

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO DEL
HILADO ACRÍLICO”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TEXTIL

PRESENTADO POR:

SUSANA PON MERCADO

LIMA - PERÚ

2004

RESUMEN DEL INFORME DE SUFICIENCIA

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO DEL HILADO ACRÍLICO

El hilado teñido de acrílico es empleado en la elaboración de prendas de vestir, como chompas, buzos, ropa de bebés, calcetines, artículos del hogar como alfombras, cortinas, tapices usados para forros de muebles, tejidos tipo terciopelo etc.

Los colorantes más usados en este tipo de hilado son los colorantes catiónicos que se aplican en autoclaves de teñido, el hilado puede ir en formato de conos o madejas en el interior de las máquinas de teñido.

Con el objetivo de optimizar el proceso de teñido se va analizar la fibra acrílica desde el polímero y las etapas que sigue el mismo hasta convertirse en hilo, y cómo estas etapas confieren determinadas características a la fibra acrílica. Posteriormente, se tratará el proceso de teñido de la fibra con colorantes catiónicos, en esta parte podemos ver como el colorante se fija a la fibra, la absorción del colorante y la difusión del mismo al interior de la fibra.

Por parte de la fibra podemos reconocer que existen características inherentes a la misma que pueden influir en el teñido de la misma, como son el valor de saturación de la fibra y la velocidad de teñido de esta. En lo referente al colorante, también nos encontramos con propiedades de cada colorante que se deben tener en cuenta para un óptimo rendimiento de los mismos en el proceso de teñido, como son la constante de difusión y el límite de saturación de colorante.

En el proceso de teñido hay parámetros que pueden reducir el tiempo del proceso si son bien controlados, como son la temperatura inicial de teñido, el retardante, pH del baño y calidad del agua.

Finalmente, se hace un análisis de las condiciones actuales del proceso de teñido en producción y se plantean algunas recomendaciones basadas no solo en la teoría del proceso sino también en la experiencia práctica del mismo.

En consecuencia se conseguirá obtener un hilado acrílico de calidad mediante un proceso eficiente, lo que se traduce en hacer un proceso de teñido más rentable.

ÍNDICE DEL INFORME DE SUFICIENCIA

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TEÑIDO DEL HILADO ACRÍLICO

I.	INTRODUCCIÓN.....	6
II.	ASPECTOS GENERALES.....	7
	2.1 Historia de las fibras acrílicas	7
	2.2 Proceso de fabricación.....	8
	2.2.1 Polimerización del acrilonitrilo.....	8
	2.2.2 Preparación de la solución de polímero.....	12
	2.2.3 Proceso de hilatura.....	13
	2.2.3.1 Hilatura en Seco.....	14
	2.2.3.2 Hilatura en Húmedo.....	15
	2.2.4 Proceso de acabado.....	16
	2.2.4.1 Lavado.....	16
	2.2.4.2 Preparado.....	16
	2.2.4.3 Secado	16
	2.2.4.4 Rizado	17
	2.2.4.5 Cortado.....	18
	2.2.5 Principales características de la fibra acrílica	18
	2.2.6 El proceso TOW to TOP.....	19
III.	TEÑIDO DE LAS FIBRAS ACRÍLICAS.....	21
	3.1 Colorantes catiónicos.....	21
	3.1.1 Modo de fijación del colorante catiónico a las fibras Acrílicas.....	22

3.1.2	Compatibilidad de los colorantes catiónicos.....	26
3.1.3	Absorción del colorante sobre la superficie de la fibra.....	30
3.1.4	Difusión del colorante de la superficie al interior de la fibra.....	31
3.1.5	Prueba práctica para determinar la compatibilidad de los colorantes catiónicos.....	33
3.1.6	Prueba práctica para determinar el valor de saturación.....	35
3.1.7	Propiedades tintóreas de las fibras acrílicas comerciales....	40
3.2.	Parámetros que influyen en el teñido de los colorantes catiónicos..	41
3.2.1	La temperatura.....	41
3.2.2	El electrolito.....	43
3.2.3	El retardante.....	43
3.2.3.1	El retardante aniónico.....	44
3.2.3.2	El retardante catiónico.....	45
3.2.4	El tipo de fibra.....	46
3.2.5	El pH del baño.....	46
3.2.6	La calidad del agua.....	46
IV.	CONDICIONES ACTUALES DEL PROCESO DE TEÑIDO EN PRODUCCIÓN.....	48
4.1	La fibra.....	48
4.2	El colorante.....	48
4.3	El proceso de teñido.....	49
4.4	Los auxiliares de teñido.....	50
4.5	La maquinaria.....	50

V.	CONDICIONES OPTIMIZADAS BASADAS EN LA TEORÍA DEL TEÑIDO DE LAS FIBRAS ACRÍLICAS	52
5.1	La fibra.....	52
5.2	El colorante.....	54
5.3	El proceso de teñido.....	56
5.4	Los auxiliares de teñido.....	58
5.5	La maquinaria.....	58
5.6	Logros de la optimización.....	60
VI.	CONCLUSIONES.....	62
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
VIII.	APÉNDICES.....	65

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos primitivos existen fibras textiles, hilos y telas, las que el hombre siempre utilizó para sus necesidades básicas de protegerse y vestirse.

A fines del siglo XIX, a consecuencia del crecimiento de la población y la llegada de la era industrial, se elaboraron las primeras fibras manufacturadas o químicas, con el objetivo de cubrir el déficit de fibras naturales.

En 1948 aparecen en el mercado las primeras fibras acrílicas con el objetivo de imitar las características y propiedades de la lana.

Poco después que las fibras acrílicas fueran comercializadas, se encontró que los colorantes catiónicos poseían afinidad por ellas. Esto motivó que a principios de 1950 esta vieja clase de colorantes tomara nuevamente auge, originándose el desarrollo de colorantes catiónicos de excepcional brillantez y altas solidez sobre fibras acrílicas.

Debido a la composición química y al proceso de fabricación de la fibra acrílica, se consideran determinadas limitaciones en los parámetros que influyen en el teñido y en el color, tales como por ejemplo: temperatura inicial de teñido, límite de saturación del colorante, velocidad de teñido de la fibra, valor de saturación de la fibra, pH del baño de teñido y retardantes empleados en el proceso de teñido.

Por lo tanto, con el objetivo de tener un proceso de teñido optimizado, es necesario que se establezcan para el teñido de la fibra acrílica procedimientos específicos de acuerdo a sus propiedades.

En consecuencia, analizando las características de la fibra y parámetros de teñido arriba mencionados se busca reducir el tiempo de proceso al menor posible dentro de las condiciones apropiadas de teñido, optimizar el uso de los colorantes catiónicos y retardantes, con el objetivo de tener un proceso más rentable, asegurando a su vez la calidad final del artículo teñido.

II. ASPECTOS GENERALES

2.1 HISTORIA DE LAS FIBRAS ACRÍLICAS

Los primeros intentos para obtener fibras acrílicas fueron hechos en Alemania por el Dr. H. Rein en 1931.

La principal dificultad que se presentó fue la búsqueda de un disolvente adecuado para el poliacrilonitrilo, pero finalmente se llegó a una solución satisfactoria con la utilización de la Dimetil formamida (DMF).

La segunda guerra mundial contribuye considerablemente a la intensificación de estudios para el desarrollo de la producción de las fibras acrílicas. Como resultado de esto, en el año 1948 aparecen en el mercado las fibras de Orlon de Dupont y Dralon de Bayer.

