0.05
Dador de ácido	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.30
Total, por 1 Kg de fibra procesada				\$ 1703.91
PROPUESTA DE MEJORA				
Producto	Concentración	Unidad	Costo Kg	Costo Auxiliar tintura x 1Kg fibra procesado
Tripolifosfato de sodio	1	g/L	\$ 4196	\$ 41.96
Detergente1 Propuesta	2	g/L	\$ 12670	\$ 253.40
Blanqueador Propuesta	3	%	\$ 42900	\$ 1287.00
Dador de ácido	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.3
Total, por 1 Kg de fibra procesada				\$ 1633.66
Ahorro				\$ 70.25
% Ahorro				4.12%

Fuente: elaboración propia

El costo químico de cada uno de los auxiliares de tintura se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 62. Costo auxiliar de tintura por 1Kg de fibra procesada cuando la concentración está dada en g/L

$$\text{Costo Auxiliar tintura x 1Kg fibra procesado} = C * V * \frac{1Kg}{1000g} * P$$

Donde:

C: es la concentración del auxiliar de tintura en g/L

V: Volumen del baño de tintura en L, teniendo en cuenta que la relación de baño es 1:10 este volumen corresponde a 10L.

P: Costo por Kg del auxiliar de tintura dado por el proveedor. (\$/Kg)

Ecuación 63. Costo auxiliar de tintura por 1Kg de fibra procesada cuando la concentración está dada en porcentaje

$$\text{Costo Auxiliar tintura x 1Kg fibra procesado} = C * m * P$$

Donde:

C: es la concentración del auxiliar de tintura en %

m: masa de baño la fibra a procesar en Kg, en este caso 1Kg

P: Costo por Kg del auxiliar de tintura dado por el proveedor. (\$/Kg)

Ecuación 64. % Ahorro al implementar la propuesta de mejora en 1Kg de fibra procesada.

$$\% \text{ Ahorro} = \frac{\text{Ahorro existente con la propuesta de mejora} * 100}{\text{Costo del proceso actual}}$$

Como se observó anteriormente en la tabla 34, el costo químico es aquel en el que se tiene en cuenta el consumo de materias primas (auxiliares de tintura) en donde se puede observar que el costo por 1 kilo de fibra de poliamida procesada es de \$1633.66 representando de esta manera un ahorro de 4.12%.

Para conocer el costo del proceso se debe tener en cuenta algunos parámetros como absorción de la fibra, la capacidad del motor, los costos de la electricidad, la eficiencia del motor, costos de ocupación de la máquina, del agua de abundamiento y de vapor los cuales están especificados se encuentran especificados de la siguiente manera.

Tabla 35. Parámetros para calcular el costo del proceso

Parámetro	Valor	Unidades
Absorción	2.5	%
Sueldo Operario	4200	\$/H
Capacidad del motor	74	kW
Costo electricidad	40	\$/KWH
Eficiencia del motor	92	%
Costo del Vapor	0.04	\$/Kg
Ocupación de la Máquina	120000	\$/H
Costo agua	6457	\$/m ³

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

Con estos valores y según la curva de tintura del proceso de blanqueo descrita en la gráfica 8, se logró calcular los costos de proceso implementando una base de datos de PROTELA S.A., la cual arrojó que el costo por un kilogramo de fibra procesado es de \$1186 \$/Kg. Este valor es el mismo tanto en el proceso actual como en el proceso propuesto, ya que en este caso se modificaron únicamente las materias primas.

Tabla 36. Costo de Proceso Blanqueo fibras de poliamida

Variable	Costo por 1Kg de fibra procesada
Costo del vapor	\$ 0.118
Costo de mano de obra	\$ 44.275
Costo de ocupación de máquina	\$ 1155.000
Costo de energía	\$ 28.286
Costo de agua	\$ 64.570
Total	\$ 1186

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

De esta manera se tiene que el costo total del proceso estándar por kilogramo de fibra procesada es de \$2890.91/Kg y el costo de la propuesta por kilogramo procesado es de \$2819.6/Kg lo que representa un ahorro del 4.12%. Teniendo en cuenta la tabla 1 el consumo de blanqueador óptico actual es de 4525.67 Kg en un periodo de 9 meses lo que indica que el consumo en promedio al mes es de 502.85Kg que representa un costo de \$22.749.034/mes en el año representara un costo de \$273.057.627/año. Implementado el blanqueador óptico se tendrá un ahorro de \$14.190.447/año ya que el costo del blanqueador óptico propuesto al año sería de \$258.867.180

5.2 PROCESO DE TEÑIDO

Para hallar los costos del proceso de teñido de fibras de poliamida, se tomará como ejemplo un lote en relación de baño 1:10 en el tono negro, ya que es el tono más

procesado en PROTELA S.A. A continuación, en la tabla 37 se encontrará el costo químico tanto del proceso actual como del proceso propuesto.

Tabla 37. Costo químico teñido de fibras de poliamida

PROCESO ACTUAL				
Producto	Concentración	Unidad	Costo Kg	Costo Auxiliar tintura x 1Kg Fibra procesado
Igualador Actual	1	g/L	\$ 13470	\$ 134.70
Detergente Actual	1	g/L	\$ 12670	\$ 126.70
Colorante Negro Actual	3.75	%	\$ 59420	\$ 2228.25
Colorante Rubí Actual	0.75	%	\$ 49850	\$ 373.87
Dador de ácido Actual	1	g/L	\$ 19600	\$ 196.00
Igualador Actual	1	g/L	\$ 13470	\$ 134.70
Detergente Actual	2	g/L	\$ 12670	\$ 134.70
Solución ácida	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.30
Fijador Actual	3.5	%	\$ 13570	\$ 474.95
Solución ácida	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.30
Total, por 1 Kg de fibra procesada				\$ 4025.175
PROPUESTA DE MEJORA				
Producto	Concentración	Unidad	Costo Kg	Costo Auxiliar tintura x 1Kg Fibra
Igualador Propuesto	1	g/L	\$ 12448	\$ 134.70
Detergente1 Propuesto	1	g/L	\$ 9480	\$ 94.80
Colorante Negro Propuesto	4	%	\$ 19430	\$ 777.20
Dador de ácido Actual	1	g/L	\$ 19600	\$ 196.00
Igualador Actual	1	g/L	\$ 13470	\$ 134.70
Detergente1 Propuesto	1	g/L	\$ 9480	\$ 94.80
Solución ácida	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.30
Fijador Propuesto	3.5	%	\$ 6570	\$ 229.95
Solución ácida	1	g/L	\$ 5130	\$ 51.30
Total, por 1 Kg de fibra procesada				\$ 1764.75
Ahorro				\$ 2260.425
% Ahorro				56.16%

