



**PLAN DE MEJORA DE UN PROCESO DE TINTURA DE FIBRAS POLIAMÍDICAS Y  
SUS MEZCLAS (NYLON/LYCRA) CON COLORANTES ÁCIDOS**

Carlos Didier Gómez Arcos

Ingeniero Químico

Asesor

Rigoberto Ríos Estepa, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín

2022

---

Cita

Gómez Arcos, 2022 [1]

---

**Referencia** [1] C. D. Gómez Arcos, “Plan de mejora de un proceso de tintura de fibra poliamídicas y sus mezclas (nylon/lycra) con colorantes ácidos, [Práctica Empresarial], Ingeniería Química, Universidad de Antioquia, Medellín, 2022.

**Estilo IEEE (2020)**



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

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

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla

**Jefe de departamento:** Lina María González Rodríguez

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

## **Dedicatoria**

El apoyo moral y económico de mi padre, mi madre y hermanos han sido una pieza fundamental para lograr todo aquello que me he propuesto en la vida. A ellos, y especialmente a mi compañera de equipo y colega a lo largo de mi carrera, dedico con todo mi corazón este proyecto de grado.

## **Agradecimientos**

TINCOL S.A.S cuenta con grandes profesionales que siempre tienen la disposición de brindar un consejo académico, laboral e incluso personal. Gracias a mi asesor externo quien me formó durante mi proceso de prácticas y asesor interno dispuesto a corregir mis falencias en el momento que lo necesitaba; asimismo, el jefe de planta, técnicos de laboratorio, tintoreros y demás ingenieros como también trabajadores que forman parte de esta gran familia.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. <i>Objetivo general</i>	15
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1. La fibra textil y su clasificación	16
3.2. Fibras poliamídicas y sus mezclas: Nylon/Lycra	16
3.3. Pretratamientos al proceso de tintura nylon/lycra	18
3.4. Auxiliares de tintura y colorantes reactivos	18
3.5. Curva de tintura	19
3.6. Factores que influyen en el proceso de tintura	20
3.7. Problemas comúnmente observados en los procesos de tintura	20
3.8. Escala platino-cobalto	21
3.9. Colorantes ácidos	22
4. METODOLOGÍA	24
4.1. Recopilación y análisis de información	24
4.2. Toma de datos a nivel operativo	24
4.3. Recolección de información a través encuestas y grabaciones de audio	24
4.4. Análisis de información y construcción de la AMEF	25

4.5. Planteamiento de alternativas de solución	25
4.5.1. Experimentación a escala laboratorio:	25
4.5.1.1. Comportamiento de la tricromía:	26
4.5.1.2. Influencia del dador de ácido:	26
4.5.1.3. Cinética de la tela	27
4.5.2. Experimentación a gran escala	27
4.6. Implementación del plan de mejora	28
4.7. Análisis, planteamiento de conclusiones e informe de resultados	28
5. RESULTADOS	29
5.1. Toma de datos a nivel operativo	29
5.2. Comportamiento de la tricromía	30
5.3. Influencia del dador de ácido	34
5.4. Cinética de tinción en la tela	37
5.5. Experimentación a gran escala	38
5.6. Implementación del plan de mejora	43
6. ANÁLISIS	46
7. CONCLUSIONES	52
8. RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS	55

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA I</b> PROPIEDADES PARA COLORANTES ÁCIDOS DE IGUALACIÓN, MOLIENDA/SUPERMOLIENDA Y PREMETALIZADOS	23
<b>TABLA II</b> DATOS ANUALES CORRESPONDIENTES A LA PRODUCCIÓN PARA TELA TEÑIDA Y REPROCESADA EN EL NYLON Y SUS MEZCLAS	29
<b>TABLA III</b> VALORES DE PH DEL BAÑO DE TINTURA CORRESPONDIENTE A LOS MONTAJES 1, 2 Y 3 EN LA INTERACCIÓN DE COLORANTES ÁCIDOS	31
<b>TABLA IV</b> MUESTRAS TEÑIDAS AL UTILIZAR EL COLORANTE ÁCIDO TIPO 3 (ROJO) CON CONCENTRACIÓN DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.5 G/L	32
<b>TABLA V</b> MUESTRAS TEÑIDAS AL UTILIZAR LAS DICROMÍAS DE LOS COLORANTES ÁCIDOS AMARILLO+AZUL, AMARILLO+ROJO Y AZUL+ROJO CON UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR IGUAL A 0.5 G/L	33
<b>TABLA VI</b> MUESTRAS TEÑIDAS AL COMBINAR LOS COLORANTES ÁCIDOS TIPO 1, 2 Y 3 CON UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.5 G/L	34
<b>TABLA VII</b> VALORES DE PH DEL BAÑO DE TINTURA CORRESPONDIENTE A LOS MONTAJES 1, 2, 3 Y 4 PARA CONCENTRACIONES DEL DADOR ÁCIDO IGUALES A 0.3, 0.4, 0.5 Y 0.6 G/L	35
<b>TABLA VIII</b> MUESTRAS TEÑIDAS EN EL MONTAJE 4 AL HACER USO DE UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.6 G/L	36
<b>TABLA IX</b> PRUEBA DE CINÉTICA EFECTUADA PARA LAS FIBRAS DE TELAS TIPO A Y TIPO B	37
<b>TABLA X</b> MUESTRAS DE TELA TEÑIDA PARA LA REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO (SEGUIMIENTO AL PROCESO DE TINTURA EN PLANTA Y ESTÁNDAR)	42
<b>TABLA XI</b> VALORES DE PH REGISTRADOS DURANTE TODO EL PROCESO DE TINTURA CUANDO SE LLEVÓ A CABO EL SEGUIMIENTO PARA LA TELA DE REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO	42
<b>TABLA XII</b> MUESTRAS DE TELA TEÑIDA PARA LA REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO (MODIFICACIÓN DE CURVA DE TINTURA EN EL GRADIENTE DE TEMPERATURA – ENSAYO EN PLANTA Y ESTÁNDAR)	45

**TABLA XIII** VALORES DE PH REGISTRADOS DURANTE TODO EL PROCESO DE TINTURA CUANDO SE LLEVÓ A CABO EL ENSAYO EN PLANTA PARA LA TELA DE REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO

45

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1.</b> Tipos de nylon y sus estructuras moleculares	17
<b>Fig. 2.</b> Curva de teñido para un sustrato textil con procesos complementarios tales como el enjuague y neutralizado de la tela, así como el jabonado	19
<b>Fig. 3.</b> Porcentajes causas de reprocesos en la mezcla nylon – lycra	30
<b>Fig. 4.</b> Prueba de cinética de fibras poliamídicas	38
<b>Fig. 5.</b> Comportamiento de la concentración Pt – Co en el baño de tintura cuando se llevó a cabo el seguimiento con la tela de referencia tipo A y tono habano, al alimentar el dador ácido en 10 minutos, usando un blanco como agua industrial y un blanco conformado por agua y auxiliares de tintura	39
<b>Fig. 6.</b> Concentración en escala Pt – Co del baño de tintura cuando se llevó a cabo el seguimiento de la tela de referencia tipo A con un tono habano para 2 mL diluido en 8 mL de agua al dosificar el dador y cuando se incrementa la temperatura en un gradiente igual a 0.8 °C/min	40
<b>Fig. 7.</b> Valores de pH correspondientes a la dosificación del dador para la toma de muestras del baño de tintura al llevar a cabo el seguimiento del proceso de tintura en la tela de referencia tipo A para el tono habano	41
<b>Fig. 8.</b> Valores de pH correspondientes a la termorregulación de la máquina tintorera incrementando la temperatura en la toma de muestras del seguimiento de la curva de tintura para la referencia de tela tipo A y tono habano	41
<b>Fig. 9.</b> Curva de tintura teórica sin modificación de gradientes para seguimiento del proceso y toma de muestras	43
<b>Fig. 10.</b> Curva de tintura teórica modificando el gradiente en las etapas de agotamiento y migración	44
<b>Fig. 11.</b> Valores de pH registrados cuando se alimentó el dador de ácido en 10 minutos para la tela de referencia tipo A en el tono habano implementando el cambio en el gradiente de temperatura	44
<b>Fig. 12.</b> Valores de pH registrados cuando se incrementó la temperatura en el proceso de tintura para la tela de referencia tipo A en el tono habano implementando el cambio en el gradiente de temperatura	44



<b>Fig. 13.</b> Curva de fijación para el colorante ácido tipo 1	46
<b>Fig. 14.</b> Curva de fijación para el colorante ácido tipo 2	47
<b>Fig. 15.</b> Curva de fijación para el colorante ácido tipo 3	47
<b>Fig. 16.</b> La fibra de la tela tipo A corresponde a la de color azul y la fibra de la tela tipo B corresponde a la de color magenta	50

## **SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS**

<b>AMEF</b>	Análisis de Modo y Efecto de Fallas
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>CIE</b>	Comission International de IÉclairage
<b>FMEA</b>	Failure Modes and Effects Analysis
<b>g/L</b>	Gramos por litro
<b>min</b>	Minutos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>NPR</b>	Número de Prioridad de Riesgo
<b>Pt – Co</b>	Platino – Cobalto
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto

## RESUMEN

En esta propuesta de práctica industrial se realizó un acompañamiento en planta en la Tintorería Industrial Colombiana, TINCOL S.A.S., con el objetivo de desarrollar un plan de mejora en el proceso de tintura de la tela conformada por fibras nailon y elastano. A partir de un análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) en el área de tintorería y acabados, se evaluó el número de prioridad de riesgo (NPR) para identificar aquellas causantes de los reprocesos con mayor impacto en el teñido de nylon/lycra, gracias a la información recolectada en base a los tres programas principales de la empresa encargados de facilitar un seguimiento de los rollos de tela, como también encuestas llevadas a cabo en las principales áreas (tintorería, acabados, laboratorio, calidad, administrativa) y un análisis de las curvas de tintura identificando las variables más influyentes en el proceso. Seguidamente, se propuso un trabajo de experimentación donde se evaluó el comportamiento individual, además de la interacción entre los colorantes ácidos amarillo, azul y rojo. Asimismo, se evaluó la influencia del dador de ácido y la cinética de la fibra con el fin de implementar un ensayo en planta para dar solución a los reprocesos hallados. Se concluye que los colorantes ácidos tipo 2 y 3 presentan mejor compatibilidad entre ellos, pero el colorante tipo 1 desarrolla una mayor afinidad en la tela. Finalmente, se redujo en un 6% el tiempo durante el agotamiento y migración del colorante hacia la tela al modificar el gradiente de temperatura cuando se incrementa dicha variable en un 185%.

**Palabras clave:** AMEF, Nailon/Elastano, Reprocesos, Colorantes ácidos, Cinética de la fibra.

## ABSTRACT

In this industrial internship project, technical assistance to the process plant at TINCOL S.A.S. was carried out, for developing and improving a plan in the dyeing fiber process. Based on a Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in the dyeing and finishes areas, it was evaluated a number of priority risk (NPR) to identify those causes of reprocesses with major impact in the dyeing of nylon/lycra. For this, information was acquired from three main software of the company in charge of facilitating a follow-up to the fabric rolls; surveys performed in the main areas (dyeing, finishes, laboratory, quality control, management) and analyzing the dyeing curves, were also used. Then, an experimental design was developed to test the effect of colorants (yellow, blue, and red) in a unique factor array, and later, in a factorial design to value color interaction. Likewise, the acid donor influence and the fabric kinetics were also studied to set up a test in the process plant, finding out solutions for specific dyed fabric which need to be reprocessed, due to the presence of white spots and discolored areas. It was established a better compatibility between acid colorant 2 and 3; however, colorant 1 developed higher affinity to the fiber of the fabric. Finally, it was reduced the exhaustion and migration time of the colorant to the fabric in 6%, when increasing the temperature gradient in 185%.

**Keywords:** FMEA, Nylon/Lycra, Reprocesses, Acid colorants, Fiber kinetics.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

TINCOL S.A.S es una tintorería industrial enfocada procesos de acabado textil, fundada en 1977 y localizada en el municipio de La Estrella (Antioquia). La empresa usa colorantes químicos para el teñido de fibras textiles, principalmente fibras de celulosa (algodón), sintéticas (poliéster, nylon, licra, viscosa) y sus mezclas (polialgodón, poliviscosa y nylon/licra). Recientemente los procesos de teñido vienen presentando problemas de tono, mareo e incluso manchas blancas en los colores claros de tejidos específicamente fibras poliamídicas y sus mezclas con colorantes ácidos. A raíz de estas complicaciones, la tela sale de especificaciones y genera reprocesos, lo que produce un incremento de costos y reducción en la rentabilidad de la empresa. Al respecto, se han identificado algunos factores como el factor humano, formulación de recetas de tintura, así como la configuración de los equipos como posibles causantes de dicha problemática.