Luego aparecieron otras marcas comerciales como el Acrilan en 1952, Zefran en 1958, Creslan en 1959 etc., de esta forma va creciendo considerablemente el número de marcas y la producción de la fibra acrílica. En la actualidad se cuenta con una capacidad instalada mundial de aproximadamente 2 millones de toneladas al año en más de 20 tecnologías diferentes, manufacturadas en hilatura en húmedo e hilatura en seco.

La fibra acrílica es una fibra sintética, que tiene como base el propenitrilo o acrilonitrilo, el cual es un líquido volátil e incoloro, de olor fuerte. Se puede obtener por reacción de cianuro de hidrógeno con metoximetano, o con acetileno. Sin embargo, hoy la mayoría del propenitrilo se obtiene por reacción de propano, amoníaco y oxígeno. El acrilonitrilo se emplea en la fabricación de fibras acrílicas, plásticos y cauchos o hules sintéticos.

El acrilonitrilo tiene un punto de fusión de $-83,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, un punto de ebullición de $77,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una densidad de 806 kg/m^3 a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las fibras acrílicas son fabricadas por un proceso de polimerización por adición; pudiéndose considerar como hidrocarburos de alto peso molecular¹ y sustituido con grupos cianógenos. Esto explica porque las fibras de poliacrilonitrilo poseen una gran estabilidad a los ácidos, álcalis, bacterias y a la luz, además poseen una buena reflexión a la luz según el tipo de sección transversal de la fibra, siendo la forma lobular la que presenta mejor reflexión a la luz, asimismo por su naturaleza hidrófoba se secan rápidamente. Los textiles de estas fibras se caracterizan por presentar un tacto suave semejante a la lana, retener el calor, presentar poca tendencia a arrugarse y encoger, elevada elasticidad, voluminosidad y bajo peso específico.

2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

Se realiza en 4 fases:

- Polimerización del acrilonitrilo.
- Preparación de la solución de polímero
- Proceso de hilatura.
- Proceso de acabado.

2.2.1 POLIMERIZACIÓN DEL ACRILONITRILLO

El acrilonitrilo, de fórmula $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ como se puede observar, posee un doble enlace entre los dos átomos de carbono. La polimerización se produce por el rompimiento del doble enlace. La reacción para abrir este doble enlace se logra por medio de iniciadores de la reacción.

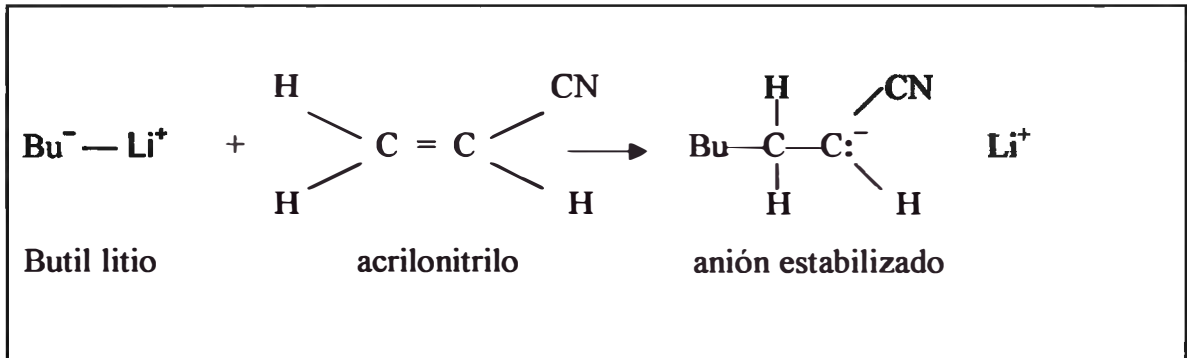
En la reacción se da origen a radicales libres, un radical unido a una molécula de acrilonitrilo forma en sí otro radical. Este permite abrir un doble enlace a otra molécula de acrilonitrilo encadenándola a sí misma, y así sucesivamente formando la macromolécula.

1. Hoy en día se usa masa molecular en lugar de peso molecular.

La siguiente reacción muestra la polimerización del acrilonitrilo iniciada con butil litio para formar Orlón.

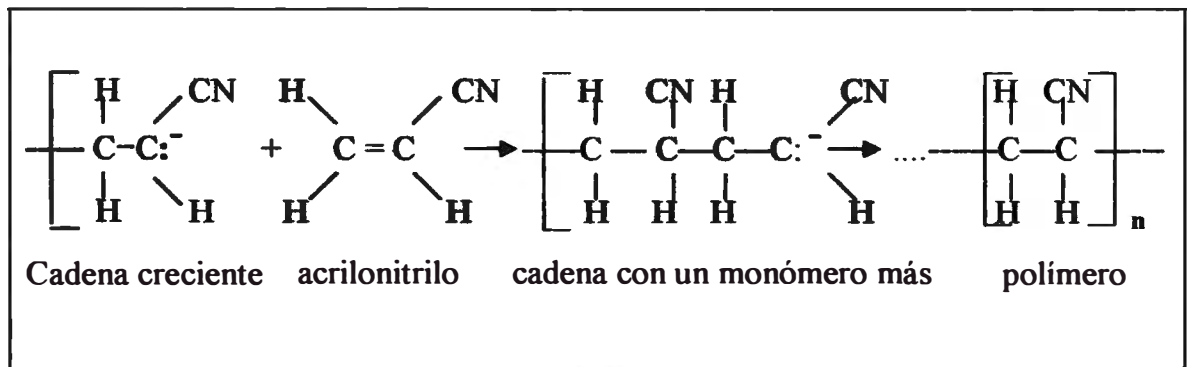
Paso de iniciación

Reacción 1



Paso de propagación

Reacción 2

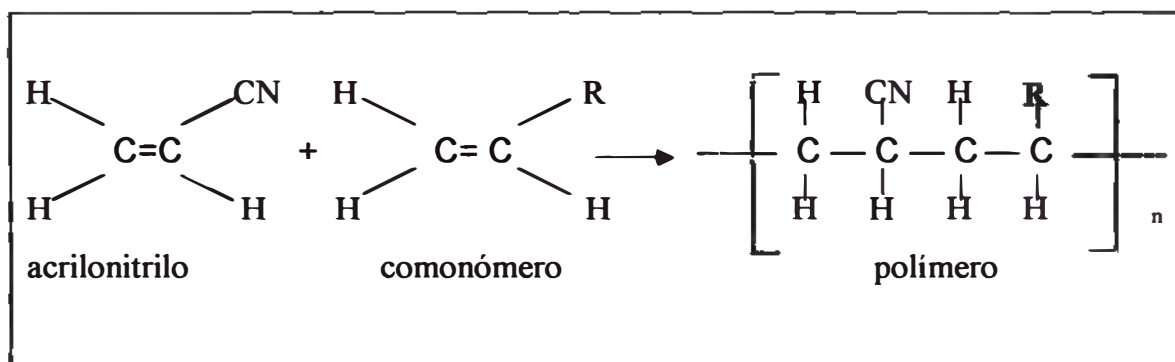


El acrilonitrilo se convierte por el proceso de polimerización por adición en el Poliacrilonitrilo (PAN). Una molécula (cadena) de PAN está constituida por aproximadamente 1500 moléculas de acrilonitrilo.

El PAN se obtiene como un polvo blanco el cual es almacenado en tanques grandes llamados "silos". El PAN sirve de materia prima a la hilandería.