Fuente: elaboración propia

En el costo químico se puede evidenciar que el ahorro al implementar la propuesta de mejora es del 56.14% por kilo, que representa un valor de \$2260.425/Kg. De la misma manera, como se realizó con el proceso de blanqueo, para conocer el costo del proceso se debe tener en cuenta algunos parámetros como absorción de la fibra, la capacidad del motor, los costos de la electricidad, la eficiencia del motor, costos de ocupación de la máquina, del agua de abundamiento y de vapor los cuales están descritos en la tabla 35. De esta manera, el valor obtenido en la base de datos sobre

el costo del proceso es de \$2835.037/Kg, el cual es el mismo en ambos casos ya que únicamente se modificaron las materias primas.

Tabla 38. Costo de Proceso teñido fibras de poliamida

Variable	Costo por 1Kg de fibra procesada
Costo del vapor	\$ 0.2036
Costo de mano de obra	\$ 82.6000
Costo de ocupación de máquina	\$ 2360.000
Costo de energía	\$ 53.2210
Costo efluente	\$ 131.250
Costo de agua	\$ 338.9925
Total	\$ 2835.037

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

De manera general el costo total del proceso actual es de \$6860.212/Kg de fibra procesada lo que representa un ahorro del 56.16% implementando la propuesta de mejora. El consumo en un periodo de nueve meses del fijador actual, el colorante negro actual y el detergente se encuentra registrado en la tabla 1 de donde se puede encontrar que si se implementa la materia prima propuesta correspondiente se presentaría un ahorro de \$715.228.808/año. Como se observa a continuación en la tabla 39.

Tabla 39 Ahorro Colorante negro, fijador y detergente

Colorante Auxiliar Tintura	Consumo (Kg/Mes)	Precio (1kg)	Costo Mes	Costo año
Colorante Negro Actual	947.669	\$ 59420	\$ 56.310.491	\$ 675.725.892
Colorante Negro Propuesto		\$ 19430	\$ 18.128.907	\$ 217.546.896
			Ahorro	\$ 458.178.996
Fijador PA Actual	1807.374	\$ 13570	\$ 24.526.065	\$ 294.312.780
Fijador Propuesto		\$ 6570	\$ 11.874.447	\$ 142.493.366
			Ahorro	\$ 151.819.414
Detergente PA Actual	1105.826	\$ 12670	\$ 14.010.815	\$ 168.129.780
Detergente 1 Propuesto		\$ 9480	\$ 5.241.615	\$ 62.899.382
			Ahorro	\$ 105.230.398

Fuente: elaboración propia

En el caso del igualador para poliamida y el dador de ácido como solo se obtuvieron resultados positivos en las referencias de encaje el ahorro al implementar las materias primas correspondientes es de \$20.895.942/año. Como se observa a continuación en la tabla 40.

Tabla 40 Ahorro igualador y dador de ácido para poliamida

Colorante Auxiliar Tintura	Consumo (Kg/Mes)	Precio (1kg)	Costo Mes	Costo año
Igualador Actual	1396.33	\$ 13470	\$ 18.808.565	\$225.702.781
Igualador Propuesto	56.16	\$ 12448	\$ 699.080	\$ 8.388.956
Dador de ácido Actual	1807.374	\$ 19600	\$ 35.424.530	\$ 294.312.780
Dador de ácido Propuesto	74.1023	\$ 14065	\$ 1.042.248	\$ 12.506.986

Fuente: elaboración propia

Con respecto a los colorantes evaluados, como se determinó que es posible utilizarlos a las mismas concentraciones con las que se trabaja en los diferentes procesos se evaluó el costo de venta en donde se encontró que en los únicos colorantes que representan un ahorro son en los colorantes Amarillo Brillante, Rojo Brillante y Amarillo, como se observa a continuación en la tabla 41.

Tabla 41. Ahorros colorantes ácidos.

COLORANTE	COSTO 1Kg	AHORRO	% Ahorro
Amarillo Brillante Propuesta	\$ 64.000	\$54.230	45%
Amarillo Brillante Aci00015	\$ 118.230		
Rojo Brillante Propuesta	\$ 148.000	\$8.130	5%
Rojo Brillante ACI00067	\$ 156.130		
Turquesa Propuesta	\$ 68.300	-\$ 17.090	No hay ahorro
Turquesa ACI00007	\$ 51.210		
Azul Propuesta	\$126.500	-\$28.480	No hay ahorro
Azul ACI00004	\$ 98.020		
Amarillo Propuesta	\$ 76.480	\$4.950	6%
Amarillo ACI00013	\$ 81.430		

Fuente: elaboración propia

5.3 PROCESO DE TEÑIDO SIN FIJADO

Para calcular los costos de proceso de la propuesta de teñido sin fijado, se comparó con los datos obtenidos en la tabla 37. En donde se encontró que en el costo químico se encuentra un ahorro del 2,66% que corresponde un valor de \$107/Kg, ya que el costo por kilo de la propuesta es de \$3918.16/Kg como se observa a continuación en la tabla 42.