En el último año, de las 289 toneladas que se han reprocesado en TINCOL S.A.S., el 11.42% pertenecen a reprocesos de la tintura de las fibras poliamídicas (Nylon). Este tipo de problemas afectan la capacidad de producción de la planta; la capacidad instalada para el año anterior fue de 16000 kg/día, con un aprovechamiento del 68%. La capacidad ociosa del 32% conlleva problemas de sobre costo en la formulación, que no pueden ser trasladados al precio de venta del servicio de tintura, dando como resultado que la empresa sea menos rentable, menos competitiva. De igual forma, se genera un impacto ambiental significativo, en virtud del excesivo consumo de recursos naturales, como lo son el uso del agua y el carbón. En referencia al consumo de agua, por cada kg de tela teñida se hace uso de 42 litros de agua y por cada reproceso de nylon se puede hasta duplicar la cantidad de agua necesaria para recuperar un lote de tejido. Finalmente, considerando que 191 toneladas de tela teñida en TINCOL S.A.S. presentaron causas de reprocesos, donde 33 toneladas pertenecen a las fibras poliamídicas y sus mezclas; representaría aproximadamente un 17% de los reprocesos de Nylon, es decir, 10 puntos porcentuales por encima del promedio global de reprocesos en la empresa. Esta crítica situación podría causar una disminución de las rentas e inversión en la empresa, pérdida de relaciones comerciales con los clientes y en el peor de los casos, la pérdida de la certificación ambiental con la cual se cuenta actualmente.

Teniendo en cuenta el problema en cuestión, en el presente trabajo se propone un plan de mejoras al proceso de tintura que eventualmente elimine los problemas asociados a factores de tono e indirectamente las manchas de los reprocesos de fibras poliamídicas (nylon y lycra). Específicamente se busca evaluar la pertinencia de las condiciones operativas en el proceso de tinción y proponer alternativas de mejoramiento, susceptibles de ser implementadas a nivel operativo.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. Objetivo general***

Desarrollar un plan de mejora en el proceso de tintura para el tejido conformado por nylon/lycra que eventualmente elimine los problemas de mareo y/o manchas en tejidos claros.

### ***2.2. Objetivos específicos***

- Identificar las variables operativas más influyentes en el proceso de teñido de fibras de nylon/lycra a partir de la recopilación y análisis de la información de la planta en operación, y/o a partir de un arreglo experimental que defina el acabado de rollos de tela como variable de respuesta.

-Analizar las curvas de tintura de nylon/lycra, obtenidas a partir de la implementación de los resultados del arreglo experimental desarrollado en el objetivo 1, y proponer estrategias de mejora.

-Establecer un plan de mejoras al proceso de tinción y eventualmente implementarlo a escala de producción.

---

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. La fibra textil y su clasificación

Las fibras son estructuras unidimensionales, delgadas y largas, aunque con baja relación sección transversal/longitudinal, donde el objetivo principal de las mismas es la formación de tejidos, considerando que éste es el elemento principal de los textiles. La fibra tendrá utilidad como textil siempre y cuando sea flexible, elástica y resistente [1].

Ahora bien, es posible clasificar las fibras textiles en dos categorías: Naturales y Sintéticas. Las fibras textiles naturales son generalmente proteicas, ya que son pelos o pieles como la lana o la seda y, además, son fáciles de teñir e hilar. Asimismo, las fibras naturales vegetales están formadas de celulosa y entre las tres más importantes en la industria textil se encuentran: el algodón, el lino y el esparto. Por otra parte, las fibras sintéticas han sido creadas completamente de forma artificial, utilizando diferentes derivados del petróleo. Tanto la materia prima como la creación del filamento son artificiales, lo que les aporta una versatilidad y economía mucho mayor que en los casos anteriores. Además, estas fibras suelen crearse para ser resistentes y de gran durabilidad. Es posible clasificar a las fibras sintéticas aquellas compuestas por fibras poliéster, fibras poliamídicas (nylon) e incluso el elastano (lycra) [2] [3].

#### 3.2. Fibras poliamídicas y sus mezclas: Nylon/Lycra

Los nylon pertenecen a la familia de las poliamidas sintéticas alifáticas, polímeros que se caracterizan por tener en su estructura el grupo amida,  $-CONH-$ , y un número variable de grupos metileno. Las poliamidas están consideradas como uno de los polímeros técnicos más versátiles y con mayores posibilidades de aplicación. Los nylon constituidos por diamidas pares y diácidos impares han sido escasamente estudiados, a pesar de que todos los indicios experimentales apuntan hacia la existencia de nuevas estructuras cristalinas [4]. De acuerdo con las definiciones indicadas, no existe una sola clase de Nylon, sino que según sea



la poliamida que lo constituya, éste tendrá propiedades y características que, algunas veces, llega a ser considerablemente distintas de un tipo a otro [5].

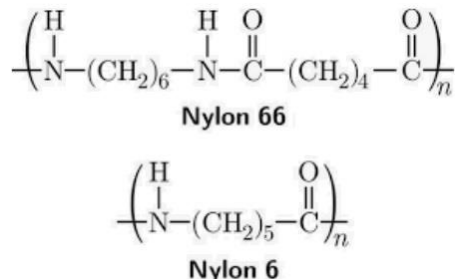


Fig. 1. Tipos de nylon y sus estructuras moleculares

Nota: fuente <https://cepe-eua.org/es/cual-es-la-diferencia-entre-nylon-y-nylon-DskAdAoT> Enciclopedia virtual.

Respecto a ambos tipos de nylon mostrados en la Figura 1, poseen similitudes como la alta resistencia mecánica, alta tenacidad, rigidez y dureza, buena resistencia a la fatiga y al impacto, además excelente resistencia al desgaste, pero sin resistencia a los rayos UV. En contraste, a pesar que ambos tienen un muy buen flujo para el procesamiento fácil, el nylon 6 se procesa a una temperatura más baja, mientras que el nylon 66 tiene un punto de fusión más alto [6].

Lycra® es el nombre del elastano también conocido como spandex. Es una fibra manufacturada sintética. Se define como un poliuretano segmentado a base de un éter polibutilénico que actúa como un resorte entre los grupos funcionales de poliuretano. Es más resistente y duradero que el caucho, con poder de retención tres veces mayor. El elastano es usado generalmente con otros tipos de fibras para obtener tejidos en ropa interior femenina y masculina, medias, trajes deportivos y de baño. Es necesario como mínimo desde un 2% de elastano para aumentar la retención en el tejido y a causa de esto, existen diferentes porcentajes de elastano en los tejidos conformados por esta [1].

### **3.3. Pretratamientos al proceso de tintura nylon/lycra**

Se consideran como tratamientos previos al teñido como todas las operaciones precedentes a las que se somete el sustrato (tela) con el fin de adecuarlo y obtener resultados óptimos en los procesos de tintura, estampado y/o acabado [1].

Uno de los pretratamientos es el prefijado, donde el sustrato se alimenta a una rama para suministrarle temperatura a la fibra por medio de un flujo de aire caliente, liberándolas de tensiones generadas en el proceso de tejeduría; con el fin de prevenir el encogimiento del tejido después del proceso de tintura. Por otra parte, el descrudado también hace parte de los pretratamientos y es llevado a cabo con el objetivo de eliminar impurezas o suciedades que contienen los sustratos textiles, ya que, al no ser correctamente eliminadas, pueden provocar en la tintura manchas, desigualaciones o colores menos vivos. Generalmente, se aplica en telas sintéticas que contengan cierto porcentaje de lycra [1].

### **3.4. Auxiliares de tintura y colorantes reactivos**

Los productos auxiliares (también los colorantes) pueden poseer o no cargas eléctricas, de acuerdo a esto se clasifican en: aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros. Los auxiliares de tintura deben ser disueltos o diluidos antes de su adición a las máquinas y su forma de hacerlo es muy importante: con temperatura, con agitación, sobre el agua o agua sobre el producto, etc. Se pueden clasificar en humectantes, emulsionantes, detergentes, dispersantes, igualadores, secuestrantes, antiqiebres, mejoradores de solidez, entre otros. Para el teñido de las fibras nylon/lycra se hace uso del álcali, suavizantes, igualadores y secuestrantes[1]. Por otra parte, los colorantes reactivos están formados por una parte cromófora (encargada de dar color) y una parte auxócroma (correspondiente al tipo y velocidad de reacción). Teniendo en cuenta que se genera un enlace covalente con la fibra, presentan buena solidez y permiten que la molécula de colorante sea de un tamaño menor en comparación con otros tipos de colorantes [1].

### 3.5. Curva de tintura

Representa el orden cronológico en el que deben ser añadidas cada una de las materias primas, como lo son los colorantes reactivos, dador de ácido, auxiliares, fijador, entre otros, en función de la temperatura (eje de ordenadas) respecto al tiempo (eje de abcisas) y los chequeos necesarios para el control del proceso de tintura tales como mediciones de pH o incluso la toma de muestras de la tela. Gracias a estos diagramas es posible observar:

- Un punto inicial del proceso (temperatura de inicio y tiempo 0)
- La velocidad de subida o descenso de la temperatura en un tiempo determinado (gradiente de subida o bajada).
- El tiempo de permanencia en una temperatura dada.
- La adición de productos.
- Procesos complementarios (descrudado, fijado, semiblanqueado, desmineralizado, jabonado, lavado, etc.).

En la Figura 2, se presenta una curva típica de teñido de un sustrato textil:

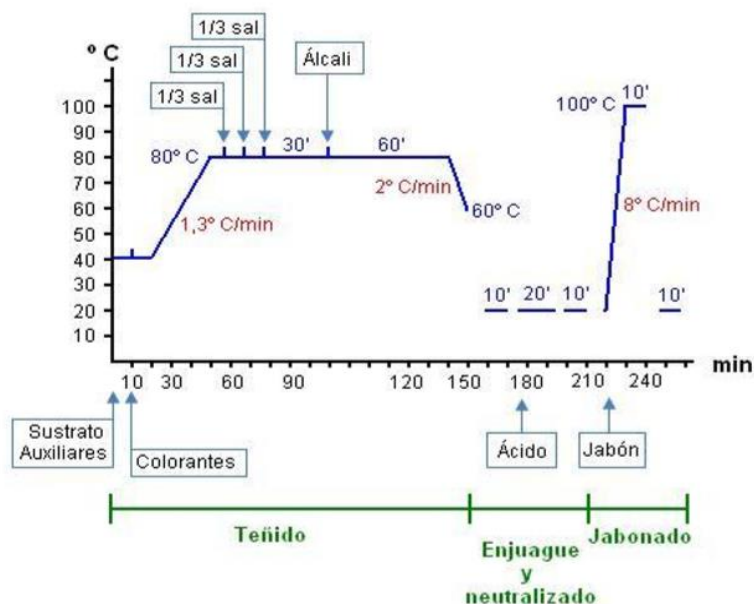


Fig. 2. Curva de teñido para un sustrato textil con procesos complementarios tales como el enjuague y neutralizado de la tela, así como el jabonado

Nota: F. E. Lockuán. La industria textil y su control de calidad. Fibras textiles, 1ra. ed. 2013.

### **3.6. Factores que influyen en el proceso de tintura**

Previo a definir estos factores, es necesario especificar que el proceso de tintura puede ser en medio continuo (Foulardado) o en medio discontinuo (Agotamiento). En TINCOL S.A.S., sólo se lleva a cabo el teñido de la tela en medio discontinuo en el cual se llevan a cabo principalmente cuatro fases: 1. Disolución y dispersión del colorante, 2. Adsorción, 3. Difusión y 4. Migración. La primera fase, se ve influenciada principalmente por la temperatura y el pH, ya que, a mayor temperatura, se produce un balance más rápido y una alta solubilidad de colorantes. Por otra parte, a mayor pH, mayor solubilidad para los colorantes aniónicos, y el caso contrario sucede con los colorantes catiónicos. Algunas condiciones inadecuadas en las aguas duras pueden originar precipitaciones y, por lo tanto, diferencias de tonalidad o reducir al agotamiento de los colorantes. En la segunda fase, el tamaño de las moléculas de los colorantes (mayor tamaño igual a menor solubilidad), las altas temperaturas (reducción de afinidad colorantes – fibra), el pH y el punto isoeléctrico de la fibra definen la velocidad de subida y agotamiento del colorante en el baño de tintura. En contraste, respecto a la tercera fase la cristalinidad de la fibra (mayor cristalinidad, menor difusión), tamaño molecular del colorante (mayor tamaño implica una difusión más difícil), fuerza enlace colorante – fibra (afinidad: más fuerte, más difícil difusión) y la temperatura (la elevada temperatura facilita el rompimiento enlace – colorante) son factores que prevalecen en esta etapa. Finalmente, aquellos factores que favorecen esta etapa son la baja afinidad y cristalinidad de la fibra, así como un pequeño tamaño molecular del colorante [1].

### **3.7. Problemas comúnmente observados en los procesos de tintura**

Considerando que los reprocesos involucran costes adicionales, deficiencias en el servicio, pérdida de calidad del tejido reprocesado y, como consecuencia, una pérdida de competitividad en un mercado cada día más exigente, se han clasificado y definido algunos de los defectos más frecuentes en la tintura por agotamiento listados a continuación:

- 
- Tintura no uniforme: orillo – centro u orillo – orillo.
  - Falta de reproductibilidad de colores entre partidas.
  - Deficiente preparación del tejido, que se manifiesta en forma de manchas o aureolas de diferente matiz.
  - Tintura no uniforme (barrado)
  - Manchas de precipitados, fundamentalmente a raíz de la dureza del agua, o a la presencia de sales metálicas.
  - Aureolas de color más claro, a causa de enmohecido por humedad, fundamentalmente en tejidos que contienen fibras celulósicas como el algodón.
  - Manchas de color, debido a una mala disolución del colorante.
  - Quiebres en la tela.
  - Problemas de tono, debido a que no se obtuvo el color esperado.
  - Color corrido.
  - Tela fuera de estándar por solidez.
  - Mareo de tela, definido como diferentes tonalidades de color en la tela o mala igualación al color.