Las fibras de poliacrilonitrilo con 100 % acrilonitrilo son muy difíciles de teñir debido a su estructura compacta e inaccesible. Para contrarrestar esto y mejorar su solubilidad en solventes haciendo más fácil su hilatura química, se han usado comonómeros en la fabricación de la fibra:

Reacción 3

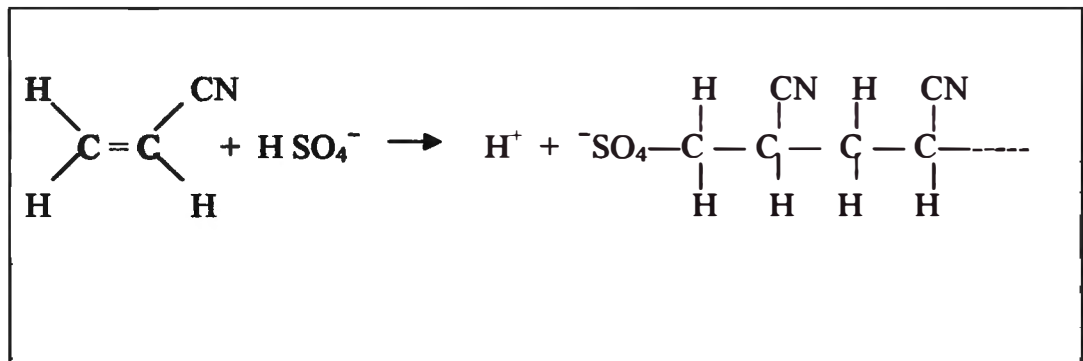


El uso de estos comonómeros modifica las propiedades termoplásticas de las fibras, afectando dos propiedades importantes:

1. La temperatura de transición vítrea (T_g) de la fibra acrílica. Que representa el valor de temperatura por encima de la cual las cadenas poliméricas de la zona amorfa comienzan a desplazarse, por encima de la T_g el polímero se vuelve flexible y moldeable. La T_g en la fibra acrílica pura es $270 - 280^\circ \text{C}$, este intervalo es disminuido con el uso de comonómeros a $50 - 55^\circ \text{C}$, de manera que la fibra es deformada considerablemente cuando es sometida a tensiones y a temperaturas arriba de las mencionadas.
2. Las propiedades tintóreas y accesibilidad de la fibra son mejoradas de tal manera que los colorantes dispersos y catiónicos pueden ser aplicados por debajo de 100°C . La temperatura a la que la fibra comienza a absorber el colorante depende del tipo de comonomero utilizado.

En el proceso de fabricación de las fibras acrílicas, se usan sistemas redox a base de persulfato de potasio y bisulfito de sodio, como iniciadores de la reacción de polimerización, estos están presentes como radicales sulfatos ($-\text{SO}_4\text{H}$) o sulfitos ($-\text{SO}_3\text{H}$) en los terminales de las cadenas de los polímeros resultantes. La presencia de estos radicales se ha comprobado por espectroscopia infrarroja.

Reacción 4



El polímero resultante lleva consigo grupo ácidos aniónicos capaces de servir de puntos de reacción para los colorantes catiónicos.

Estos grupos terminales aniónicos son muy pocos para lograr matices intensos; pero se añaden comonómeros aniónicos como el ácido acrílico y el ácido acril sulfúrico que elevan la capacidad de absorción del colorante por la fibra. Mientras que los comonómeros no iónicos y exentos de nitrógeno se añaden para rebajar el punto de transición vítrea, y los compuestos básicos como la vinil piridina y la etilen diamina para crear puntos de reacción para los colorantes aniónicos(ácidos).

Debido a los grupos iónicos presentes en la fibra, esta puede ser teñida con colorantes catiónicos o aniónicos; la teñible con colorantes catiónicos es la más común en el mercado.

Las fibras acrílicas se clasifican también de acuerdo a la porción de monómero de acrilonitrilo en su composición; cuando poseen más del 85 % se les llama fibras acrílicas y cuando poseen menos del 85 % se les llama modacrílicas.

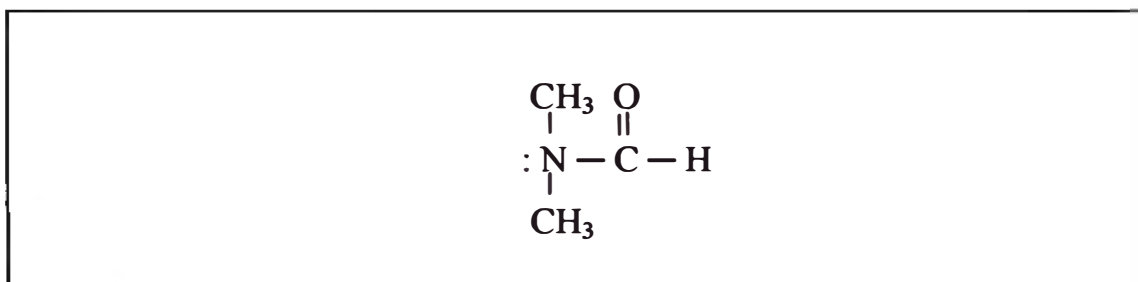
Otro factor que afecta las propiedades de tintura de estas fibras es el método de hilatura usado en su fabricación.

La hilatura en seco produce menos espacios vacíos que dificultan la difusión del colorante a través de la fibra.

2.2.2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE POLÍMERO

La materia prima para hilar es el Poliacrilonitrilo (PAN), el cual se disuelve con un solvente adecuado como puede ser la Dimetilformamida (DMF y cuya fórmula es $(\text{CH}_3)_2\text{NCOH}$, tiene un peso molecular de 73,09, punto de ebullición de 153°C a presión normal, punto de congelación -61°C y una densidad de 949 kg/m^3 .

Formula 1.- Formula de la Dimetil Formamida



La solución se compone de aproximadamente de $1/3$ PAN + $2/3$ DMF.

El proceso de dilución es discontinuo sin embargo el abastecimiento de la solución a la hilandería debe ser continuo. En consecuencia, es necesaria la instalación de múltiples instalaciones de dilución.

La disolución se divide en los siguientes pasos:

1. Mezclado del PAN con el DMF y a continuación traspaso al tanque de disolución.
2. Disolución del PAN en el tanque de disolución con ayuda de agitación y calentamiento.

3. Acoplado del tanque de disolución para abastecer a la máquina de hilar. Entre el tanque de disolución y la máquina de hilar se encuentra intercalada el filtro prensa para purificar la solución de polímero.

2.2.3 PROCESO DE HILATURA

El tipo de hilatura aplicada a las fibras sintéticas depende fundamentalmente de la naturaleza química del polímero. Los procesos de hilatura más comunes para las fibras sintéticas son:

- a. **Hilatura por Fusión**, es la más económica, sólo puede ser aplicada a polímeros que son estables a temperaturas suficientemente por encima de su punto de fusión o de su punto de reblandecimiento, para poder ser extruidos en estado fundido sin degradación sustancial. Dentro de las fibras sintéticas que se hilan por este método tenemos: nylon, poliéster, polietileno, polipropileno etc.
- b. **Hilatura en Seco**, una solución de polímero es extruida desde una tobera, a través de una zona en la cual el solvente es rápidamente evaporado. Dentro de las fibras sintéticas que se hilan por este método tenemos: Acetato, triacetato, acrílico, modacrílica, elastano, PVC, aramida, etc.
- c. **Hilatura en Húmedo**, se caracteriza por la extrusión de una solución de polímero a través de una tobera, dentro de un líquido no solvente. El filamento puede ser precipitado sin reacción química, o el polímero fibroso puede ser regenerado a partir de un derivado soluble, como por ejemplo una sal. Dentro de las fibras sintéticas que se hilan por este método tenemos: Acrílica, modacrílica, elastano, PVC, aramida etc.