Tabla 42. Costo químico Proceso de teñido sin fijado

Producto	Concentración	Unidad	Costo Kg	Costo Auxiliar tintura x 1Kg Fibra
Igualador Actual	1	g/L	\$ 13470	\$ 134.70
Detergente Actual	1	g/L	\$ 12670	\$ 126.70
Colorante Negro Actual	3.75	%	\$ 59420	\$ 2228.25
Colorante Rubí Actual	0.75	%	\$ 49850	\$ 373.87
Auxiliar Tintura 1	0.6	%	\$ 18908	\$ 113.45
Auxiliar de Tintura 2	0.9	%	\$ 23055	\$ 207.50
Auxiliar de Tintura 3	4	%	\$ 49850	\$ 577.68
Auxiliar 4: Detergente	1	g/L	\$ 15602	\$ 156.02
Total, por 1 Kg de fibra procesada				\$ 3918.16

Fuente: elaboración propia

Al hallar los costos del proceso se encontró que este valor aumenta, ya que se realizan 5 lavados, lo que aumenta el consumo de agua y el tiempo de proceso, por lo cual no es un proceso rentable como se observa a continuación en la tabla 43 en comparación del actuar ya que en cuenta a energía y consumo de agua el proceso representa un gasto de \$63.38/Kg.

Tabla 43. Costo de Proceso teñido fibras de poliamida sin fijado

Variable	Costo por 1Kg de fibra procesada
Costo del vapor	\$ 0.1165
Costo de mano de obra	\$ 84.175
Costo de ocupación de máquina	\$ 2405.000
Costo de energía	\$ 47.7746
Costo de agua	\$ 355.135
Costo efluente	\$ 137.500
Total	\$ 3029.6512

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

Es de esta manera que se puede ver que la mejor propuesta es modificar las materias primas como lo son colorantes, igualador, dador de ácido, fijador y detergente con el cual se puede obtener un ahorro de hasta el 56.16%.

6. CONCLUSIONES

- Al evaluar el proceso de teñido de fibras de poliamida se identificaron aquellos colorantes y auxiliares de tintura que mayor consumo y participación presentaban. En donde se encontró que para el proceso de blanqueo el uso de solución matizante genera una mala reproducibilidad del tono de un lote a otro, debido a las malas condiciones de manejo de dicho auxiliar de tintura. Por otro lado, en el proceso de teñido se identificó que los colorantes: negro, azul, rojo brillante, amarillo brillante, amarillo y turquesa, el igualador actual, el detergente actual y el fijador actual no cumplen con las pruebas de solidez y los resultados de calidad son malos al presentarse teñido desigual sobre el producto final.
- A partir de la matriz de selección de posibles proveedores se encontró que como propuesta de mejora se puede realizar un cambio en las materias primas, la selección de proveedores se realizó siguiendo el estudio Dickson, en la cual se evaluaron 5 parámetros críticos: nivel de calidad, disponibilidad, cumplimiento en las especificaciones técnicas, precio y tiempo de entrega, en donde se seleccionaron aquellos proveedores que cumplían con las especificaciones estimuladas por los expertos de PROTELA S.A y en donde cuyas materias primas seleccionadas presentan la posibilidad de ser implementados en el proceso de teñido y de blanqueo actual.
- Al evaluar los colorantes y auxiliares de tintura propuestos los resultados mostraron que, en el proceso de blanqueo, el blanqueador óptico cumplía con las especificaciones de calidad en las referencias dorcas, noraba y encaje y se disminuía el consumo de auxiliares de tintura al eliminar por completo la solución matizante. Por otro lado, se encontró que los auxiliares como el igualador y el dador de ácido, solo se pueden, implementar en referencias de encaje, donde arroja buenos resultados de calidad y una alta igualación; mientras que en las referencias dorcas y noraba, se descarta el uso de estos auxiliares, al presentar rayado y mareo. Los colorantes a excepción del turquesa, el detergente 1, el fijador y el proceso de teñido sin fijado lograron resultados de solidez mejores a los resultados obtenidos por los auxiliares actuales, es por esta razón que es posible implementar dichos auxiliares de tintura en el proceso actual de teñido de fibras de poliamida.
- El análisis de costos arrojó que la mejor opción para disminuir costos de proceso es el cambio de materias primas ya que el proceso de blanqueo se obtiene un ahorro del 4.12%, que representa un valor de \$14.190.447/año en el proceso de

teñido se obtiene un ahorro del 56.16% que representa un valor de \$736.124.750/año. Mientras que el proceso de teñido sin fijado es descartado al presentar un ahorro poco significativo (2.66%), un mayor consumo de energía eléctrica y de agua y al aumentar el tiempo de proceso 9 minutos.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar el cambio de materias primas de manera masiva en el teñido y blanqueo de todas las referencias de fibras de poliamida existentes en PROTELA S.A., con el fin de aumentar los resultados de calidad y disminuir los costos de proceso. Es necesario hacer seguimiento a nivel de planta al implementar dichos auxiliares de tintura.
- Es aconsejable, que antes de alimentar los auxiliares de tintura al reactor, éstos sean agitados constantemente con el fin de asegurar que reaccionen sobre la fibra de manera homogénea, asegurando que no existe teñido desigual, mareo, rayado o manchas sobre la fibra.
- Como propuesta de mejora se propone realizar un cambio de materias primas siempre y cuando los auxiliares de tintura y colorantes cumplan con factores como: normativa OEKO-TEX, buena disponibilidad, costo por kilo menor que la materia prima actualmente implementada, características fisicoquímicas similares a los auxiliares actualmente implementado que permitan implementarse en el proceso actual de teñido y de blanqueo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO C.A., M.J. Lis, VALLDEPERAS J. y NAVARRO J.A. Tintura en baños de reutilización directa. Boletín Intexter (U.P.C.) 2006. Nº. 129. P. 14. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en: <<http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream2099/4753/1/5cineticasdereutilizacion.pdf>>

ALONSO. Felipe. Manual control de calidad en productos textiles y afines. Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales. Madrid. 2010 [En línea] [Tomado 10 de mayo de 2019] Disponible en <<http://oa.upm.es/38763/1/Binder1.pdf>>