### **3.8. Escala platino-cobalto**

La escala platino-cobalto, también llamada escala Pt/Co o escala APHA-Hazen es una escala estandarizada para evaluar el color del agua, específicamente diseñado para detectar los tonos amarillos o tonos ámbar típicos de aguas residuales urbanas, industriales o que contienen materia orgánica. La solución estándar es una mezcla acuosa de cloroplatinato de potasio ( $K_2PtCl_6$ ) y ácido clorhídrico (HCl). La solución estándar, que corresponde a 500 ppm de Pt en forma de iones de cloroplatinato, es una solución acuosa que resulta de la adición de 1.0 g de cloruro de cobalto, 1.245 g de cloroplatinato de potasio y 100 ml de ácido clorhídrico con agua destilada hasta 1000 ml. El valor se expresa generalmente como "unidades Hazen" ("nH") o, alternativamente, en ppm o mg / l de Pt [7].

### 3.9. Colorantes ácidos

Los colorantes ácidos se pueden clasificar en 3 subgrupos que describen sus propiedades en los procesos de tintura. Las tres clases son igualación, fresado/superfresado y premetalizados.

Los colorantes ácidos de igualación funcionan mucho mejor en comparación con todas las otras clases de colorantes ácidos para los procesos de tintura y los colores son muy brillantes. Las moléculas son simples y pequeñas, asimismo, migran mucho más rápido a través del baño de tintura o la fibra, por lo que ellos tiñen tan uniformemente. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes, debido a esto no son a menudo resistentes al lavado como los otros tipos de colorantes ácidos, consecuentemente se modifica su prueba de solidez para obtener resultados consistentes, lavándose en agua fría o lavado en seco. Considerando lo anterior, para algunos una solidez de 4 a 5 en una escala de 1 – 5, son generalmente puestos a prueba en temperaturas más frías, porque en agua caliente es probable que destiñan. Por otra parte, en comparación con los otros tipos de colorantes ácidos requieren el baño de tintura mucho más ácido y no presentan un buen rendimiento al teñir diferentes tipos de fibra [8].

Los colorantes ácidos de fresado/superfresado son moléculas más grandes con un peso molecular más grande que los de igualación, donde el nombre de este tipo de colorantes es gracias a su excelente solidez. En contraste, su desventaja es que ellos no tiñen tan uniformemente como los colorantes ácidos de igualación, por ende; se debe tener precaución en la preparación del baño de tintura para asegurar mejores resultados como, por ejemplo, una adecuada agitación del baño de tintura y la adición de sulfato de amonio. De hecho, esto reduce el proceso de reacción, en cuanto el pH inicial es neutro, luego se convierte ácido conforme el baño de tintura incrementa su temperatura, permitiendo a las moléculas más grandes un tiempo prudente para penetrar la fibra más uniformemente [8].

Los colorantes ácidos premetalizados son moléculas mucho más grandes y complejas con un ion de metal, usualmente de cromo o de cobalto en una forma trivalente, el cual es relativamente seguro cuando se maneja adecuadamente, y presente en cantidades tan

minúsculas que pueden ser diluidas en agua. Estos colorantes presentan una alta solidez y no migran una vez se fijan en la fibra, luego se debe tener un alto cuidado al aplicarlos uniformemente. Así, una adecuada agitación del baño de tintura y la adición de sulfato de amonio como agente de igualación, justo como los colorantes ácidos de fresado, debería solucionar este posible inconveniente. De todos los colorantes ácidos, estos presentan mayor resistencia al lavado y a la luz. Adicionalmente, funcionan adecuadamente en fibras de Nylon y otros tipos de fibra poliamídicas. Estos colorantes tienen alta afinidad particularmente con lana y seda. Finalmente, poseen un alto rango de pH en el baño de tintura [8].

TABLA I

PROPIEDADES PARA COLORANTES ÁCIDOS DE IGUALACIÓN, MOLIENDA/SUPERMOLIENDA Y PREMETALIZADOS

Propiedad	Colorantes ácidos de igualación	Colorantes ácidos de fresado/superfresado	Colorantes ácidos premetalizados
Luminosidad del colorante	Muy brillantes	Brillantes	Más opaco
Tendencia de la igualación (Uniformidad del color)	Muy buena	O.K.	Justa
Resistencia al lavado	Buena para 105EsF	Muy bueno para 120EsF	Excelente para 140EsF
Resistencia a la luz	Buena	Buena en el mayor de casos	Excelente
pH del baño de tintura	2 - 4	4 - 7	2 - 7
Aditivos del baño de tintura	Ácido, Sales de Glauber	Sulfato	Sulfato
Solubilidad en agua	40 - 80 g/L	3 - 30 g/L	Varias

Nota: fuente <https://www.dharmatrading.com/home/did-you-know-how-acid-dye-works.html> Dharma Trading Co.

#### **4. METODOLOGÍA**

Con el fin de desarrollar un plan de mejora en el proceso de tintura para el tejido conformado por nylon/lycra y cumplir con los objetivos propuestos, es necesario tener claridad del proceso y tener en cuenta una serie de pasos.

##### **4.1. Recopilación y análisis de información**

En principio, se llevó a cabo una búsqueda en fuentes bibliográficas y seguimiento de procesos de tintura en planta para afianzar conocimientos. Además, este último ayudó a identificar inicialmente los posibles factores que conducen a las fallas, así como la formulación de hipótesis durante la inmersión en la planta.

##### **4.2. Toma de datos a nivel operativo**

Teniendo en cuenta que se llevó a cabo un seguimiento de los rollos desde su ingreso a la empresa hasta su despacho, en el que se registran en un programa cada uno de los procedimientos, reprocesos y defectos que clasifican a la tela teñida por fuera de especificaciones, se hizo uso de esta información para justificar, clasificar y evaluar los fallos ocurridos en un año y su ocurrencia.

##### **4.3. Recolección de información a través encuestas y grabaciones de audio**

Considerando que el numeral anterior fue necesario para la construcción de la AMEF, pero no lo suficiente, porque se desconocen las causas de los fallos, se hizo uso de instrumentos para la recopilación de información directamente con plegadores, tintoreros, operarios de rama, supervisores, operarios del área de calidad, jefe de calidad, operarios de laboratorio encargados de hacer tonos nuevos, jefe de laboratorio, jefe de planta e ingenieros del área de producción con el fin de cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos.



#### **4.4. Análisis de información y construcción de la AMEF**

Una vez se recolectó la información, se procedió a construir la AMEF asignando valores cuantitativos a cada índice según la literatura. El uso de esta matriz, filtró aquellos reprocesos con mayor Número Prioritario de Riesgo (NPR), el cual se calculó basándose en la información que se obtiene respecto a los modos de las fallas potenciales, los efectos y la capacidad actual del proceso para detectar las fallas antes de que lleguen al cliente.

#### **4.5. Planteamiento de alternativas de solución**

Aquí, se propusieron hipótesis que sirvieron para formular un plan de mejora con el fin de dar solución a los fallos identificados y evaluados con la información obtenida en el numeral anterior. En primer lugar, es posible describir dos tipos de experimentación llevados a cabo tanto a escala laboratorio como en planta:

##### **4.5.1. Experimentación a escala laboratorio:**

En esta área se desarrollan los tonos requeridos por los clientes, donde se cuenta con máquinas tintoreras “Eco Dyer – Rapid” que simulan los procesos llevados a cabo en planta. Allí, se introducen los vasos de tintura de acero inoxidable en un eje rotatorio a 35 RPM, donde para cada vaso se dispone de 10 gramos de sustrato, la respectiva tricromía o colorantes en las concentraciones a evaluar y un aforo de 80 mL de baño de tintura que contiene los auxiliares requeridos para el proceso experimental. Los experimentos propuestos se basan fundamentalmente en evaluar el comportamiento individual de los colorantes, así como su interacción con cada uno de los colorantes que conforman la tricromía, evaluar; la influencia de la cantidad de dador de ácido y la cinética de la tela.

---

#### **4.5.1.1. Comportamiento de la tricromía:**

Se pesaron 10 gramos de la tela de referencia tipo A, la cual es una mezcla nylon/lycra (Nylon 6), donde 9 muestras fueron previamente descrudadas en la máquina tintorera subiendo un gradiente de temperatura igual a 2 °C/min hasta 80 °C manteniendo 20 minutos y bajando a 1 °C/min hasta 60 °C. El baño de descruce contenía los respectivos auxiliares tales como 1 g/L de fosfato trisódico, 2 g/L de humectante y 0.5 g/L de secuestrante tipo 1. Una vez se han descrudado las muestras, se hace uso de los vasos de tintura para disponer de 9 baños de tintura preparados con colorantes ácidos diferentes, así como sus concentraciones: 3 vasos contienen sólo 1 tipo de colorante ácido; ya sea 0.140% (%p/p) del colorante ácido tipo 1 (Amarillo), 0.0260% (%p/p) del colorante ácido tipo 2 (Azul) o 0.078% (%p/p) del colorante ácido tipo 3 (Rojo); los siguientes 3 vasos disponían de las mismas concentraciones pero combinando el colorante 1 y 2 para la muestra 4, otro vaso combinando el colorante 1 y 3 para la muestra 5 y otro vaso combinando el colorante 2 y 3 para la muestra 6. Finalmente, con el fin de observar la reproducibilidad de la tricromía, las muestras 7, 8 y 9 contenían los mismos 3 colorantes ácidos combinados en dichas concentraciones dando lugar al tono de referencia elegido en este estudio, (habano). Las concentraciones de los auxiliares de tintura corresponden a 0.1 g/L de carbonato de sodio liviano, 1.5 g/L de igualador, 0.5 g/L de secuestrante tipo 2, 0.5 g/L de dador ácido y 0.5 g/L de antiqiebres. Además, se llevaron a cabo 3 montajes para corroborar la veracidad de los resultados, donde los gradientes de temperatura en el proceso de tintura corresponden a 0.8 °C/min en la subida, manteniendo 30 minutos a 105 °C y bajando para el enfriamiento del baño a 1 °C/min hasta 60°C.

#### **4.5.1.2. Influencia del dador de ácido:**

Se pesaron 10 gramos de la tela de referencia tipo A, donde se llevaron a cabo los procesos de descruce y tintura con la misma metodología implementada en el numeral 1.1, pero esta vez se fue incrementando la cantidad de dador de ácido en el baño de tintura desde 0.3 g/L hasta 0.6 g/L en 4 montajes distintos.

#### **4.5.1.3. Cinética de la tela:**

En esta ocasión, se hizo uso del colorante tipo 3 (rojo) en una concentración de 1% (peso/peso) para dos referencias de tela nylon/lycra (Nylon 6) tipo A y tipo B. Ambas telas corresponden al mismo tipo de Nylon 6 y se pesaron 7 cantidades iguales de sustrato (10 gramos) de cada referencia; como también, el uso de los auxiliares de descruce y de tintura fueron los mismos utilizados para el numeral 1.1 (así como los gradientes de temperatura), con una concentración óptima del dador de ácido igual a 1 g/L. Sin embargo, la prueba consistía en evaluar la temperatura a la cual se agotaría completamente el colorante del baño, consecuentemente; en el mismo vaso de tintura se introducía una muestra de 10 gramos de tela previamente descruada tipo A y tipo B en el vaso 1 y vaso 2, respectivamente. Luego, de 30 °C a 40 °C se dejaba procesar la tela en dicho vaso dentro de la máquina de tintura a 35 RPM y una vez se llegaba a los 40 °C, se retiraba la muestra de cada vaso rápidamente, escurriendo la mayor cantidad de baño posible en éste procurando no desperdiciar parte del colorante. Seguidamente, se introducía una nueva muestra de 10 gramos previamente descruada y se dejaba procesar nuevamente de 40 a 50 °C, repitiendo sucesivamente este procedimiento con las 7 muestras de tela para cada referencia en su respectivo vaso de teñido hasta completar la escala de 90 a 100 °C.

#### **4.5.2. Experimentación a gran escala:**

En planta, inicialmente se pretendía evaluar el comportamiento actual de la curva de tintura establecida para la tela de referencia tipo A, con las mismas concentraciones de cada uno de los auxiliares de descruce y tintura utilizados a escala laboratorio (como también los gradientes de temperatura especificados allí tanto para el descruce como para la tintura de la tela) en un lote de 145.8 kilogramos. En principio, se tomó el pH del baño de tintura una vez se alimentaron los auxiliares de tintura; en segunda instancia, el pH del baño posterior a la dosificación del colorante ácido. Considerando que el dador ácido en planta se dosifica en 10

minutos, se tomaron muestras del baño en tubos de ensayo para medir el pH y la concentración en escala platino-cobalto (Pt-Co) desde el minuto 1 hasta el minuto 10 una vez se ha ingresado dicho dador, para un total de 10 muestras. Asimismo, se tomaron 12 muestras del baño en tubos de ensayo con el fin de medir posteriormente el pH y la concentración en escala platino-cobalto (Pt-Co) cada 5 °C, desde 50 °C hasta 105 °C. El pH final cuando la curva de tintura ha bajado su temperatura a 1 °C/min hasta 60 °C fue medido de igual forma.