A continuación se describirá más ampliamente los procesos de hilatura aplicados al polímero de poliacrilonitrilo.

2.2.3.1 HILATURA EN SECO

En la Hilatura en Seco se extruye la solución de polímero desde una tobera, a través de una zona en la cual el solvente es rápidamente evaporado.

La solución de polímero llega a la máquina de hilar mediante conductos. Una bomba de engranaje dosifica y empuja la disolución hacia la tobera, y esta es calentada cerca del punto de ebullición de la DMF.

Al salir la solución de polímero de la tobera, el DMF se vaporiza por medio de aire caliente. Debido a la gran cantidad de DMF contenida en la solución, se necesita un túnel largo para la evaporación del mismo. Dicho túnel posee una calefacción. A la salida de él los filamentos se enfrían y reciben una preparación, que facilita el proceso posterior. El haz de fibras puede ser de 200 a 1000, según la tobera utilizada.

Los filamentos son jalados por potentes rodillos y posteriormente depositados en tachos. Una máquina de hilar dispone de diversas toberas.

La mezcla de aire con DMF se extrae del túnel. La DMF es recuperada mediante enfriadores y un proceso de lavado, para ser usado nuevamente.

Factores importantes son la cantidad de aire caliente que se hace pasar por el túnel y la temperatura del mismo. Mucho aire produce turbulencia, haciendo que los filamentos se peguen. La temperatura del aire debe ser mayor que la temperatura de vaporización del disolvente es decir mayor de 153 ° C para poder extraerlo del filamento. La extracción debe ser de tal forma que no sea tan violenta, para permitir mediante la dosificación de la bomba y la velocidad de jalado, dar un grosor deseado (título) mientras se mantenga plástico.

Los productos obtenidos son los filamentos de distintos títulos. Estos se miden en Tex (indica el peso en gramos de 1000 metros de filamento) o en dtex

Estos filamentos no poseen todavía las propiedades requeridas para una fibra textil. Contienen DMF, son húmedos y tienen baja resistencia a la rotura. También son lisos, lo cual no permite que ofrezca suficiente cohesión entre sí, propiedad indispensable para hilar esta clase de fibra textil. El proceso de acabado da a los filamentos las propiedades textiles requeridas.

2.2.3.2 HILATURA EN HÚMEDO

La extrusión de la solución de polímero se realiza a través de una tobera, dentro de un líquido no solvente.

La solución de polímero es bombeada por una bomba de dosificación, pasa luego por un filtro fino hacia la tobera. La tobera puede tener de 1000 a 30000 agujeros de 0,25 mm de diámetro. Por extrusión los filamentos salen de la tobera a través de un baño a velocidades de 5 a 20 m/min en que se remueve el disolvente de los filamentos causando la coagulación.

Los factores fundamentales en el proceso de hilatura en húmedo consisten en la selección del disolvente, del coagulante y de las condiciones de coagulación. La concentración del disolvente en el baño debe ser controlada estrictamente ya que una baja de concentración acelera la coagulación, formando una película superficial que no permite extraer el resto del disolvente en los filamentos. Algunos coagulantes usados son: glicerina, alcohol butílico, soluciones salinas, glicoles, etc.

El baño debe mantenerse a temperatura constante. Los filamentos son extraídos por los rodillos de estiraje, llevándolos hacia los procesos de acabados.

2.2.4 PROCESO DE ACABADO

Los filamentos obtenidos por cualquiera de los dos sistemas de hilatura contienen todavía un porcentaje de disolvente del orden del 10 % que es necesario evacuar. Se agrupan varios tachos de hilado para procesarlos en conjunto.

El proceso de acabado consta de:

2.2.4.1 LAVADO

Las macromoléculas se orientan por estiramiento, con lo cual se consigue un mayor porcentaje de zonas cristalinas en la fibra, aumentando de esta manera la resistencia a la rotura. Mediante el proceso de lavado se extrae el DMF. El agua de lavado es bombeada a destilación para recuperar el DMF y este ser utilizado nuevamente.

2.2.4.2 PREPARADO

Con un baño de preparación se le da a la fibra las propiedades antiestáticas, es decir evitan que la fibra se cargue con electricidad estática. El baño de preparación es una mezcla de aceites lubricantes y antiestáticos que a menudo contienen pequeñas cantidades de inhibidores de corrosión.

2.2.4.3 SECADO

El secador trabaja con aire caliente para secar los filamentos. La temperatura en esta sección varia entre 90 – 200 ° C. Las temperaturas superiores a 153 °C (temperatura de ebullición de la DMF)nos permiten la evaporación de la DMF remanente aún en los filamentos. La secadora consiste en una cámara en cuyo interior se ubican un juego de rodillos sobre los cuales el filamento se trasporta.

2.2.4.4 RIZADO

Luego del secado se rizan los filamentos para darles cohesión entre sí, propiedad importante para los procesos posteriores. Si se depositan los filamentos rizados en forma continua en cajas son llamados TOW o Cinta Continua.

La densidad lineal del filamento es controlada por el rendimiento de polímero por perforación de la tobera W (g/min) y la velocidad de enrollado V (m/min).

Entonces la densidad lineal ($\text{Tex} = \text{g} / \text{km}$) de un filamento libre de solvente es $1000 (W / V)$.

La relación entre el tamaño de la perforación de la tobera y la densidad lineal incluye la relación de estiraje entre la perforación y el enrollado, (V_o / V), donde V_o es la velocidad media de extrusión.

Ecuación 1

$$\text{Densidad lineal} = (A \rho W_p) / (V / V_o)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal del orificio (mm^2).

ρ = Densidad del extruido (kg / m^3), a la temperatura de extrusión.

W_p = Fracción en peso del polímero en el extruido, cuando deja la tobera.

V_o = Velocidad media de extrusión.

V = Velocidad de enrollado.

2.2.4.5 CORTADO

Si los filamentos rizados son cortados, el producto es denominado Fibra Cortada. La fibra cortada es producida en diferentes longitudes. Las longitudes dependen del tipo de industria textil para la cual esta prevista.

Tanto el TOW como la fibra cortada son producidos en diversos títulos.

2.2.5 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ACRÍLICA

En el siguiente cuadro 1 se indican las características de las fibras acrílicas.

Cuadro 1.- Características de las fibras acrílicas

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS
Peso específico	1,15 — 1,17
Resistencia (g / den)	2,50 — 3,20
Alargamiento (%)	25 — 36
Absorción del agua a 21 °C, 65 % de HR	1,5 — 2,5
Excelente resistencia a	Moho, acción atmosférica, ácidos, álcalis, luz solar, manchado, olores.
Tacto	Muy parecido a la lana.

2.2.6 EL PROCESO TOW TO TOP

El TOW o cinta continua está previsto para ser procesado en máquinas rompedoras, es decir, las máquinas al romperlo lo convierten en una fibra cortada de corte lanero, siendo una de las marcas comerciales, “Seydel”.

Estas máquinas constan de:

- Una fileta de alimentación para alinear la cinta.
- Zona de templado de la cinta (eliminación del rizado).
- Zona de estiraje (planchas).
- Zona de rotura en grueso.
- Zona de rotura en fino.

La fibra procesada puede pasar o no por un vaporizador.

Como la cinta sufre un estiraje entre las planchas de 18 % a 20 % normalmente, se utiliza esta propiedad para la futura construcción de diferentes tipos de hilo.