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. Colorfastness to Crocking: Crockmeter Method. AATCC. [En línea] [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en. <<https://members.aatcc.org/store/tm8/481/>>

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. Colorfastness to Laundering: Accelerated. AATCC. [En línea] [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <<https://members.aatcc.org/store/tm61/495/>>

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. Colorfastness to Water: Chlorinated Pool. AATCC. [En línea] [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <<https://members.aatcc.org/store/tm162/562/>>

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. Colorfastness to Water: Sea. AATCC. [En línea] [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <<https://members.aatcc.org/store/tm106/518/>>

ARIEL. William, BURBANO y HOYOS. Carolina. Procedimiento Para La Evaluación De Proveedores Mediante Técnicas Multicriterio Scientia et Technica 2004. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<http://www.redalyc.org/pdf/849/84912053040.pdf>>

BERNABE Nina. Determinación de los parámetros de fijación de colorantes ácidos y dispersos en fibras de poliamida. Parte I. [En línea] Proyecto de pregrado. Universidad Mayor de San Andrés. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/17896/M-191.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

BERSON, Lisa y RECZEK, Karen. Guía estadounidense para el cumplimiento de requerimientos textiles de línea hogar y de vestuario.[En línea] En: Institute of Standards and technology National. 2016. [10 de mayo de 2019] Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7434/1/26297818-019-1-IQ.pdf>

BRIONES, Luis; LOPEZ, Margarita y RIVERA Casandra. Descrude y blanqueo, y contaminación de 3 muestras. Practica de laboratorio. [En línea]Escuela Superior de ingeniería textil. 2015. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://briones656.wixsite.com/public-relations-es/single-ost/2015/12/16/Practica-10-DESCRUDE-y-BLANQUEO-%C2%A0Y-CONTAMINACION-DE-3-UESTRAS>>

CABO. Sebastián. Estudio experimental de tintura de tejidos sintéticos para la preparación de muestras de referencia. [En línea] Proyecto Master Universitario Universidad Politécnica de Valencia. Septiembre 2015. {En línea} {10 de mayo de 2019} Disponible en <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59952/Binder1.pdf?sequence=5>>

CAMPOSECO. Shilonen. Evaluación De Las Propiedades Fisicoquímicas De Solidez De Fibras Teñidas Con El Extracto Colorante Del Fruto De Jaboncillo. [En línea] Master Universitario Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013.[Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1367_Q.pdf>

CARRION. Javier. Materials pel disseny de productes textils. Poliamida. [En línea] Proyecto de pregrado. Universidad politécnica de Catalunya. 2014. [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliamida_word-5467.pdf>

CASTILLO, Sophia. Espectrofotómetro uso y características. Equipos de laboratorio [En línea]. 2012. [Tomado el 10 de mayo de 2019]. Disponible en: <<https://equiposdelaboratorio.wordpress.com/2012/02/23/espectrofotometro-uso-y-caracteristicas/>>

CHRISTIE, Robert. Colour: A Historical Perspective. En: Colour Chemistry. 2ed. School of Textiles & Design, Heriot-Watt University, UK. Royal society of chemistry, 2001. 1-20. [En línea] [Tomado el 10 de marzo de 2019] Disponible en <<http://www.daryatamin.com/uploads/Books%20File/Colour%20Chemistry.pdf>>

Datacolor instruments, software and support ensure accurate color in your workflow. [En línea] [Tomado el 4 de marzo de 2019] Disponible en <<https://www.datacolor.com/>>

Departamento Nacional De Planeación Textil confecciones. 2017 {En línea {10 de mayo de 2019} disponible en <<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Empresarial/Textiles.pdf>>

Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Guía ambiental del sector textil. Decreto 1351 de 2016. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019

Disponible en:
<http://mincit.gov.co/loader.php?IServicio=Documentos&IFuncion=verPdf&id=5204&name=Decreto_1351_de_2016.pdf>

ESCRIVÁ. Joan. Gestión de Compras. Mc Graw Hill. España. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448193601.pdf>>

FAJARDO, Sergio. Optimización del proceso de teñido de fibras de nailon, implementando insumos biodegradables. Guatemala, [En línea] Proyecto de grado Universidad de San Carlos. Octubre de 2016. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<http://www.repositorio.usac.edu.gt/5934/1/Sergio%20Javier%20Fajardo%20Portillo.pdf>>

FERNÁNDEZ. Germán. Espectroscopia visible – ultravioleta. Química orgánica. Grupos cromóforos y auxocromos [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] disponible en <https://www.quimicaorganica.org/espectroscopia-visible-ultravioleta/735-grupos-cromoforos-y-auxocromos.html> >

GINI. Guido. 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.[En línea] Proyecto pregrado Universidad de San Carlos de Guatemala [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en: <<http://www.repositorio.usac.edu.gt/7181/1/Guido%20Renato%20Gini%20Cabrera.pdf>>

GUIA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA LA INDUSTRIA TEXTIL. Centro Nacional de producción más limpia de Honduras. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://es.slideshare.net/syandrea/124dic-pml-texti>>

Industria Proeza S.A. Quiminet.com. Auxiliares para el teñido de textiles. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <https://www.quiminet.com/articulos/auxiliares-para-el-tenido-de-textiles13701.htm>

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

JUANTO. Susana. Universidad tecnológica Nacional. Facultad Regional de la Plata. Espectrofotómetro. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<http://www.frp.utn.edu.ar/materias/qcasis/equipos.ppt>>

Jaquez, Diana. TRICROMIA. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://prezi.com/ret5yhklhv7e/tricromia/>>

Konica Minolta. Sensing Américas Entendiendo el espacio de color CIE L*A*B. [Tomado el 4 de abril de 2019]. [En línea]. Disponible en <<http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>>