#### **4.6. Implementación del plan de mejora**

El desarrollo del plan de mejora fue ejecutado desde ensayos en el laboratorio hasta ensayos en planta, llevados a cabo en orden cronológico, teniendo las alternativas de solución previamente planteadas. Teniendo presente que la tela de referencia tipo A no desarrolló mareos en la experimentación y toma de muestras llevada a cabo en planta, se consideró únicamente la modificación en la curva y ejecución del proceso en planta en la máquina tintorera “Thies” respecto a los gradientes de temperatura en el proceso de tintura basándose en los resultados obtenidos cuando se evaluó la cinética de la tela a escala laboratorio; esto con el fin de hacer el proceso más eficiente reduciendo los tiempos de incremento de temperatura.

#### **4.7. Análisis, planteamiento de conclusiones e informe de resultados**

Una vez se logró llevar a cabo los diferentes experimentos y ensayo a gran escala en planta, se resumió tanto en gráficas como en tablas la información recolectada para analizarla y concluir. Adicionalmente, debido a que no fue posible obtener una reproducibilidad del proceso para la solución a las manchas blancas, se sugieren alternativas de solución y propuestas de ensayos para efectuar a futuro.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Toma de datos a nivel operativo

Una vez se recopiló la información por dos de los tres *softwares* principales que maneja la empresa para registrar el seguimiento que se realiza a los rollos desde su ingreso hasta su despacho, se estipuló la mezcla nylon – lycra como aquella tela en la cual se enfocaría el plan de mejoramiento en sus procesos de tintura; esto se confirma a partir de los datos anuales resumidos en la **TABLA II**, que se presenta a continuación:

TABLA II  
DATOS ANUALES CORRESPONDIENTES A LA PRODUCCIÓN PARA TELA TEÑIDA Y REPROCESADA EN EL NYLON Y SUS MEZCLAS

	Nylon 100	Nylon M.F.	Nylon Splx - Lycra	Nylon - Lycra
TELA TEÑIDA (kg)	3017,9	19763,9	23345,3	157715,83
TELA REPROCESADA (kg)	282,5	3002,8	1763,9	27380,55
%TELA REPROCESADA	9%	15%	8%	17%

Ahora bien, considerando los resultados de la TABLA II, las causas de reprocesos que pretenden solucionarse con el plan de mejora principalmente representan el 55, 19 y 12% de las causas de reprocesos totales en la mezcla Nylon – Lycra, correspondientes a manchas, mareo y tono, respectivamente. Así, el siguiente diagrama de torta (**Fig. 3**) sumado al plan de acción arrojado por la AMEF, confirma la decisión tomada previamente, donde las causas de reprocesos que obtuvieron mayor NPR se definieron como mareos, tonos y manchas:

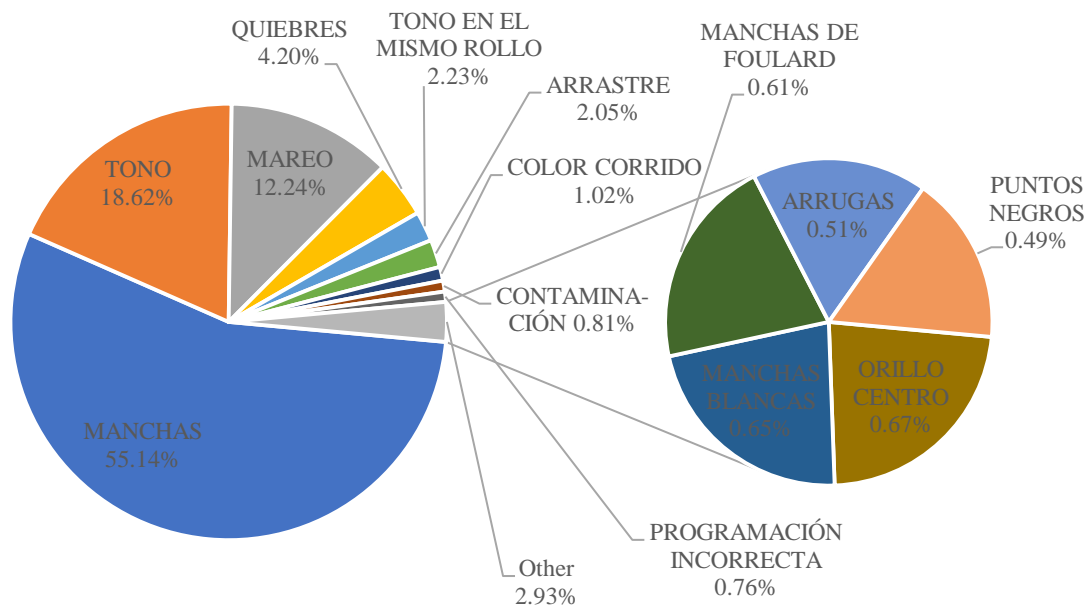


Fig. 3. Porcentajes causas de reprocesos en la mezcla nylon – lycra

Finalmente, se eligieron tonos medios y claros, específicamente los habanos, ya que presentan un significativo porcentaje en los reprocesos y además se encuentran en alta demanda por parte de los clientes en el año actual.

## 5.2. Comportamiento de la tricromía

Al llevar a cabo la experimentación a escala laboratorio con el fin de analizar el comportamiento individual de cada colorante ácido y su interacción con otros colorantes ácidos que hacen para de la tricromía del tono “habano”, se obtuvieron los siguientes valores de pH representados en la **TABLA III** para cada uno de los 3 montajes:

TABLA III

VALORES DE PH DEL BAÑO DE TINTURA CORRESPONDIENTE A LOS MONTAJES 1, 2 Y 3 EN LA INTERACCIÓN DE COLORANTES ÁCIDOS

	MONTAJE 1			MONTAJE 2			MONTAJE 3		
	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final
Muestra 1	9.10	6.74	4.60	9.11	6.90	4.95	9.15	6.95	4.90
Muestra 2	9.21	6.69	4.59	9.20	6.85	4.92	9.19	6.82	4.93
Muestra 3	9.11	6.77	4.66	9.13	6.87	4.94	9.18	6.87	4.79
Muestra 4	9.18	6.75	4.67	9.17	6.95	4.99	9.15	6.90	4.80
Muestra 5	9.22	6.79	4.80	9.21	6.74	4.85	9.20	6.77	4.77
Muestra 6	9.15	6.78	4.83	9.18	6.70	4.75	9.13	6.70	4.60
Muestra 7	9.11	6.74	4.82	9.15	6.75	4.78	9.18	6.75	4.80
Muestra 8	9.11	6.75	4.81	9.15	6.77	4.79	9.15	6.80	4.81
Muestra 9	9.16	6.89	4.90	9.20	6.80	4.84	9.15	6.79	4.85

En resumen, para el comportamiento de los colorantes individuales, el colorante ácido tipo 1 no presentó algún tipo de falla en el proceso de tintura para todos los montajes llevados a cabo, mientras que el colorante ácido tipo 2 sólo presentó manchas blancas en el montaje 1 y el colorante ácido tipo 3 desarrolló mareas y manchas blancas en las 3 muestras (**TABLA IV**). Por otra parte, respecto a las dicromías (**TABLA V**), los colorantes ácidos tipo 1 y 2 sólo exhibieron mareo de tono amarillo en el montaje 2; asimismo, para la dicromía conformada por los colorantes ácidos tipo 1 y 3 se observó un mareo con tonalidad rojiza en el montaje 3. Conjuntamente, haciendo referencia a la dicromía formada por los colorantes ácidos tipo 2 y 3, no presentó causas de reproceso en la tintura para los 3 montajes. Por último, la tricromía de la muestra 7, mostró manchas blancas en el montaje 2, en tanto que, la muestra 8 presentó manchas blancas de tamaño reducido en el montaje 1 y un mareo rojizo en el montaje 3. De igual forma, la muestra 9 presentó leves mareas y manchas blancas en los montajes 1 y 2.

TABLA IV

MUESTRAS TEÑIDAS AL UTILIZAR EL COLORANTE ÁCIDO TIPO 3 (ROJO) CON  
CONCENTRACIÓN DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.5 G/L




Colorante tipo 3 (Rojo)	
Montaje 1	
Montaje 2	
Montaje 3	



TABLA V

MUESTRAS TEÑIDAS AL UTILIZAR LAS DICROMÍAS DE LOS COLORANTES ÁCIDOS  
AMARILLO+AZUL, AMARILLO+ROJO Y AZUL+ROJO CON UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR  
ÁCIDO IGUAL A 0.5 G/L







Dicromías	
Montaje 2 (Dicromía Amarillo+Azul)	
Montaje 3 (Dicromía Amarillo+Rojo)	
Montaje 3 (Dicromía Azul+Rojo)	

TABLA VI

MUESTRAS TEÑIDAS AL COMBINAR LOS COLORANTES ÁCIDOS TIPO 1, 2 Y 3 CON UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.5 G/L

	Tricromías
Montaje 2 - Muestra 7	
Montaje 1 - Muestra 8	
Montaje 3 - Muestra 8	
Montaje 1 - Muestra 9	
Montaje 2 - Muestra 9	

### 5.3. Influencia del dador de ácido

Este compuesto está conformado principalmente por un éster en mayor proporción (>60%) y debido a su hidrolización se forma un ácido el cual se encarga de darle acidez al baño, disminuyendo su pH con el aumento de la temperatura. Gracias a ello, se provee el agotamiento de los colorantes ácidos en el baño pasando desde éste hacia la tela. Por consiguiente, es un factor clave a la hora de analizar su comportamiento en el proceso de

tintura. Los siguientes resultados representados en la **TABLA VII** para cada uno de los montajes permitieron obtener información de utilidad ante la influencia del dador ácido en las causas de reproceso:

TABLA VII

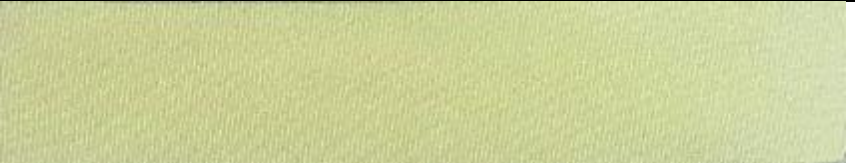





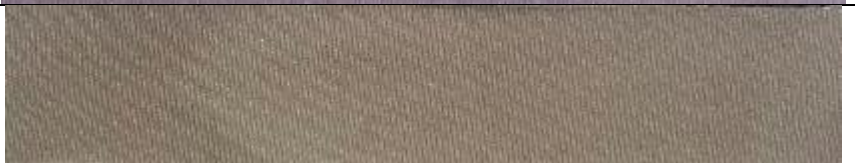


VALORES DE PH DEL BAÑO DE TINTURA CORRESPONDIENTE A LOS MONTAJES 1, 2, 3 Y 4 PARA CONCENTRACIONES DEL DADOR ÁCIDO IGUALES A 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 G/L

	MONTAJE 1 (0.3 g/L)			MONTAJE 2 (0.4 (g/L)			MONTAJE 3 (0.5 g/L)			MONTAJE 4 (0.6 g/L)		
	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final	pH con auxiliares de tintura	pH inicial con dador ácido	pH final
Muestra 1	9.25	8.02	7.11	9.11	7.90	6.84	9.12	6.71	4.48	9.28	6.97	4.55
Muestra 2	9.21	7.95	7.05	9.19	7.69	6.80	9.0	6.89	4.45	9.27	7.26	4.84
Muestra 3	9.21	7.94	7.09	9.17	7.73	6.90	9.11	6.72	4.49	9.27	7.10	4.42
Muestra 4	9.24	7.97	6.98	9.19	7.69	6.81	9.03	6.75	4.49	9.28	7.08	4.41
Muestra 5	9.14	7.79	6.95	9.15	7.68	6.89	9.14	6.55	4.41	9.23	6.99	4.25
Muestra 6	9.16	7.80	7.01	9.21	7.69	6.82	9.17	6.74	4.49	9.28	7.02	4.34
Muestra 7	9.21	7.94	7.03	9.15	7.66	6.95	9.15	6.77	4.54	9.26	7.08	4.64
Muestra 8	9.22	7.92	7.0	9.14	7.68	6.93	9.10	6.65	4.54	9.26	7.17	4.68
Muestra 9	9.20	7.90	6.95	9.14	7.68	6.74	9.12	6.90	4.74	9.25	6.98	4.33

Por lo tanto, los valores de pH evidencian la sensibilidad que representa la adición del dador ácido al baño de tintura en pequeñas cantidades y, en su defecto, la generación de causas de reprocesos en la tela desde mareos, manchas blancas hasta desigualdad en tonos, como también tonos caídos; éste último en los montajes 1 y 2. Sin embargo, de los cuatro montajes, el número 2 podría considerarse como el más apto, ya que en tonos claros, un rango para valores de pH óptimo se logra entre 6.5 y 5.5. Así, es posible evitar mareos justo después de adicionar el dador ácido; puesto que, posiblemente allí no ha iniciado la reacción, previo a la termorregulación cuando se incrementa la temperatura propiciando la migración y agotamiento del colorante en el baño. Luego, en la **TABLA VIII** es permisible apreciar la influencia e importancia del dador ácido donde 8 de las 9 muestras presentaron mareos y manchas blancas al ser teñidas con una concentración de dador igual a 0.6 g/L:

TABLA VIII

MUESTRAS TEÑIDAS EN EL MONTAJE 4 AL HACER USO DE UNA CONCENTRACIÓN DE DADOR ÁCIDO IGUAL A 0.6 G/L

	Montaje 4
Muestra 1	
Muestra 2	
Muestra 3	
Muestra 4	
Muestra 5	
Muestra 6	
Muestra 7	
Muestra 8	
Muestra 9	

#### 5.4. Cinética de tinción en la tela

El desarrollo experimental para el estudio de la cinética de la tela fue clave a la hora de observar el agotamiento e inferir cualitativamente en qué temperatura se lograba teñir, y, por consiguiente, definir si era cinética tipo 1 o 2 (agotamiento rápido), 3 o 4 (agotamiento normal), 4 o 5 (agotamiento lento). Aquí, se hizo uso del colorante tipo 3 (rojo) con el fin de apreciar con mayor facilidad la intensidad de tono a medida que se daba el agotamiento en una concentración de 1% de colorante ácido tipo 3 (10 mL de colorante en una solución que contiene 2 gramos de colorante disueltos en 200 mL de agua). Los resultados obtenidos se presentan en la **TABLA IX**:

TABLA IX  
PRUEBA DE CINÉTICA EFECTUADA PARA LAS FIBRAS DE TELAS TIPO A Y TIPO B

Rangos de temperatura (°C)	Tipo A	Tipo B
90 - 100		
80 - 90		
70 - 80		
60 - 70		
50 - 60		
40 - 50		
30 - 40		

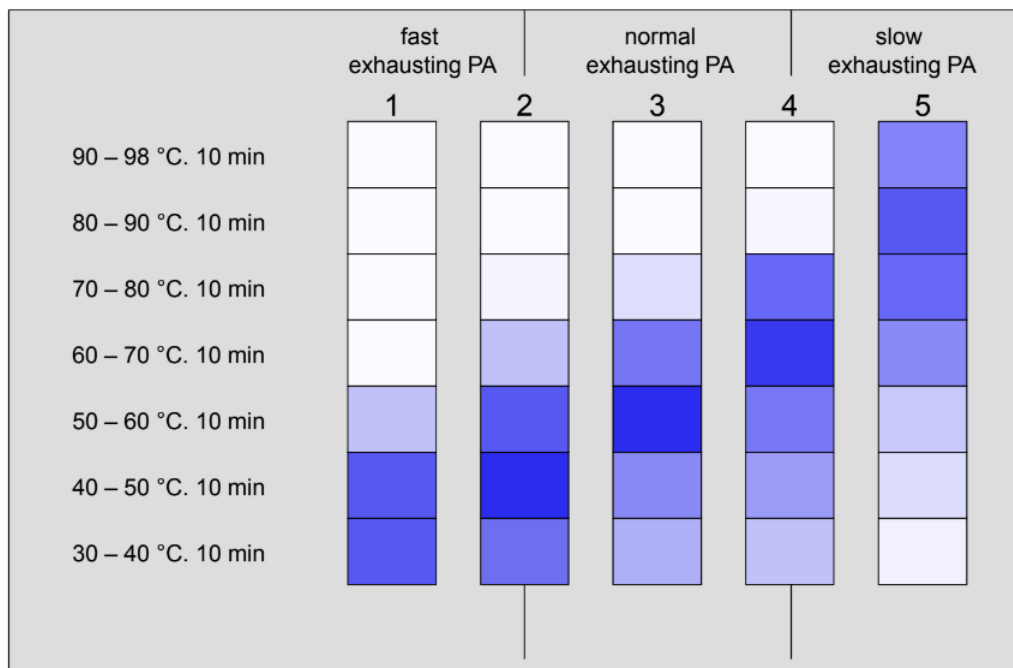


Fig. 4. Prueba de cinética de fibras poliamídicas

Nota: Imagen tomada de una presentación llevada a cabo por uno de los proveedores de TINCOL S.A.S, La Estrella – Antioquia.

Al observar la **Fig. 4** y la **TABLA IX** es posible incluir tanto a las referencias de tela tipo A como la tela tipo B en el grupo 1 y 2 (de agotamiento rápido), respectivamente. En definitiva, para ambos tipos de tela, el colorante se adhiere en frío desde los 30 o 40 °C, aunque; la tela tipo A desarrolla un agotamiento más rápido, por ende, en el momento que se han logrado los 70 °C es posible acelerar el proceso de tintura y modificar o incrementar el gradiente de temperatura con el fin de hacerlo más eficiente.

### 5.5. Experimentación a gran escala

Para la medición de la concentración Pt – Co, se hizo uso de un colorímetro DR-900 de Hach, el cual se disponía de dos tubos nessler de 10 mL, uno para ajustar el blanco y otro para hacer la respectiva medición del baño de tintura. En la medición del blanco, en primera instancia se utilizaron dos tipos de soluciones, una de ellas contenía los mismo auxiliares de tintura sin colorante y otra solución con agua industrial que se utiliza generalmente para los

procesos de tintura en la empresa, con el objetivo de determinar qué tan desviado podría ser hacer uso de la segunda solución como blanco y compararla con la primera (a pesar de que se conocía la diferencia de valores de pH ya que el agua industrial maneja un valor de pH aproximado de 7.2), mientras que la solución con los auxiliares de tintura arrojaba valores de pH superiores a 9. Por otra parte, fue indispensable diluir las muestras a partir de 2 mL de la muestra del baño de tintura con 8 mL de agua industrial, considerando que la escala Pt – Co mide hasta un valor máximo de 500 en concentración, y debido a la intensidad de color del baño de tintura, ésta aparentemente sobrepasaba los límites de la concentración máxima en una escala Pt – Co. A continuación se presentan ambas curvas con sus respectivas líneas de tendencia cuando se midieron las muestras correspondientes a la alimentación del dador ácido cada minuto (**Fig. 5**):

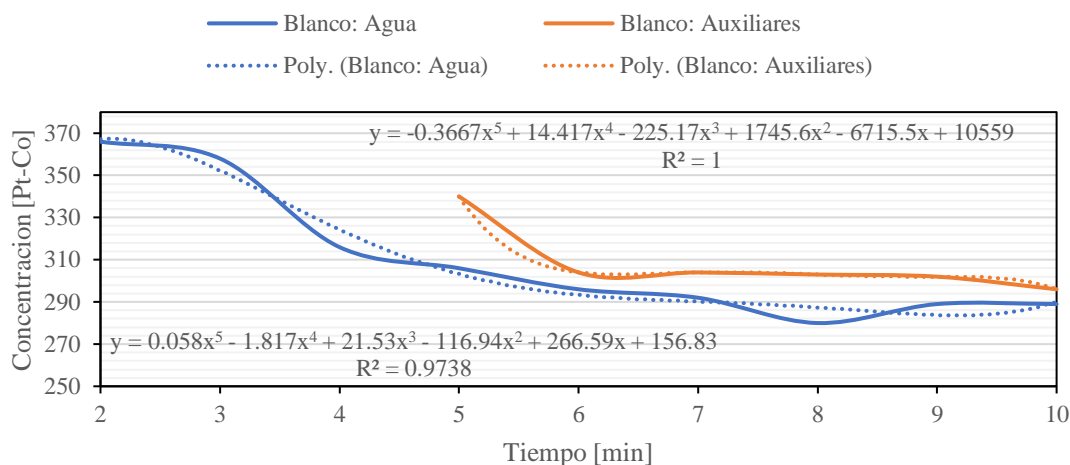


Fig. 5. Comportamiento de la concentración Pt – Co en el baño de tintura cuando se llevó a cabo el seguimiento con la tela de referencia tipo A y tono habano, al alimentar el dador ácido en 10 minutos, usando un blanco como agua industrial y un blanco conformado por agua y auxiliares de tintura

A partir de los resultados registrados en la **Fig. 5**, se decidió utilizar como blanco el agua industrial para las siguientes mediciones en el colorímetro DR-900 de Hach, debido a que la tendencia de ambas funciones es aproximadamente similar y se obtenían valores más acertados, sin dejar a un lado que el valor de pH igual a 7 para el agua industrial no permite que las muestras del baño de tintura leídas se vean afectadas. El anexo C.1 permite identificar

visualmente un agotamiento en frío con el simple hecho de dosificar el dador ácido a temperatura constante.

Por otra parte, la **Fig. 6** compara el agotamiento generado al alimentar el dador contra la termoregulación donde se da un incremento de temperatura debido al gradiente utilizado igual a  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . En este caso, a pesar que la dosificación del dador se da a temperatura constante, es posible inferir que en tan poco tiempo, se da un cambio significativo de la concentración de la tricromía de colorantes ácidos migrando hacia la tela en una escala Pt – Co desde 366 hasta 289, aunque sólo hasta luego de los 41 minutos de la alimentación del dador (aproximadamente 30 minutos posterior al ingreso total del dador en el baño) inicia un cambio significativo en una escala Pt – Co desde 243 a 0, por lo que hasta antes de éste punto se considera una etapa crítica en la que se debe tener precaución en el proceso de tintura como se evidenció en la cinética de la tela cuando se han logrado los  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es válido aclarar que para el análisis de la experimentación en planta, se tomaron valores de pH y se extrayeron muestras del baño de tintura antes de la dosificación del dador, ya que previo a esto se carga la tela, se descruza, se alimentan los auxiliares de tintura así como la respectiva alimentación de la mezcla de colorantes ácidos tipo 1, 2 y 3; no obstante, por practicidad se cuenta el tiempo 0 como aquel momento en que el dador se alimenta.

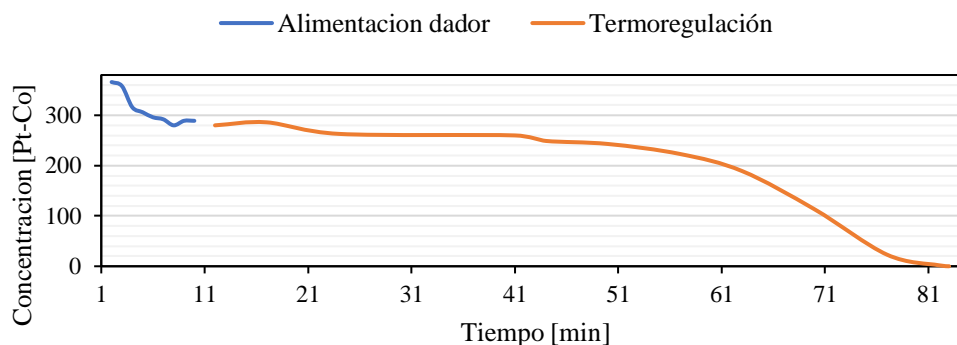


Fig. 6. Concentración en escala Pt – Co del baño de tintura cuando se llevó a cabo el seguimiento de la tela de referencia tipo A con un tono habano para 2 mL diluido en 8 mL de agua al dosificar el dador y cuando se incrementa la temperatura en un gradiente igual a  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$



Así, el anexo C.2 permite reconocer visualmente la migración completa de la mezcla de colorantes ácidos tipo 1, 2 y 3 en un tono habano decreciendo su intensidad de tono en las muestras debido a su migración, logrando una adsorción y agotamiento total del colorante en la tela y del baño hacia la tela, respectivamente.

Finalmente, en la **Fig. 7** y **Fig. 8** se corrobora el cambio del valor de pH en el baño de tincura, permitiendo así el alcance del tono deseado y cumpliendo con las funciones a cargo del dador de ácido a causa de su hidrolización por medio del incremento de temperatura.