De lo anterior se da:

- Fibra vaporizada (tipo N): Ha perdido por efecto de vaporizado entre el 18 % y 20 % de encogimiento, el encogimiento es posible debido a que la cinta ha sufrido un estiramiento entre las planchas.
- Fibra sin vaporizar o cruda (tipo S) : Aun mantiene la capacidad de encoger de 18 % a 20 % por el estiraje en las planchas.

Estas propiedades se aprovechan para fabricar tops.

- “ S “ o 100 % crudo (altamente encogible pero no voluminoso para utilizar en mezclas con otras fibras no encogibles).

- “ N “ o 100 % vaporizado (encogimiento restante menor a 3,5 % para utilizar en mezclas con lanas, para terciopelos, tejidos planos y tejidos de verano).
- “ HB “ o High bulk, es una mezcla de 40 % de S y 60 % de N. Con un encogimiento antes de tintura de 18 % a 23 %, se utiliza para géneros de punto de alto volumen.

Cada fabricante puede variar esta mezcla con el fin de conseguir hilos de diferentes volúmenes.

III. TEÑIDO DE LAS FIBRAS ACRILICAS

3.1 COLORANTES CATIONICOS

Son sales cuyo catión posee un cromóforo con propiedades tintóreas.

Poco después de que las fibras de poliacrilonitrilo fueran comercializadas, se encontró que los colorantes catiónicos poseían afinidad por estos colorantes.

Esto motivó a principios de 1950 que esta antigua clase de colorantes tomara nuevamente auge y desarrollara mucho interés entre los fabricantes de colorantes.

Esta nueva investigación desarrolla nuevos colorantes catiónicos de excepcional brillantez y de altas solidez sobre fibra acrílica, nylon y poliéster especialmente diseñados para estos colorantes.

La mayoría de las fibras acrílicas son teñidas con colorantes catiónicos perteneciente a uno de los tres grupos siguientes:

1. Colorantes cuyo sistema cromogénico depende de la resonancia de una carga positiva. Los colorantes de este grupo poseen el mayor rendimiento tintóreo y brillantez, aunque las menores solidez a la luz y al vaporizado.
Químicamente agrupan a las indaminas, entre las que se encuentran las azinas, oxazinas, tiazinas, cianinas, y a los derivados di y tri fenilmetano.
2. Con una carga positiva localizada, estos colorantes poseen una estructura química similar a la de los colorantes dispersos. Su basicidad es impartida por grupos sustituyentes no conjugados con el cromógeno. Los colorantes de este tipo poseen buena solidez a la luz y estabilidad a pH alto.
3. Colorantes con una estructura heterocíclica que contienen un nitrógeno cuaternario, agrupa a los compuestos de tipo azo metino, donde la

basicidad está dada por el átomo de nitrógeno cuaternario que forma parte integral del cromógeno. Estos colorantes son muy estables a pH alto, aunque la incorporación de un anión altamente ácido la mejora. Estos colorantes tiñen mejor fibras acrílicas que poseen grupos ácidos muy fuertes con mejor rendimiento que los de la clase anterior.

3.1.1 MODO DE FIJACIÓN DEL COLORANTE CATIONICO A LAS FIBRAS ACRÍLICAS

El teñido con este tipo de colorantes se puede considerar como una reacción química entre la fibra y el colorante, y el teñido resultante como un producto de la reacción.

En este sistema la fibra aporta los grupos ácidos que van a ser sustituidos por el colorante catiónico, formando un enlace fibra-colorante iónico, habiéndose encontrado influencia cuantitativa para esto.

Reacción 5



Por consiguiente se puede notar que:

1. El número de grupos ácidos (S) y su facilidad de disociación y accesibilidad determinan la capacidad de interacción entre el colorante y la fibra.
2. La facilidad de disociación del colorante determina su capacidad de interacción con la fibra.

Titulaciones potenciométricas han demostrado que las fibras de acrílico no solo contienen grupos ácidos fuertes sino también otros grupos ácidos más débiles.

A pH muy bajo solo los grupos fuertes son capaces de disociarse y con ellos, los únicos que pueden absorber colorante. Estos grupos fuertes son los grupos sulfato y sulfito presentes como resultado de la iniciación por sistema redox durante la fabricación de la fibra.

Los grupos ácidos más débiles tienen constante de disociación similar a los ácidos carboxílicos y por lo mismo no disociables a pH muy bajo por supresión del ácido más fuerte del medio.

Durante el teñido del sistema colorante-fibra, la fibra cambia átomos de hidrógeno por cromógenos coloreados.

Ecuación química del teñido:

Reacción 6



Donde:

$\text{F—SO}_3\text{H}$ representa a la fibra.

$\text{Cromo}^+_{(\text{Sol})}$ representa al colorante en solución.

$\text{F—SO}_3\text{Cromo}$ representa el colorante en la fibra.

$\text{H}^+_{(\text{Sol})}$ representa la concentración de iones hidrógeno en el baño remanente.

La constante de equilibrio (afinidad) para esta reacción está dada por la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$K_H = \frac{[H^+_{(sol)}] [F-SO_3 \text{ Cromo}]}{[H_f] [Cromo^+_{(sol)}]}$$

Donde:

$[H^+_{(sol)}]$ representa la concentración de iones de hidrógeno en el baño remanente.

$[F-SO_3 \text{ Cromo}]$ representa la concentración de colorante en la fibra.

$[H_f]$ representa la concentración remanente de iones hidrógeno en la fibra.

$[Cromo^+_{(sol)}]$ representa la concentración del colorante en la solución.

En el caso más simple, se considera a la fibra permanecer eléctricamente neutra al final del teñido, por lo tanto:

Ecuación 3

$$S = [H_f] + [F-SO_3 \text{ Cromo}]$$

Donde:

S representa el valor de saturación de la fibra y se considera ser igual al número total de grupos ácidos en la fibra

Al sustituir la ecuación 3 en la ecuación 2 obtenemos la isoterma de Langmuir, siempre y cuando el pH se mantenga constante durante el teñido.

Ecuación 4

$$K_H = \frac{[H^+_{(Sol)}] [F-SO_3 \text{ Cromo}]}{[S - [F-SO_3 \text{ Cromo}]] [Cromo^+_{(Sol)}]}$$

Los coeficientes de actividad se toman igual a uno, para la fibra y el medio de teñido exterior; aunque los valores hallados para resinas de intercambiadores iónicos (estireno- divinil benceno) no distan mucho de esta cifra.

El uso de electrolito como catión competitivo para lograr teñidos más parejos también puede ser involucrado en este modelo:

Ecuación 5

$$S = [H_f] + [F-SO_3 \text{ Cromo}] + [F-SO_3 \text{ Na}]$$

La reacción de teñido es la siguiente:

Reacción 7



La nueva constante de equilibrio incluyendo el catión sodio es:

Ecuación 6

$$K_{Na} = \frac{[Na^+_{(sol)}] [F-SO_3 \text{ Cromo}]}{[Na_f] [Cromo^+_{(sol)}]}$$

Remplazando la ecuación 5 en la ecuación 6 tenemos:

Ecuación 7

$$K_{Na} = \frac{[Na^+_{(sol)}] [F-SO_3 \text{ Cromo}]}{[S- \{ [H_f] + [F-SO_3 \text{ Cromo}] \}] [Cromo^+_{(sol)}]}$$

Resumiendo, el mecanismo de teñido de las fibras acrílicas con los colorantes catiónicos puede ser dividido en tres etapas principales:

1. La absorción del colorante sobre la superficie de la fibra.
2. La difusión del colorante de la superficie hacia el interior de la fibra.
3. La interacción o reacción del colorante con los grupos ácidos de la fibra.