KORLU, Aysegul et al. Efecto del tipo de fibra en la estabilización del peróxido de hidrógeno durante el blanqueamiento. Revista Industria Textilia 65.2. [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] disponible en https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38334884/Textilia_nr_2_2014.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1537765034&Signature=4upLL67Jmi%2FnnC9BejlxvXxVd4w%3D&responsecontentdisposition=inline%3B%2=filename%3Dapplycausticizing_process_on_bamboo.pdf#page=13

LEISERSON, Teodoro. Teñido de Nylon con colorantes ácidos. [En línea] tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires 1951. [Tomado el 10 de mayo de 2019] disponible en http://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n0658_Leiserson.pdf

LLANO, Elena. Tintura de fibras textiles. Química textil [En línea]. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <http://tinturadefibrastextiles.blogspot.com/>

M. Joshi and B. Gupta. Polyesters and polyamides. The textile Institute New York 2008. P. 98-120 [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en https://books.google.com.co/books?id=VgmkAgAAQBAJ&pg=PA96&lpg=PA96&dq=4Manufacture+of+polyamide+fibres+Polyesters+and+Polyamides&source=bl&ots=GCK-Irqno4&sig=w2RQ_JmSxtg4Ylgv0vTXkdhcxk&hl=es&sa=X&ved=2ahUKe win2NaAhIveAhWuwFkKHUuqCDwQ6AEwAXoECAgQAQ#v=onepage&q&f=false

MAQUETA CF. Búsqueda y selección de proveedores. Capítulo 2. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448147731.pdf>

MALDONADO. Tintorería Industrial. Proceso del teñido de telas. Tendencias textiles. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <http://www.tintoreriamaldonado.com/blog/el-proceso-del-tenido-de-telas>

MALDONADO. Tintorería Industrial. El teñido de telas y sus etapas. Tendencias textiles. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <http://www.tintoreriamaldonado.com/blog/el-tenido-de-telas-y-sus-etapas>

MARIANO. Tecnología del plástico. Apuntes de química. [Tomado el 4 de abril de 2019]. [En línea]. Disponible en <<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html>>

MEZA, Katerin. Colorantes y fibras textiles. [En línea] SENA. 2014. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en: <https://prezi.com/2xpmui2ga0uc/colorantes-y-las-fibras-textiles/>

MIRALLES, Verónica. Universidad Politécnica de Valencia. Estudio de la cinética de fibras de algodón con colorantes naturales. [En línea] [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/95203/MIRALLES%20-%20ESTUDIO%20DE%20LA%20CINETICA%20DE%20TINTURA%20DE%20FIBRAS%20DE%20ALGOD%C3%93N%20CON%20COLORANTES%20NATURALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

MONTERO, Lucia. Métodos fisicoquímicos de caracterización de las fibras de polilactida. [En línea] Master Universitario. Universidad politécnica de Catalunya. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/96986/TLMP1de1.pdf?sequence=1>

MORENO, Máximo. Producción limpia en tintorería de la fábrica textil la bellota.[En línea] Proyecto de grado Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/8370/1/moreno_c m.pdf

National Institute of Standards and technology. Guía estadounidense para el cumplimiento de requerimientos textiles de línea hogar y de vestuario. [Tomado el 6 de abril de 2019] [En línea] Disponible en <<http://www.analdex.org/wp-content/uploads/2016/02/Guide-to-US-Apparel-and-Household-Textiles-requirements.pdf>>

NAMGOUNG, Seol. Universidad Politécnica de Valencia. Estudio y optimización del método tradicional de blanqueo comparando la efectividad con diferentes tratamientos de blanqueo de algodón. [Tomado el 6 de abril de 2019] [En línea] disponible en < <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15497/TFM%20blanqueo%202011%20Seol%20Namgoung%20ok.pdf?sequence=1>>

OCHOA, Manuel. Incorporación de interfases graficas a la simulación de tejidos JACQUARD mediante hardware estándar. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Octubre de 1997. Terrassa. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6491/01Mov01de01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OJEDA, Mariano. Tecnología del plástico. Apuntes de química. Tomado el 4 de abril de 2019. En línea. Disponible en <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html>

PEREIRA BITANO. Juan . Control del proceso de teñido de fibras de algodón. [En línea] Proyecto de grado Escuela profesional de Química. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4183/1/pererira_bj.pdf

PÉREZ. Daniel. San Salvador. Preparación y teñido de tela. Tomado el 6 de abril de 2019 en línea disponible en https://www.academia.edu/20259594/PREPARACION_Y_TE%C3%91IDO_DE_TELA

PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA TEXTIL EN LOS PAISES DEL MEDITERRANEO. Ministerio de medio ambiente España. {10 de mayo de 2019} {En línea} disponible en www.cprac.org/docs/textil_cast.pdf

PROTELA S.A. Empresa textil. {En línea} {10 de mayo de 2019} disponible en <https://www.protela.com/>

Revista El País: *¿Por qué el negocio textil colombiano enfrenta su hora más crítica?* Bogotá D.C. Agosto 20 de 2017 [En línea] [Tomado 10 de mayo de 2019] Disponible en <https://www.elpais.com.co/economia/por-que-el-negocio-textil-colombiano-enfrenta-su-hora-mas-critica.html>

RIVERO. Stella. Elaboración de una matriz para evaluación de proveedores en sistemas de prestación de servicios. {En línea}. Proyecto especialización Universidad Militar Nueva Granada. 2016. {10 de mayo de 2019} Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15542/RiveroRiveraStella2016.pdf;jsessionid=3C2BCC3F998004A5231950AFF34CBE80?sequence=1>

SALAZAR, Paulina. Reutilización de baños de tintura de fibras de poliamida con colorantes ácidos en la industria química. [En línea]. Proyecto master Universitario Ecuador, Universidad Central. 2014. [Tomado el 10 de mayo de 2019] Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2508/1/T-UCE-0017-69.pdf>

SANTOYO, Laura. Normas en el sector textil colombiano: un análisis comparado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá 2016. {En línea}. {10 de mayo de 2019} disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15648/3/SANTOYO%20CAICEDO%20LAURA%20MARCELA%202016.pdf>