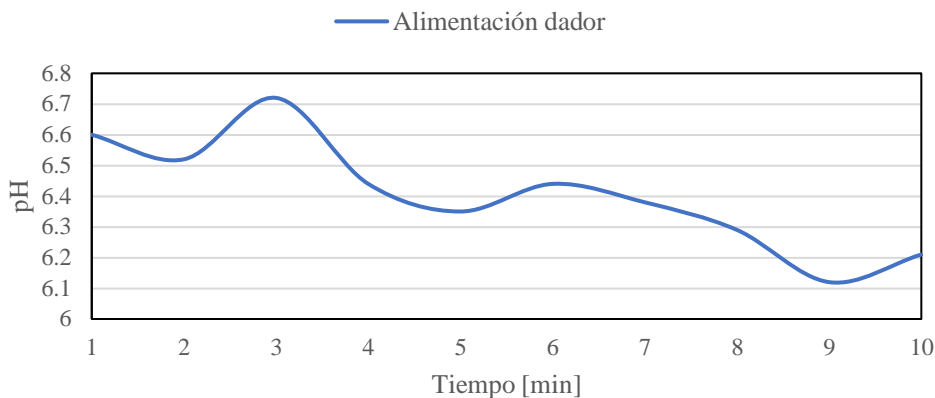


Fig. 7. Valores de pH correspondientes a la dosificación del dador para la toma de muestras del baño de tincura al llevar a cabo el seguimiento del proceso de tincura en la tela de referencia tipo A para el tono habano

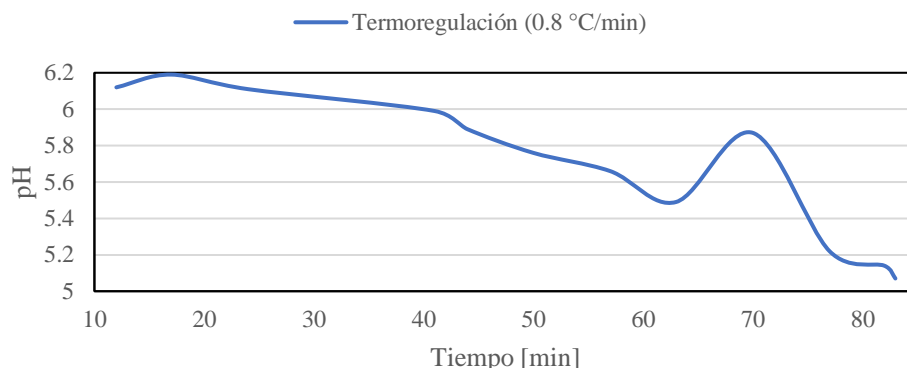


Fig. 8. Valores de pH correspondientes a la termoregulación de la máquina tintorera incrementando la temperatura en la toma de muestras del seguimiento de la curva de tincura para la referencia de tela tipo A y tono habano

TABLA X

MUESTRAS DE TELA TEÑIDA PARA LA REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO  
(SEGUIMIENTO AL PROCESO DE TINTURA EN PLANTA Y ESTÁNDAR)

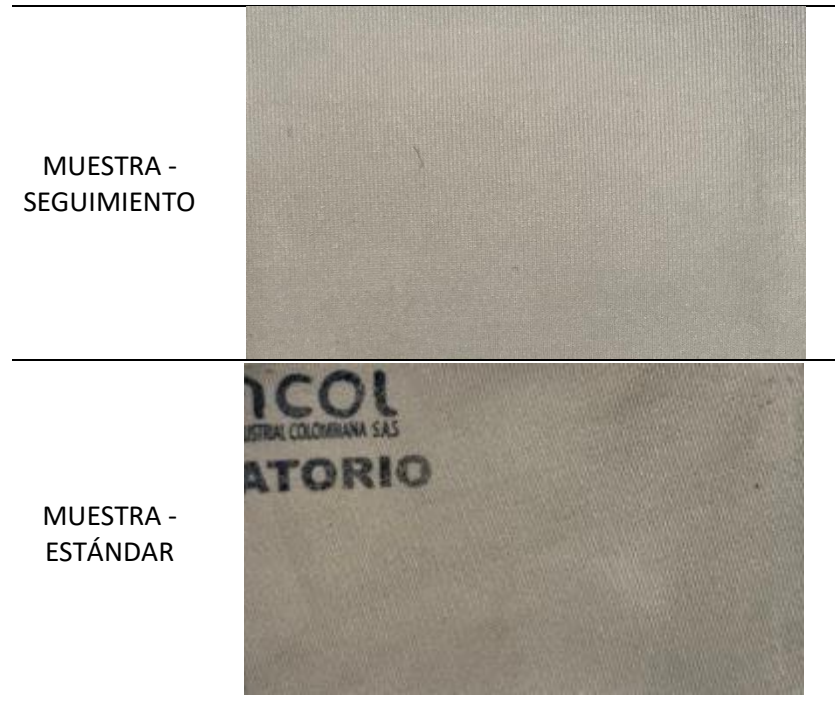


TABLA XI

VALORES DE PH REGISTRADOS DURANTE TODO EL PROCESO DE TINTURA CUANDO SE LLEVÓ A CABO EL SEGUIMIENTO PARA LA TELA DE REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO

	Valores de pH
Alimentación de auxiliares de tintura	8.99
Alimentación de colorante	8.83
Alimentación dador de ácido	6.89
Proceso de tintura completado	5.2

## 5.6. Implementación del plan de mejora

A partir del análisis de la información anterior, se decidió proponer un ajuste en la curva de tintura en planta, específicamente en el gradiente de temperatura cuando se termoregula el baño desde 70 °C hasta 105 °C una vez se haya efectuado el proceso de descrude, la alimentación de los auxiliares de color y el colorante previamente mezclado, como también la respectiva dosificación del dador en 10 minutos. Esta recomendación se basó en los resultados de la experimentación llevada a cabo para el estudio de la cinética de la tela, considerando que a los 70 °C el colorante mezclado se habría agotado casi completamente del baño pasando por la etapa crítica. Debido a que los resultados en planta durante el seguimiento del proceso de tintura para la tela de referencia tipo A del tono habano no exhibieron mareo, se decidió incrementar en un 185% el gradiente de temperatura pasando de 0.8 °C/min a 1.5 °C/min lo que representó una disminución de 23.33 minutos del proceso total, equivalente a un 6%. Es importante aclarar que para el ensayo propuesto modificando este gradiente, se dispuso de concentraciones diferentes de los colorantes tipo 1, 2 y 3 por requerimientos del cliente. Sin embargo, estas concentraciones dan como resultado el mismo tono habano en una gama más oscura.

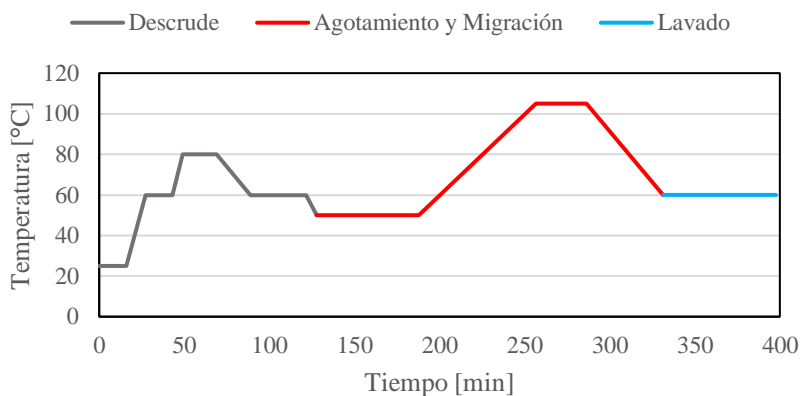


Fig. 9. Curva de tintura teórica sin modificación de gradientes para seguimiento del proceso y toma de muestras

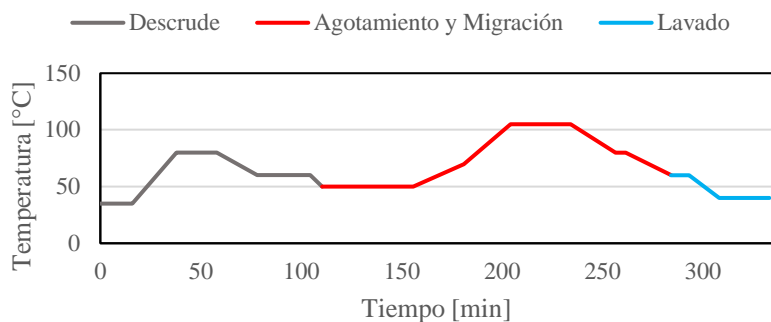


Fig. 10. Curva de tincura teórica modificando el gradiente en las etapas de agotamiento y migración

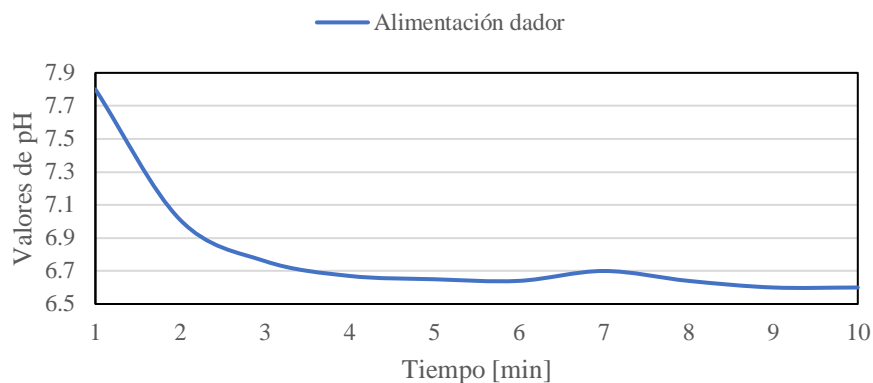


Fig. 11. Valores de pH registrados cuando se alimentó el dador de ácido en 10 minutos para la tela de referencia tipo A en el tono habano implementando el cambio en el gradiente de temperatura

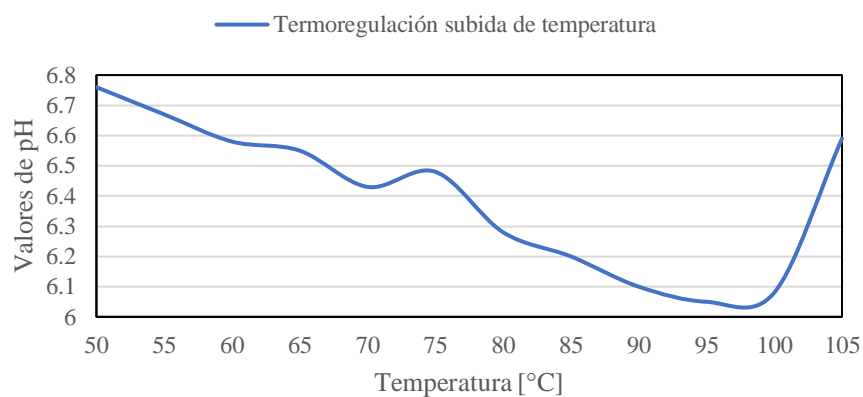


Fig. 12. Valores de pH registrados cuando se incrementó la temperatura en el proceso de tincura para la tela de referencia tipo A en el tono habano implementando el cambio en el gradiente de temperatura

TABLA XII

MUESTRAS DE TELA TEÑIDA PARA LA REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO  
(MODIFICACIÓN DE CURVA DE TINTURA EN EL GRADIENTE DE TEMPERATURA – ENSAYO EN PLANTA Y ESTÁNDAR)



TABLA XIII

VALORES DE PH REGISTRADOS DURANTE TODO EL PROCESO DE TINTURA CUANDO SE LLEVÓ A CABO EL ENSAYO EN PLANTA PARA LA TELA DE REFERENCIA TIPO A EN EL TONO HABANO

	Valores de pH
Alimentación de auxiliares de tintura	9.02
Alimentación de colorante	8.76
Alimentación dador de ácido	7.01
Proceso de tintura completado	7.09

## 6. ANÁLISIS

Respecto al comportamiento de la tricromía, debido a los resultados obtenidos se esperaría que los colorantes ácidos tipo 1, 2 y 3 se comporten mejor individualmente que al ser mezclados en dicromías (hasta en tricromías) desarrollando una mayor dificultad para lograr un agotamiento y migración adecuada debido a la posible compatibilidad entre ellos. Sin embargo, en el presente experimento incluso individualmente se percibe un factor común donde el colorante tipo 3 presentó mareos o manchas blancas, como también su tonalidad prevaleció en la dicromía del amarillo+rojo del montaje 3, así como la tricromía del montaje 3 en la muestra 8. Debido a que no se observó una reproducibilidad en las tricromías y tampoco en las dicromías, se recomendaría llevar a cabo una experimentación con un mayor número de muestras para observar la repetitividad del problema y concluir si el problema persiste o no a causa del colorante tipo 3. No obstante, a continuación se presentan las gráficas de fijación (**Fig. 13**, **Fig. 14** y **Fig 15**), donde en el eje de ordenadas se tiene “*Relative strength %*” (porcentaje de intensidad relativa) y en el eje de abcisas “*Temp \* time*” (Temperatura\*tiempo de sostenimiento) para cada uno de los colorantes ácidos tipo 1, 2 y 3 encontrados en las respectivas fichas técnicas otorgadas por el proveedor con el fin de analizar dicho problema presentado en los experimentos llevados a cabo en el laboratorio:

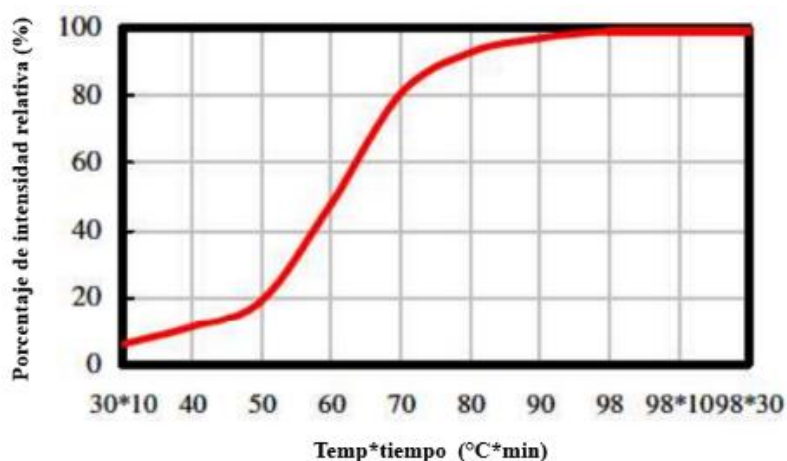


Fig. 13. Curva de fijación para el colorante ácido tipo 1

Nota: Gráfica tomada de la ficha técnica correspondiente al colorante ácido tipo 1 (amarillo) enviada por el proveedor de la empresa (TINCOL S.A.S. – La Estrella, Antioquia).