La última etapa que se ha expuesto ocurre tan rápidamente que no tiene influencia sobre la cinética de teñido. Las primeras etapas determinan la velocidad de teñido.

3.1.2 COMPATIBILIDAD DE LOS COLORANTES CATIÓNICOS *

Por la relativa rapidez con que ocurre y la estabilidad del enlace salino, los colorantes catiónicos deben ser debidamente seleccionados para obtener teñidos parejos en mezclas.

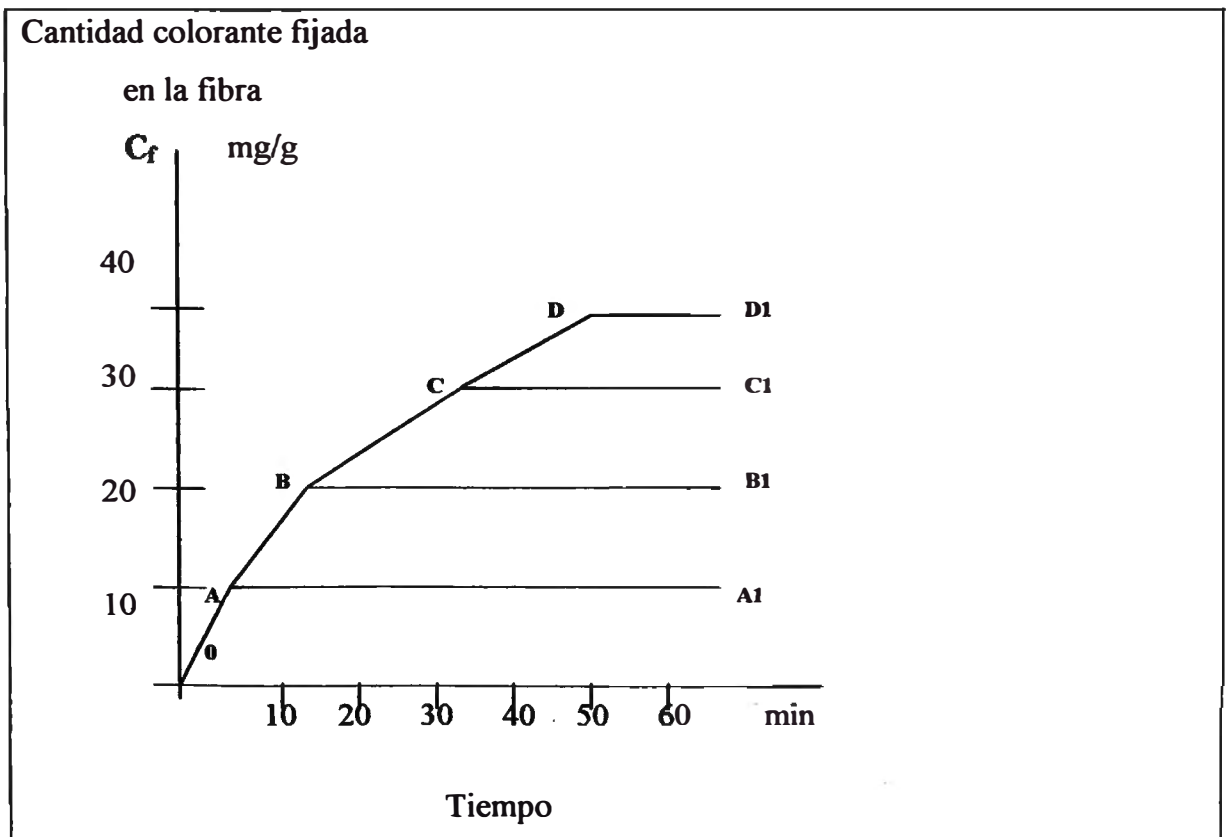
*Costa, M .Las fibras textiles y su tintura.

Esto es muy importante si se tiene en cuenta que en la superficie de la fibra el nivel de saturación es reducido y por consiguiente la competencia de los colorantes en la mezcla es grande.

Será preciso combinar en las formulaciones colorantes que se fijen a la misma velocidad, comportándose como un solo colorante durante su aplicación. Ya que si un colorante se fija con retraso, el matiz de la tintura variará de acuerdo al tiempo en que se efectúe el muestreo de la misma. Los colorantes no compatibles producen con facilidad tinturas defectuosas.

Al comparar curvas de agotamiento de los colorantes catiónicos a diferentes concentraciones de teñido se ve que estas muestran comportamientos similares hasta poco antes de terminar la fase de fijación, por que la velocidad de fijación o cantidad de colorante fijada después de un tiempo determinado es independiente de la concentración de colorante en el baño y de la intensidad del matiz. Esto se puede apreciar en la gráfica de agotamiento de C.I. Rojo Básico 29 a varias concentraciones.

Figura 1. Cantidades de colorante fijada sobre la fibra en función del tiempo



Donde: para las figuras 1 y 2 se pueden ver las curvas de agotamiento para el C.I. Rojo Básico 29 a diferentes concentraciones del mismo.

0AA1 representa la curva de agotamiento para 1 % de colorante.

0BB1 representa la curva de agotamiento para 2 % de colorante.

0CC1 representa la curva de agotamiento para 3 % de colorante.

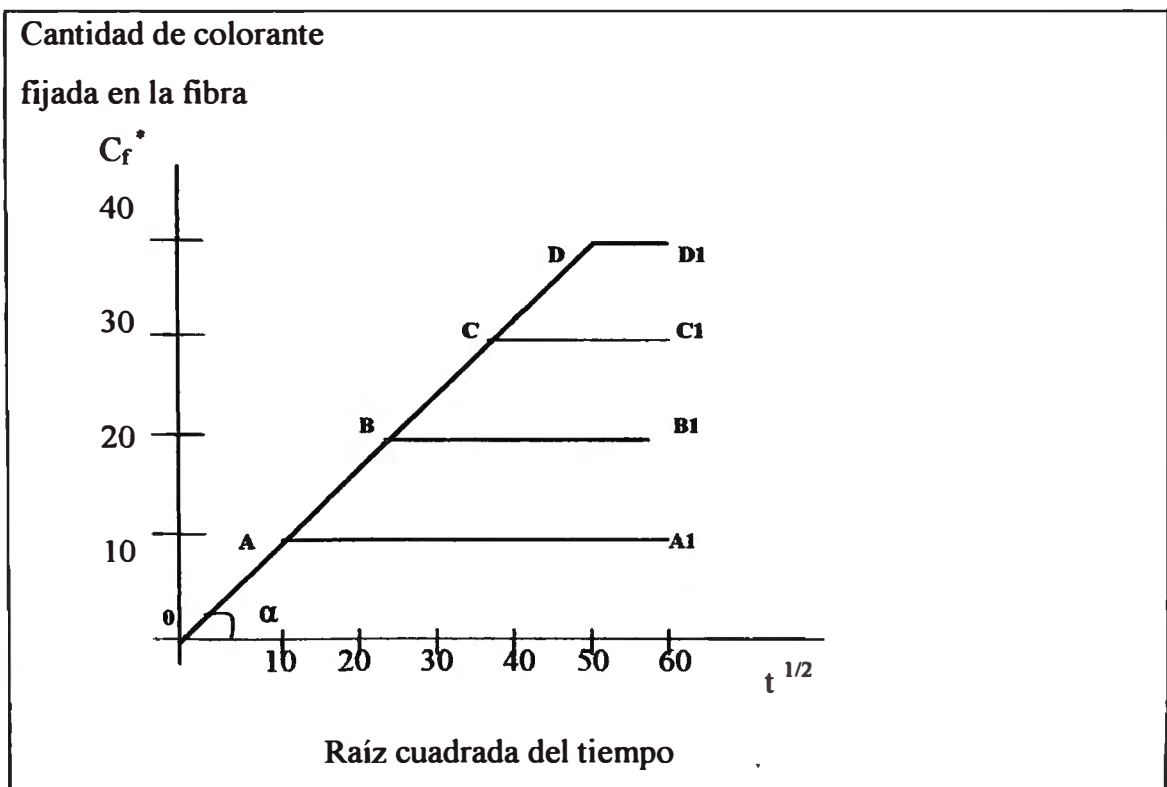
0DD1 representa la curva de agotamiento para 4 % de colorante.