SEDLAK, Dieter. Documento/ Manual de química. Afirm Group .2013 {En línea}. {10 de mayo de 2019} disponible en <https://www.afirm-group.com/wp-content/uploads/2013/07/Apendice-F-Manual-de-Guia-Quimica.pdf>

SERRA, Jordi. Síntesis y caracterización de poliamidas derivadas del ácido tartárico. 1994 {En línea}. Doctorado en ciencias químicas. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. Mayo 1994 {10 de mayo de 2019} Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93784/TJBS1de3.pdf>

SOLÉ, Antonio. Concepto de tintura. . {En línea}. {10 de mayo de 2019} disponible en <https://asolengin.files.wordpress.com/2016/04/procesos-de-tintura-por-agotamiento-e-impregnacion.pdf> >

TORRIJOS, Margarita. La selección de proveedores, elemento clave en la gestión de aprovisionamiento. Universidad de Oviedo. 2018 {En línea}. {10 de mayo de 2019} disponible en http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/47803/3/TFM_MargaritaGilTorrijos.pdf

VALENCIA, Mario. El S:O:S de los empresarios para rescatar a la industria de confección. En Dinero. 2018. [En línea] [Tomado el 8 de mayo de 2019] Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/crisis-de-la-industria-de-la-confeccion-en-colombia/254274>

Visión Textil. Control de calidad de las solideces textiles. Marzo de 2017 {En línea} {10 de mayo de 2019} disponible en <http://visiontextil.blogspot.com/2017/03/control-de-calidad-de-las-lideces.html?m=1>

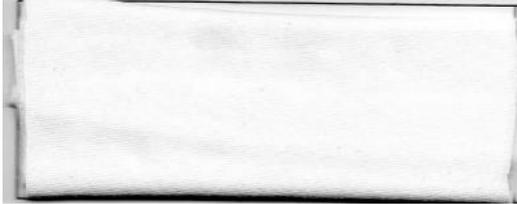
WEBQUERY. Selección de proveedores. 2009. {En línea}. {10 de mayo de 2019} <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADPS0000636/C3.pdf>

WEBQUERY. Evaluación de Proveedores. 2009. {En línea}. {10 de mayo de 2019} <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/Fulltext/ADPS0000636/C4.pdf>

ANEXOS

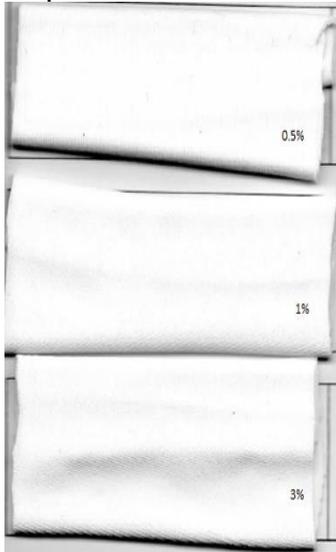
ANEXO A ENSAYOS BLANQUEADOR ÓPTICO

Tono Blanco estandar de PROTELA S.A.

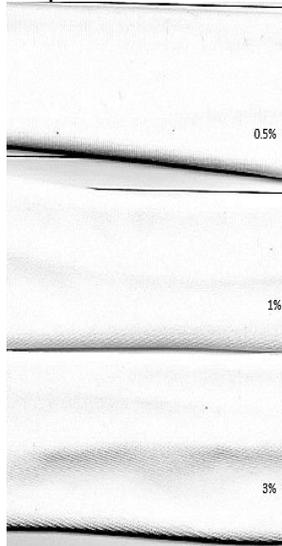


Matiz blanqueador óptico propuesto.