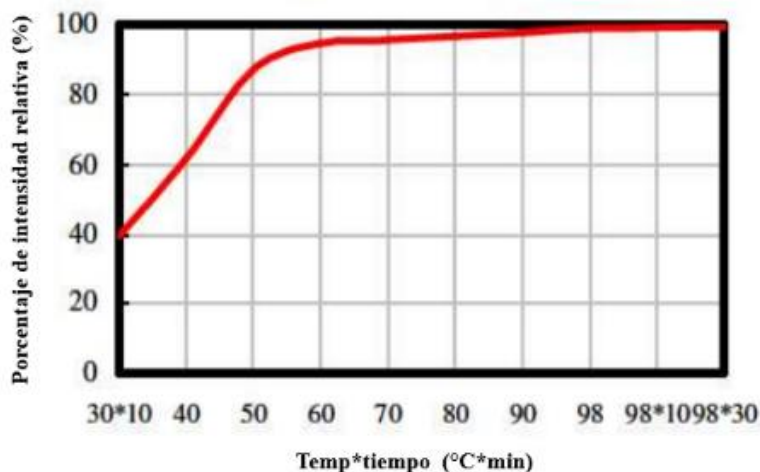


Fig. 14. Curva de fijación para el colorante ácido tipo 2

Nota: Gráfica tomada de la ficha técnica correspondiente al colorante ácido tipo 2 (azul) enviada por el proveedor de la empresa (TINCOL S.A.S. – La Estrella, Antioquia).

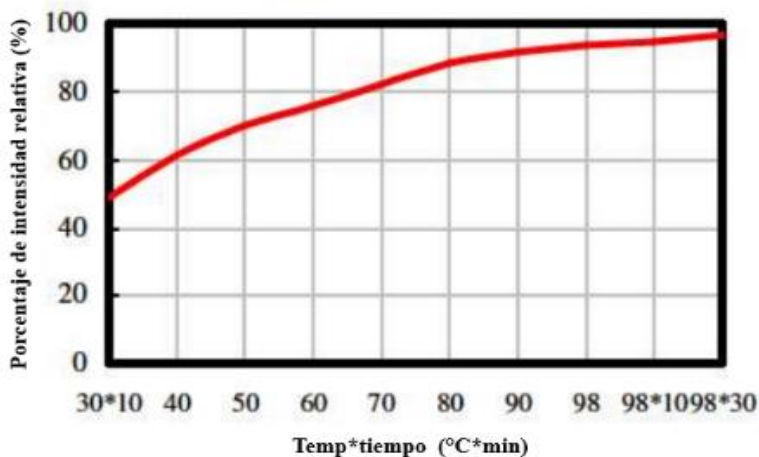


Fig. 15. Curva de fijación para el colorante ácido tipo 3

Nota: Gráfica tomada de la ficha técnica correspondiente al colorante ácido tipo 3 (rojo) enviada por el proveedor de la empresa (TINCOL S.A.S. – La Estrella, Antioquia).

Considerando las Figuras anteriores (**Fig. 13, Fig. 14 y Fig. 15**), es necesario definir la intensidad de color como la medida de habilidad de un colorante para impartir color en los materiales [9]. La intensidad de color es evaluada por la absorción de la luz en una región de espectro visible. Así, la intensidad relativa de color puede ser definida como la relación de valores K/S para muestras comparadas con un estándar a la misma longitud de onda, el cual

---

se expresan como porcentaje. Las letras “K” y “S” son coeficientes de absorción y dispersión de muestras teñidas [9]. Con base en lo anterior, los colorantes ácidos tipo 2 y 3 presentan una fijación mucho más rápida conforme la temperatura incrementa, es decir, a una temperatura de 40 °C el colorante tipo 2 y tipo 3 se habrían fijado en un 60%, a diferencia del colorante ácido tipo 1, el cual en esta temperatura de sostenimiento habría alcanzado tan sólo un 10% de la intensidad de color relativa. Finalmente, es importante considerar que entre más grande sea un valor de K/S, se traduce en un valor de adsorción más alto y por ende, indicaría una más alta superficie de adsorción del colorante [10]. Así, los colorantes que más compatibilidad presentan entre ellos serían los tipo 2 y 3, por ello; al teñir las dicromías de colorantes tipo 1 y 2 o tipo 1 y 3, en la experimentación llevada a cabo en el laboratorio desarrollaron causas de reprocesos porque sus curvas de fijación son distintas.

Por otra parte, teóricamente los colorantes ácidos de tipo premetalizados serían aptos para teñir nylon ya que funcionan adecuadamente en fibras poliamídicas, poseen un alto rango de pH en el baño de tintura (2 – 7), así como una alta solidez; por ende, no migran una vez se fijan [8]. Aunque, en TINCOL S.A.S. se prefiere el uso de colorantes ácidos de igualación, teniendo en cuenta que se aplican en tonos claros porque desarrollan una mayor uniformidad del tono en la tela, además son muy brillantes a diferencia de los colorantes ácidos premetalizados, los cuales son muy opacos y tienden a ser más sucios. Sumado a lo anterior, el uso de colorantes ácidos permiten reprocesar la tela de una manera más sencilla si se necesita, a diferencia de los premetalizados debido a su elevada solidez; luego el pH de 2 a 4 posibilita dar tiempo al colorante de agotar completamente mientras éste se homogeniza y migra adecuadamente a lo largo de la tela. Finalmente, se concluye que el dador de ácido es el principal causante de mareos debido a los resultados obtenidos cuando se excedió en tan sólo un 0.1 g/L de su concentración estandarizada en el proceso de la empresa, donde 8 de 9 muestras exhibieron una desigualdad de tono e incluso tonos más intensos en ciertas áreas de las muestras. Aquí, se observa la sensibilidad de este compuesto en el proceso cuando se incrementa en pequeñas cantidades su adición al baño; como se pudo percibir además en los montajes 1 y 2, donde debido a una cantidad menor de la requerida, no se logró llegar a valores de pH necesarios, obteniendo como resultados tonos caídos en la tela.



---

En relación con la afinidad que se otorga entre colorante – fibra de la tela, es importante destacar la definición del agotamiento como la tasa de transferencia de colorante desde la solución hacia la fibra, luego en el momento en el que no exista una afinidad fibra – colorante (o sea mínima) no se teñirá la fibra adecuadamente y el rendimiento de color requerido no será alcanzado [11]. Se debe tener en cuenta que múltiples factores pueden afectar el agotamiento del colorante y por lo tanto el rendimiento del color, tales como periodo de tinción, auxiliares del baño de tinción, pH del baño, sustrato a teñir, incluso la geometría de ambas fibra y moléculas de los colorantes ácidos [11]. Entonces, la fijación de la molécula de colorante hacia la fibra ya sea absorción, adsorción o reacción química puede ser lograda a través de fuerzas iónicas, puentes de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals o enlaces químicos covalentes [11]. Es así que considerando los colorantes tipo 1, 2 y 3 como monosulfonados debido a que pertenecen al grupo de colorantes ácidos de igualación [12], su afinidad con la fibra de la tela se ve mayormente influenciado por el orden de planaridad que poseen sus respectivas moléculas. Aquí, el colorante ácido tipo 1 presenta una mayor planaridad, seguido por el colorante ácido tipo 2 y finalmente el colorante ácido tipo 3, el cual su planaridad es casi nula; por tanto, considerando que los polímeros son cadenas largas conformadas por monómeros, la afinidad entre el colorante tipo 1 y la fibra facilita su tinción. Por otra parte, considerando un menor impedimento estérico entre el tipo 2 y 3, confirma de esta forma lo analizado previamente cuando interaccionaron este tipo de dicromías. Por otra parte, teniendo en cuenta que la interacción del colorante ácido con la fibra es mayormente iónica [11], la afinidad de la fibra con el colorante tipo 3 no se produjo uniformemente; facilitando más sitios catiónicos (tales como los iones amonio del nylon) a razón del medio ácido en algunas partes de esta, como se puede en la **TABLA IV**.

La cinética de la tinción de la fibra, para el caso de las telas tipo A y B utilizadas que se incluyen en los grupos 1 y 2 (agotamiento rápido), se caracterizan por tener un fijado de temperatura bajo. En este sentido, lo que compete a la cinética de la tela, se ve de una forma más sencilla en la siguiente imagen (**Fig. 16**):

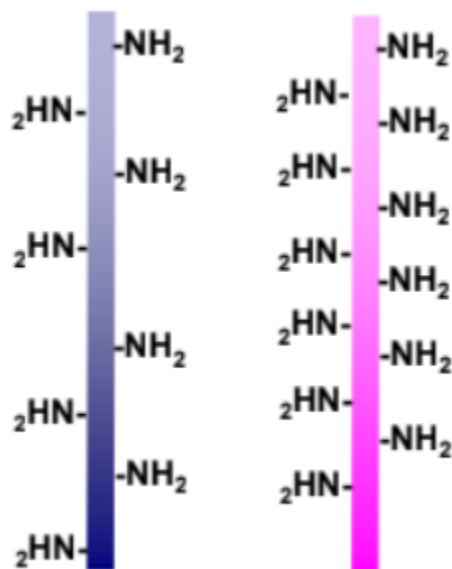


Fig. 16. La fibra de la tela tipo A corresponde a la de color azul y la fibra de la tela tipo B corresponde a la de color magenta

Nota: Imagen tomada de una presentación llevada a cabo por uno de los proveedores de TINCOL S.A.S, La Estrella – Antioquia.

Debido a que la fibra de la tela tipo A posee una menor y específica cantidad de grupos amino, la reacción entre la parte auxócroma del colorante ácido y los grupos amino de la tela es limitada. Por lo tanto, la parte cromófora del colorante brindará a la fibra un tono menos intenso en comparación con la tela tipo B. Entonces, a una temperatura más baja la fibra se satura más rápido y como resultado, un agotamiento precipitado del colorante en el baño hacia la fibra de la tela tipo A. Por lo tanto, la cantidad de grupos amino disponibles en el nylon, dependerán de la repetitividad del monómero en la cadena polimérica (**Fig. 1**), y esto se define por la reacción de polimerización para obtener el nylon 6.

En principio, se pretendía dar solución al mareo de la tela que se reprocesa en TINCOL S.A.S. según los datos obtenidos por el software del cual se dispone en la empresa; sin embargo, a pesar de que el tono habano no presentó este tipo de causas de reproceso en el seguimiento de la curva de tintura, es válido considerar un incremento en el tiempo de dosificación del dador (posiblemente el doble de lo que se estipula en el proceso de tintura actualmente) porque de acuerdo con la gráfica obtenida cuando se tomaron muestras del baño

de tintura cada minuto en la alimentación del dador, leyendo dichas muestras en el colorímetro DR-900 de Hach, se aprecia una disminución en la concentración para una escala Pt – Co significativa incluso a temperatura constante de 50 °C (**Fig. 6**), así como un cambio de coloración en las muestras recogidas (ver anexo C.1 y C.3) previo a iniciar la termorregulación del baño de tintura, lo que podría ocasionar mareos en otros tonos.

Existe un fenómeno particular en el agua industrial utilizada para los procesos de tintura en la empresa, donde las gráficas que muestran el seguimiento de los valores de pH (ver **Fig. 8** y **Fig. 12**) así como la **TABLA XIII**, reafirman dicha problemática la cual es causa de reprocesos en la tela. Lo anterior hace referencia al incremento en los valores de pH debido a los carbonatos presentes en el agua captada de los pozos utilizada para los respectivos procesos en planta, ya que dichos carbonatos de calcio y magnesio incrementan los valores de pH al incrementar la temperatura para los baños de tintura; por lo anterior, a pesar que no se desarrollaron quiebres en la tela a causa del posible choque térmico que podría presentar el cambio en el gradiente de temperatura e incluso mareos o manchas blancas en la tela; la muestra del ensayo que se aprecia en la **TABLA XII** no llegó al tono estándar.

## 7. CONCLUSIONES

- Se llevaron a cabo seguimientos a los procesos de tintura los cuales fueron base fundamental a la hora de evaluar los puntos críticos y diversos fenómenos que se han presentado en planta para comprender a nivel macro y micro la causa de los reprocesos en la empresa.
- Se efectuó satisfactoriamente un análisis de modo y efecto de fallas, con base en los respectivos seguimientos de las curvas de tintura, así como las encuestas realizadas para el personal administrativo de producción, operarios y diversos jefes en cada una de las áreas de la empresa.
- Se implementó un proceso de mejora en el gradiente de temperatura cuando se incrementa dicha variable, disminuyendo satisfactoriamente en 23.33 minutos la tintura de la mezcla de fibras poliamídicas (nylon) y elastano (lycra).
- Se experimentó en el laboratorio el comportamiento individual y grupal para analizar a nivel micro cómo repercute a nivel macro la interacción de la tricromía seleccionada del tono habano.
- Se sugirieron otro tipo de soluciones a las causas de reprocesos tales como los mareos y tonos caídos para otro tipo de tricromías. Asimismo, es indispensable efectuar un estudio más exhaustivo para determinar la influencia de aceites en las manchas blancas obtenidas en las mezclas de fibras nylon/elastano, con el fin de lograr una repetitividad en el proceso debido a que el lote en el que se aplicó la respectiva corrección de los gradientes de temperatura (ensayo) no se obtuvieron manchas blancas, aunque dos de los tres lotes presentaron dicho problema.
- Finalmente, la presencia de carbonatos de magnesio y calcio presentes en el agua captada de los pozos en TINCOL S.A.S. es motivo de no – reproducibilidad, puesto que cambian abrupta y repentinamente los valores de pH una vez se lleva a cabo el incremento de temperatura en las máquinas tintoreras.