C_f representa la cantidad de colorante en la fibra en mg/g.

De la misma gráfica se puede ver que la relación de baño tampoco afecta la velocidad de teñido, ya que una disminución de la relación de baño equivale a un aumento en la concentración del colorante en este.

Cualquier gráfica expresada en forma lineal es más simple y operable; esto se puede lograr con la figura 1 al cambiar las unidades del eje del tiempo a la raíz cuadrada de las mismas.

Figura 2. Cantidades de colorante fijadas sobre la fibra en función de la raíz cuadrada del tiempo



La tangente del ángulo α formada por la recta y la abscisa, se puede determinar con la siguiente fórmula:

Ecuación 8

$$\text{Tan } \alpha = \frac{C_f^*}{\sqrt{t}} = \frac{C_f}{\sqrt{t}} M$$

Donde:

- C_f^* representa la concentración de colorante expresado en milimoles de colorante por gramo de fibra.
- C_f representa la concentración del colorante en miligramos de colorante por gramo de fibra.
- M representa el peso molecular del colorante.
- t representa el tiempo en segundos.

El valor $\text{Tan } \alpha$ es independiente de la concentración del colorante en el baño de teñido y expresa claramente la velocidad a la cual el colorante catiónico se fija a la fibra acrílica.

Sin embargo, para definir la compatibilidad de colorantes catiónicos no basta conocer solo los valores de $\text{Tan } \alpha$, si no que es preciso conocer la otra parte de la constante, el valor $\text{Tan } \beta$.

Se puede decir que el valor de $\text{Tan } \alpha$ representa la segunda fase del teñido, la difusión del colorante a través de la fibra; mientras el valor $\text{Tan } \beta$ expresa la afinidad del colorante.

La ecuación que define a $\text{Tan } \beta$ es la siguiente:

Ecuación 9

$$\text{Tan } \beta = L / M$$

Donde:

L representa la constante de absorción (afinidad)

M representa el peso molecular del colorante.

Mediante estos dos valores $\tan \alpha$ y $\tan \beta$ se obtiene el índice K, medida inequívoca de la compatibilidad de los colorantes.

Ecuación 10

$$K = \tan \alpha \tan \beta$$

Estos índices de compatibilidad de los colorantes son de gran ayuda para su selección.

3.1.3 ABSORCIÓN DEL COLORANTE SOBRE LA SUPERFICIE DE LA FIBRA

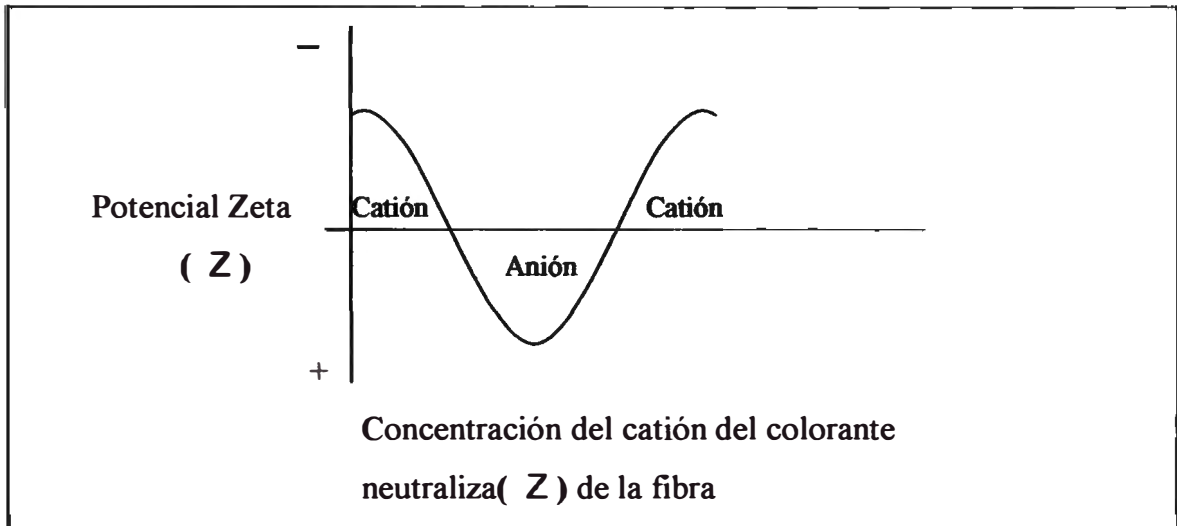
Al ser sumergidas en agua las fibras acrílicas adquieren un potencial electrocinético conocido como potencial Zeta. Este potencial (-44 milivoltios) negativo ejerce su influencia sobre la superficie de la fibra y el agua.

Esta carga negativa atrae las moléculas de colorante cargadas positivamente a la superficie de la fibra y la absorción del colorante toma lugar.

En un principio la fibra pierde su carga negativa debido a la acumulación de cationes de colorante sobre la superficie de la fibra.

A medida que el colorante se difunde al interior de la fibra, el potencial Zeta de la fibra se vuelve negativo nuevamente.

Figura 3. El potencial Zeta (Z) en el ciclo de teñido de las fibras acrílicas con colorantes catiónicos.



La cantidad de colorante absorbido es independiente de la relación de baño, de la velocidad de teñido y de la temperatura, cuando está por debajo de la segunda temperatura de transición de la fibra (75 – 80°C).

Sin embargo, depende de la naturaleza de la fibra, del pH del licor de teñido y de la basicidad del colorante.

La dependencia de la fibra puede ser comprendida por la cantidad y la capacidad de disociación de los grupos ácidos en ella; mientras que el pH del licor de teñido por la competencia de los átomos de hidrógeno y los cationes de colorante, al mismo tiempo que por la supresión de los grupos ácidos débiles a disociarse.

3.1.4 DIFUSIÓN DEL COLORANTE DE LA SUPERFICIE AL INTERIOR DE LA FIBRA

Experimentos llevados a cabo en teñidos a diferentes concentraciones de colorante han demostrado que la absorción del colorante en las primeras etapas del teñido es independiente de la cantidad de colorante. Por lo que se puede esperar una rápida saturación con colorante de la superficie de la fibra, seguido de una difusión a su interior.

Es más, teñidos anulares, son obtenidos durante el teñido.

Para obtener teñidos uniformes en la dirección radial de la fibra, el colorante fijado en la superficie debe migrar hacia el interior o nuevo colorante debe penetrar al interior de la fibra pasando por las capas superficiales ya teñidas. Los colorantes de alta sustentividad son de esperarse que posean velocidades de difusión interna muy lenta y por consiguiente teñidos anulares.

Por otro lado, colorantes de baja sustentividad no son absorbidos tan tenazmente en la superficie por lo que su difusión al interior es más fácil y rápida.