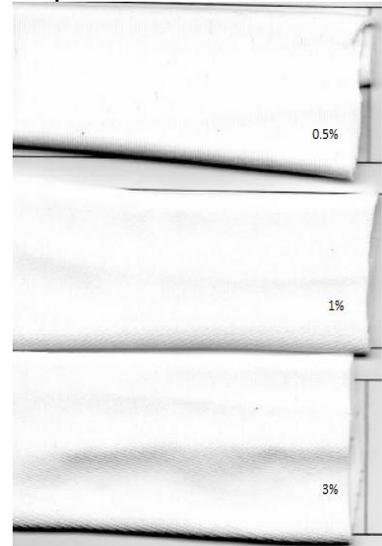
Replica 1



Replica 2

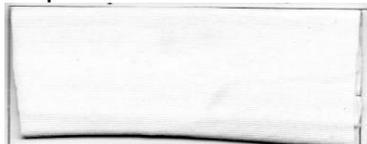


Replica 3

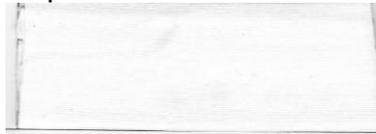


Tono blanco referencia Noraba Blanqueador Propuesto Nivel laboratorio

Replica 1



Replica 2



Replica 3



Tono Blanco referencia dorcas Blanqueador Propuesto Nivel laboratorio

Replica 1



Replica 2



Replica 3

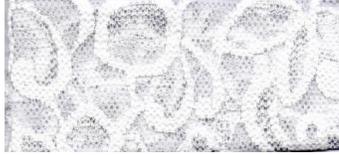


Tono Blanco referencia de encaje blanqueador Propuesto Nivel laboratorio

Replica 1



Replica 2

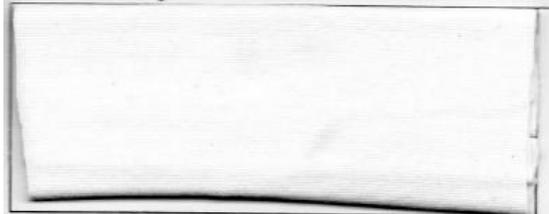


Replica 3



Tono blanco referencia Dorcas Blanqueador Propuesto Nivel planta piloto

Replica 1



Replica 2



Tono Blanco referencia Noraba blanqueador Propuesto Nivel planta

Replica 1



Replica 2



ANEXO B
PRUEBAS DE SOLIDEZ COLORANTES PROPUESTOS

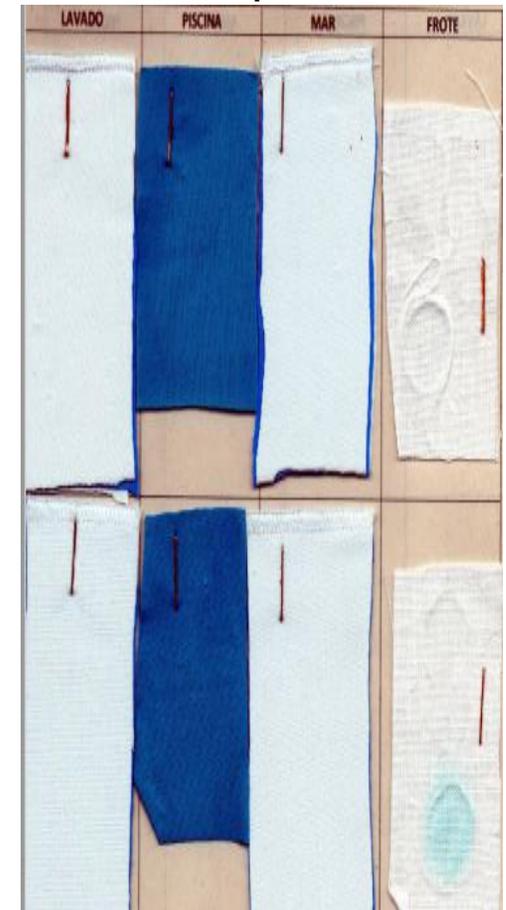
Amarillo Brillante



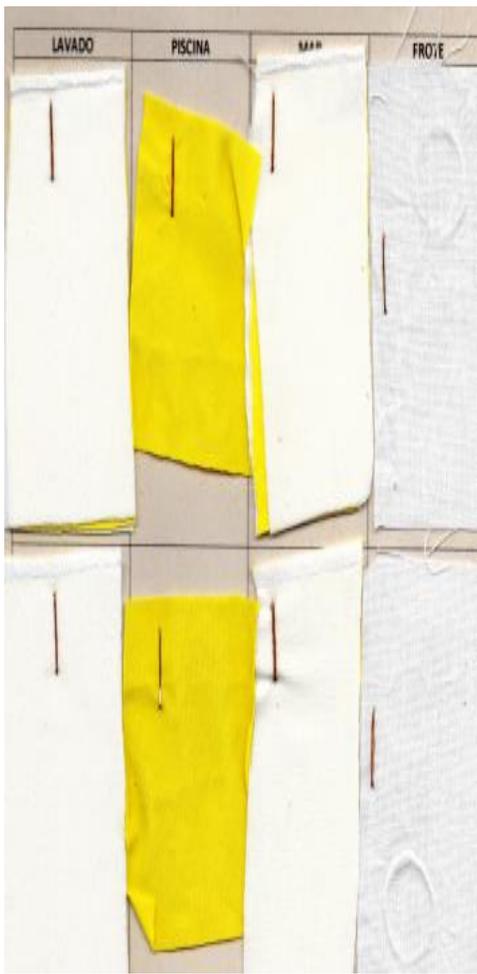
Rojo Brillante



Turquesa



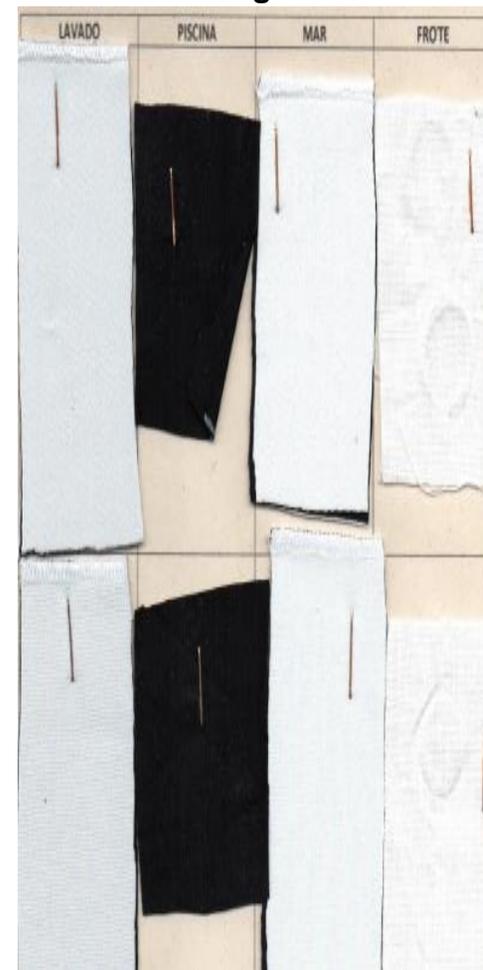
Amarillo



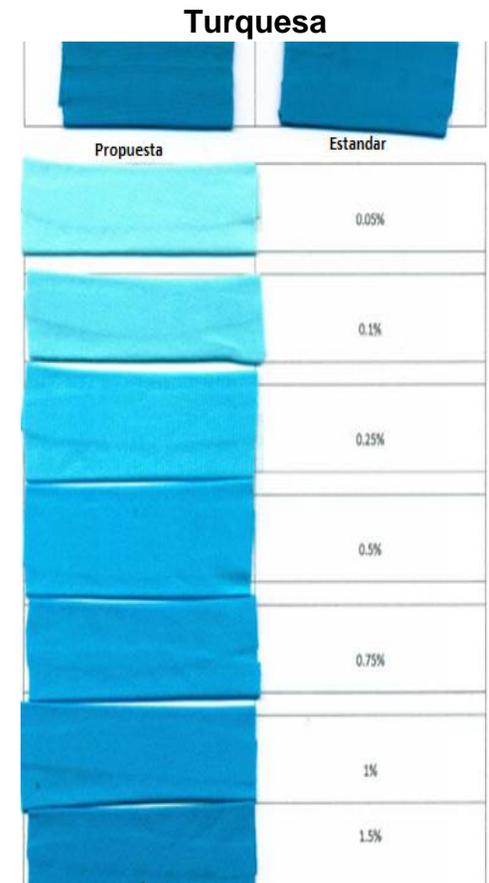