## **8. RECOMENDACIONES**

Debido a que sólo se implementó una disminución en el proceso de tintura cuando se evaluaron dos tipos de referencias de tela (tipo A y tipo B), se sugiere llevar a cabo el mismo procedimiento a escala laboratorio con una concentración similar o igual de colorante, pero aplicado a todas las telas que ingresan a la empresa para efectuar dicho proceso. Así, considerando que se cuenta con un sistema automatizado para programar los gradientes de temperatura en el tipo de tela que se desee, se podrían reducir significativamente los tiempos totales en los procesos de tintura para las diversas mezclas de fibras poliamídicas, dando lugar a un aumento en la eficiencia y capacidad de producción.

Por otra parte, el uso de la tricromía actual para el tono habano estudiado en el presente proyecto, reflejó una diferencia en la compatibilidad de los colorantes tipo 1 y 2 como también la dicromía de colorantes ácidos tipo 1 y 3; por lo tanto, el análisis previo a nivel micro, como también el estudio en las curvas de fijación asignadas por los proveedores en las respectivas fichas técnicas, mejorarían posiblemente problemas de reprocesos a futuro.

Finalmente, se propone reevaluar la captación del agua utilizada para los procesos de tintura y cambiarla por otra fuente hídrica, con el fin de abolir la problemática del incremento en los valores de pH debido a los carbonatos de calcio y magnesio presentes en el agua obtenida de los pozos.

---

## REFERENCIAS

- [1] F. E. Lockuán Lavado, *II. La Industria Textil y su Control de Calidad*. Fibras textiles, 1ra. ed. 2013.
- [2] M. J. S. Ordoñez and M.A.S. Maza, *Iniciación en materiales, productos y procesos textiles*. TCPF0309, 1ra ed. IC Editorial, 2013.
- [3] Telas del pozo hogar, *Fibras textiles: Los distintos tipos y sus características*. [En línea]. Disponible: <https://www.telasdelpozohogar.com/fibras-textiles/>
- [4] A. R. López, *Nylon 65: Estudio de las transiciones cristalinas inducidas por la temperatura y del proceso de cristalización*. s.f.
- [5] F. J. Carrión Fité, *Materials Pel Disseny de Productes Tèxtils – Poliamida*. Universitat Politècnica de Catalunya. s.f.
- [6] Global Plast, *¿Cuáles son las diferencias entre Nylon 6 y Nylon 66?* [En línea]. Disponible: <https://globoplast.com.mx/cuales-diferencias-nylon-6-y-nylon-66/#:~:text=Se%20deriva%20de%20un%20mon%C3%B3mero,est%C3%A1%20hecho%20de%20dos%20mon%C3%B3meros>. [Accedido: mayo 02, 2022].
- [7] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17th Edition, American Public Health Association, Washington DC, 1991.
- [8] Dharma Trading Co, “Did you know... How Acid Dyes Work”. [Online]. Available: <https://www.dharmatrading.com/home/did-you-know-how-acid-dye-works.html> [Accessed: September 02, 2022].
- [9] S. S. Shimo and S. A. Smriti, “Color co-ordinates and relative color strength of reactive dye influenced by fabric GSM and dye concentration,” *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 04, no. 02, Feb 2015.
- [10] S. Pubalina, *Colorimetry: “Basic Principles of Colour Measurement and Colour Matching of Textiles and Apparels”*, Kolkata, India: IntechOpen, 2022.
- [11] O. O. Nnorom, P. I. Anyanwu, C. K. Oguzie and S. D. Okonkwo, “Inhibitive effect of NaCl and citric acid on the colour yield of acid dye on nylon fabric”, *Journal of Textile and Technology*, vol. 6, pp. 49 – 58, Feb. 2020.
- [12] Camex Limited, “Dyestuff: Acid and metal complex dyes”. [Online]. Available: <http://www.camexltd.com/acid-dyes.html> [Accessed: September 15, 2022]

---

## ANEXOS

### *Anexo A. Formato encuesta*

Este cuestionario forma parte de una investigación, la cual es llevada a cabo en TINCOL S.A.S. como requerimiento de grado para obtener el título de Ingeniero Químico. La información que proporciona este cuestionario solo será utilizada con fines académicos y de forma confidencial, no divulgaremos ninguna información sobre usted, o proporcionada por usted durante la investigación; cuando los resultados de la investigación se discutan o se publiquen, no se incluirá información que pueda revelar su identidad. Su decisión de participar o no en este proyecto no afectará sus relaciones actuales o futuras con TINCOL SAS.

Si usted decide participar, usted está libre de retirarse en cualquier momento sin tener ninguna consecuencia.

Nombre completo: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_ Área: \_\_\_\_\_

Funciones del cargo:

---

---

---

Desde su punto de vista y teniendo en cuenta la experiencia que tiene desempeñando la función que actualmente realiza responda el siguiente cuestionario sobre los procesos que se llevan a cabo específicamente sobre la tela Nylon/Elastano (Lycra)

1. ¿Cuáles son los principales fallos o problemas que se presentan con la tela?

1.1. \_\_\_\_\_

1.2. \_\_\_\_\_

1.3. \_\_\_\_\_

2. ¿Cuáles son las principales causas que ocasionan los fallos?

2.1. \_\_\_\_\_

2.2. \_\_\_\_\_

2.3. \_\_\_\_\_

3. ¿Cuáles mecanismos de detección cuenta actualmente TINCOL para detectar las causas de los fallos?

3.1. \_\_\_\_\_

3.2. \_\_\_\_\_

3.3. \_\_\_\_\_

Anexo B. AMEF

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLAS

**Número de proyecto: 001. Proceso:** Tintura y acabados. **Producto afectado:** Nailon/Elastano.  
**Responsabilidad:** Carlos Gómez. **Líder del proyecto:** Analista de producción. **Preparado por:** Carlos Gómez  
**Fecha clave:** 18/10/2022 **Fecha anterior:** No aplica

FUNCIÓN DEL PROCESO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFFECTOS DE LA FALLA POTENCIAL	SEVER	CCIRRT	CAUSA/ MECANISMO DE FALLA POTENCIAL	OCURR	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PARA DETECCIÓN	CONTROLES ACTUALES DEL PROCESO PREVENTIVOS	DETEC	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	RESPONSABILIDAD Y FECHA PROMETIDA	SEV	OCU	DET	NPR
Proceso de acabado Otorgar requerimientos al cliente: Sustrato teñido Auxiliares de acabado	Arrastres	Tela contaminada por suciedad	8		Manejo inadecuado (Carros sucios, tapas sucias, descuido de la tela)	10		Lavado constante de bongos, máquinas y carros	2	160						
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes ácidos	Mareos	Áreas decoloradas en la tela (tonalidad es menos intensas)	8		Dosificación incorrecta de dador ácido	7	Seguimiento periódico de curvas de tintura históricos		7	392	Evaluar en el laboratorio la adición de dador con el fin de estandarizar la adición mínima y máxima para que se presente el fallo por mareo en el nylon	Practicante 15/08/2022				
							Mediciones de pH		1060							
					7	Actualización de desarrollos en el laboratorio		8448								
					Selección de tricromía		Desarrollo de tonos en el laboratorio		8448							



						Alarma automática de las máquinas de tintura		8	3	8	4						
					Revientes/ Enredos	6	Inspección visual en la etapa de plegado	7	3	3	6						
							Inspección visual en la etapa de prefijado	6	2	8	8						
							Inspección visual operario	8	3	8	4						
					Dosificación/ Mezclado incorrecto de color	2	Seguimiento periódico de curvas de tintura históricos	8	1	2	8						
							Mantenimiento preventivo de máquinas de tintura y/o cubas	8	1	2	8						
							Inspección visual	9	1	4	4						
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes ácidos	Manchas de color	Contaminación de manchas de otros colorantes (volátiles) diferentes al teñido de la tela	8		Mal lavado de la máquina	8	Lavado constante de máquinas tintoreras	1	6	4							
					Liso muy alto	5	Capacitación de operarios	8	3	2	0						



Plan de mejora de un proceso de tintura de fibras poliamídicas y sus mezclas (nylon/lycra) con colorantes ácidos

59

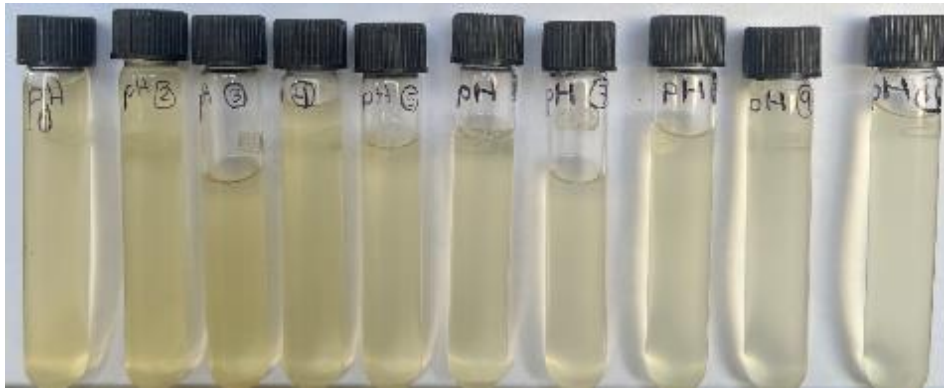
					Tiempo excesivo en rama	7		Normas de acabado de referencia	5	2 4 5						
					Tela ingresa doblada al foulard	6	Inspección visual		8	3 3 6						
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes ácidos	Tonos malos	Tono distinto al requerido por el cliente	8		Selección incorrecta de colorantes en la tricromía respectiva	9		Evaluación de obtención de tonos en el laboratorio	9	6 4 8	Experimentar la interacción y comportamiento individual de los colorantes usados para tricromía seleccionada	Practicante 15/08/2022				
					Adición incorrecta de los colorantes y/o productos	8	Seguimiento constante de curvas de tintura histórico	7	4 4 8	Llevar a cabo seguimientos periódicos durante los procesos de tintura y evaluar el mezclado adecuado de los colorantes en la cuba	Practicante 01/09/2022					
							Mantenimiento preventivo de máquinas de tintura y/o cubas	5	3 2 0							
					Inspección visual				8	5 1 2						
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes ácidos	Color corrido		8		Tiempo excesivo en rama	5	Control continuo del paso por rama		5	2 0 0						
					Descrude insatisfactorio	7			Registro de curvas de tintura en software	5	2 8 0					
Inspección visual				7			3 9 2									

Plan de mejora de un proceso de tintura de fibras poliamídicas y sus mezclas (nylon/lycra) con colorantes ácidos

60

Proceso de acabado Otorgar requerimientos al cliente: Sustrato teñido Auxiliares de acabado	Peso menor	Tela con masa reducida respecto a la tela requerida por el cliente	8		Tejeduría distinta	5		Seguimiento del peso de la tela en cada proceso	100	400						
					Condiciones inadecuadas en la rama	7		Normas de acabado de referencia	636	336						
Proceso de acabado Otorgar requerimientos al cliente: Sustrato teñido Auxiliares de acabado	Tono en el mismo rollo	Diferentes tonalidades de color en el mismo rollo de tela	8		Paro de rama	4	Alarma rama		8	256						
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes reactivos	Baja solidez	Disminución del color y contaminación de otras prendas durante el lavado doméstico	7		Enjuagues de baja calidad	6	Registro de curvas de tintura en software	5	210							
							Pruebas de solidez	8	336							
Proceso de tintura con colorantes ácidos Teñir la tela con el tono solicitado por el cliente: Sustrato Agua Auxiliares de tintura Colorantes ácidos	Manchas blancas	Áreas con deficiencia de color, sin fijación o tonos blancos	8		Excesivo uso de aceites en tejeduría	8		Incremento en la concentración de secuestrante	8	512	Seleccionar una referencia de tela y registrar repetitividad del reproceso	Practicante 01/07/2022 - 01/09/2022				
					Tiempo excesivo o elevadas temperaturas en rama	8	Control continuo del paso por rama	7	448							

*Anexo C. Imágenes fotográficas seguimiento y ensayo en planta*



Anexo C.1. Muestras del baño de tintura cuando se llevó a cabo el seguimiento con la tela de referencia tipo A y tono habano al dosificar en 10 minutos el dador de ácido (Desde el minuto 1 al minuto 10, de izquierda a derecha)



Anexo C.2. Muestras del baño de tintura obtenidas para la tela de referencia tipo A y tono habano cuando se llevó a cabo el seguimiento en la curva de tintura desde 50 °C hasta 105 °C cada 5 °C. (De izquierda a derecha)



Anexo C.3. Muestras del baño de tintura extraídos cada 1 minuto de la máquina tintorera una vez se dosificó el dador en 10 minutos para la tela de referencia tipo A en el tono habano (Del minuto 1 al minuto 10 de izquierda a derecha)



Anexo C.4. Muestras del baño de tintura extraídos cada 5 °C de la máquina tintorera cuando se procedía con la termorregulación incrementando la temperatura en el proceso de tintura para la tela de referencia tipo A en el tono habano (Desde los 50 hasta los 105 °C de izquierda a derecha)