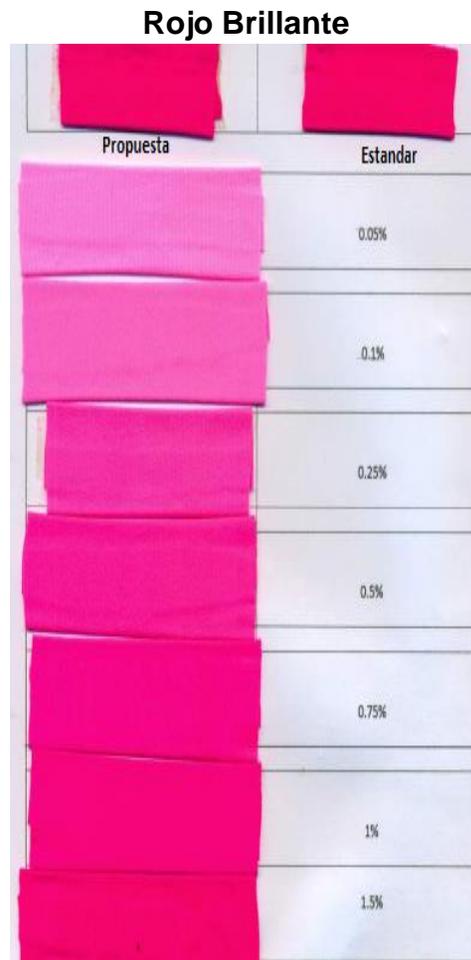
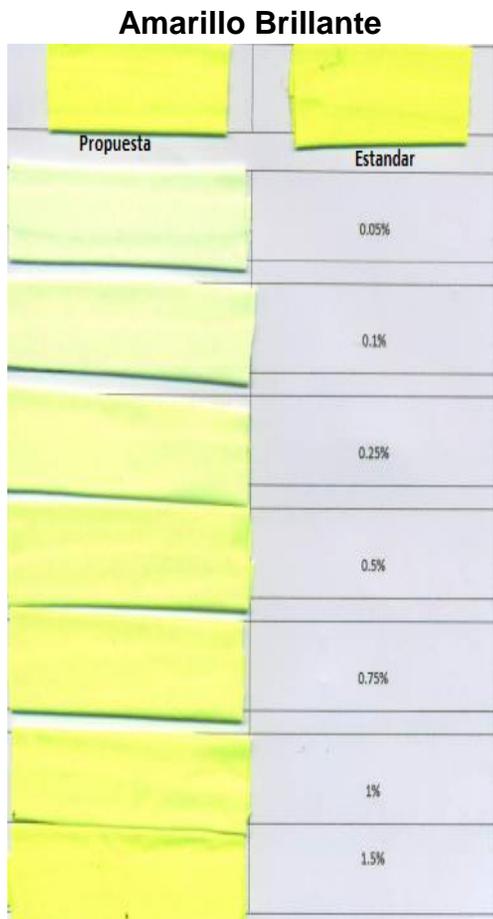
Azul



Negro



ANEXO C
CURVA ESPECTRAL COLORANTES PROPUESTOS



Amarillo

Propuesta	Estandar
	0.1%
	0.3%
	0.7%
	1.3%
	2.5%
	3.2%
	4%

Azul

Propuesta	Estandar
	0.1%
	0.3%
	0.5%
	1%
	3%
	4%
	5%

Negro Propuesta 1

Propuesta	Estandar
	1.5%
	2%
	2.5%
	3%
	3.5%
	5%
	6%

ANEXO D
TONOS CRÍTICOS CON LOS COLORANTES PROPUESTOS

Replica 1

Tono Café



Replica 2



Tono Rosado



Tono Aguamarina



Tono Azul



Tono Amarillo



**ANEXO E.
DADOR DE ÁCIDO PROPUESTO REFERENCIA DE ENCAJE**

Replica 1



Replica 2
Tono Beige



Replica 3



Tono Azul



Rojo



Negro



ANEXO F
IGUALADOR POLIAMIDA REFERENCIAS DE ENCAJE

Replica 1

Replica 2

Tono Negro



Tono Rojo



Tono Beige



Tono Azul



ANEXO G
IGUALADOR POLIAMIDA REFERENCIAS DE DORCAS

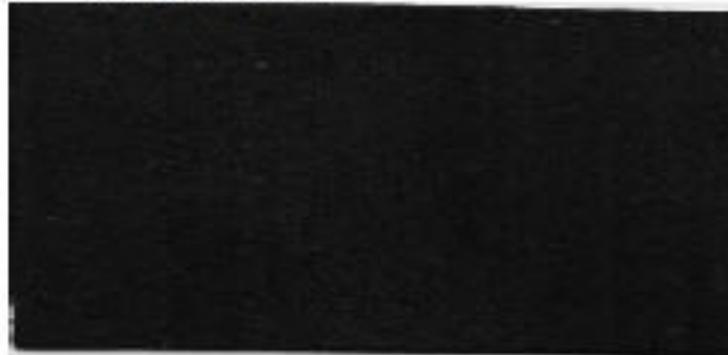


**ANEXO H
DETERGENTE POLIAMIDA REFERENCIA DORCAS**

Detergente Estandar



Detergente 1.



Detergente 2.



ANEXO I
PRUEBA DE SOLIDEZ PROCESO DE TEÑIDO SIN FIJADO