Los colorantes catiónicos se difunden a través de las fibras acrílicas por un mecanismo de reacción progresiva entre el colorante y los grupos ácidos externos primeramente y luego los adyacentes más internos, con la difusión de los iones de hidrógeno en cantidad equivalente en la dirección contraria.

Con la ayuda de la siguiente fórmula (Costa M. Las fibras textiles y su tintura) se ha logrado calcular los coeficientes de difusión para cada colorante:

Ecuación 11

$$\frac{D_f}{S} = \frac{2}{\pi^{1/2}} A_w D^{1/2} t^{1/2}$$

Donde:

D_f representa el colorante absorbido por la fibra en el tiempo t.

S representa el valor de saturación de la fibra.

A_w representa el área superficial de la fibra

D representa el coeficiente de difusión del colorante.

3.1.5 PRUEBA PRÁCTICA PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD DE LOS COLORANTES CATIÓNICOS

La compatibilidad se determina por comparación con una de las escalas, una azul y una amarilla; usando como patrón comparativo aquella escala donde la diferencia del matiz sea más notoria.

Los colorantes patrón han sido seleccionados de manera que cada grado en la escala representa una diferencia equivisual y corresponde a colorantes compatibles.

La preparación de las escalas recomendadas esta constituida por los colorantes mostrados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala amarillo y azul para la determinación práctica del índice de combinación

% colorante (spm)	Colorante patrón	Color Index N°	Índice de Combinación
0.75	Amarillo Astrazón oro RR	Básico amarillo 42	1
0.50	Amarillo Astrazón GRL	Básico amarillo 29	2
0.30	Amarillo Deorlene 4RL	Básico amarillo 32	3
0.75	Amarillo Seuron 3RL	Básico amarillo 15	4
0.65	Amarillo Synacril R	Básico Naranja 48	5

0.55	Azul Astrazon FRR	Básico azul 69	1
2.70	Azul Astrazon 5GL	Básico azul 45	2
1.20	Azul Astrazon FGL	Básico azul 47	3
0.60	Azul Seuron ER	Básico azul 77	4
2.40	Azul Astrazon FGL	Básico azul 22	5

Donde: spm = sobre el peso del material

Estos porcentajes corresponden aproximadamente a la mitad de una intensidad patrón 1/1 sobre fibras acrílicas.

Procedimiento

1. Treinta muestras (madeja o tela) se trabajan por 15 min a 95 °C en una solución de relación de baño 1 : 40, que contiene:
1 % ácido acético glacial (% sobre el peso del material)
1 % acetato de sodio (% sobre el peso de material)
para ajustar el pH de las muestras a 4,5.
2. Se prepara luego 5 baños, cada uno para cada colorante patrón con una relación de baño 1 : 40 (calculado sobre el peso de la primera madeja), con pH 4,5 a 95 °C y que contiene:
X % colorante patrón (azul o amarillo)
Y % colorante bajo examen
1 % ácido acético glacial
1 % acetato de sodio
Se utilizan 6 muestras por baño de teñido, lo que hace un total de 30 muestras.
Por baño se tiñen a 95 °C la primera madeja durante 10 min, luego se seca y se tiñe una segunda madeja a 95 °C durante 10 min. El mismo procedimiento se lleva a cabo con 3 madejas más, excepto con la sexta madeja donde se prolonga el teñido hasta el agotamiento total del baño. Con los colorantes patrón que se agotan muy rápido como el azul Astrazon FRR y el amarillo Astrazón oro RR, el ciclo de teñido puede ser acortado a 5 min.
3. Enjuagar y secar cada muestra. Montar sobre una cartulina en la secuencia de teñido.

3.1.6 PRUEBA PRÁCTICA PARA DETERMINAR EL VALOR DE SATURACIÓN

En todas las fibras acrílicas teñibles con colorantes catiónicos existe un valor de saturación (S), cuando todos los grupos aniónicos han sido ocupados por el colorante catiónico. Un conocimiento de este valor es necesario para las diferentes fibras acrílicas y los colorantes a fin de determinar el máximo de colorante utilizable en la práctica.

El propósito de esta prueba es determinar este valor en términos del colorante hipotético de peso molecular conocido 400 y usar el valor obtenido como referencia para los colorantes usados en la práctica.

El colorante patrón escogido es el Azul de Metilo (C.I. Básico Azul 9) con una pureza del 96,6 % . En un principio se utilizó el Verde Malaquita (C.I. Básico 4, de peso molecular 400), pero debido a su pobre estabilidad se cambió por el azul de metilo, peso molecular 320, y los resultados obtenidos se multiplican por 5/4 para hacerlos comparable con los obtenidos con el Verde Malaquita.

Tres definiciones han sido adoptadas para esta prueba:

1. El valor de saturación de la fibra (S) se expresa como porcentaje sobre el peso de la fibra, y es definido como la cantidad de un colorante hipotético de peso molecular 400 que es absorbido por ésta cuando se tiñe por 4 horas, a 100 °C, a un pH 4,5 y con una relación de baño 100 : 1.

Este valor es constante para una determinada fibra.

2. El factor de saturación del colorante (f) expresa las características de saturación de un colorante catiónico comercial. Se le define como el factor por el cual cualquier cantidad de un colorante comercial determinado debe ser multiplicado para obtener una cantidad equimolar del colorante hipotético puro de peso molecular 400 que va

ser absorbido por la fibra. Este valor es constante para un determinado colorante.

3. La concentración al momento de saturación (C) de un colorante comercial sobre una fibra determinada, está definida como la cantidad de colorante (expresado como porcentaje sobre el peso de la fibra) absorbido cuando es teñido durante 4 horas a 100°C , a un pH 4,5 y con una relación de baño de 100 : 1.

Para la fibra de acrílico y el colorante catiónico los tres términos se relacionan entres sí con la siguiente ecuación matemática:

Ecuación 12

$$C = S / f$$

El valor de saturación de la fibra en términos de Azul de Metilo se encuentra por determinación espectofotométrica de la máxima cantidad de este que la fibra puede absorber después de un teñido prolongado.

La cantidad de colorante remanente en el baño es determinada espectofotométricamente por diferencia del total original conocido, la cantidad de colorante en la fibra es hallada así.

Primeramente sets madejas o muestras de tejido de acrílico son pretratadas durante 1 hora hirviendo en un baño de 100 : 1 que contiene:

- 1 % Ácido acético glacial
- 1 % Acetato de sodio

Los seis baños de teñido son preparados como sigue:

Cuadro 3. Porcentajes de Azul de Metilo y ácido acético empleados en cada prueba

PRUEBA	AZUL DE METILO	AC. ACETICO GLACIAL
1	1,0	1,0
2	1,5	1,0
3	2,0	1,0
4	2,5	1,0
5	3,0	1,0
6	4,0	1,0

En el cuadro anterior las cantidades de azul de metilo y ácido acético están expresadas en porcentajes sobre el peso de material a teñir. El azul de metilo empleado es al 100 % de pureza.

Los teñidos se llevan a cabo durante 4 horas bajo reflujo, y las densidades ópticas (absorbencias) de los baños de teñido a 578 nanómetros deben ser halladas antes y después del teñido. De estas medidas C_f , la concentración de colorante sobre la fibra, se calcula en cada caso.

Los resultados se obtienen al graficar C_f en un eje versus el porcentaje de colorante aplicado en el otro.

El valor de saturación es el máximo valor de C_f obtenido, y hallado por una simple interpolación.

El resultado se expresa en términos de Azul de metilo al 100 %.

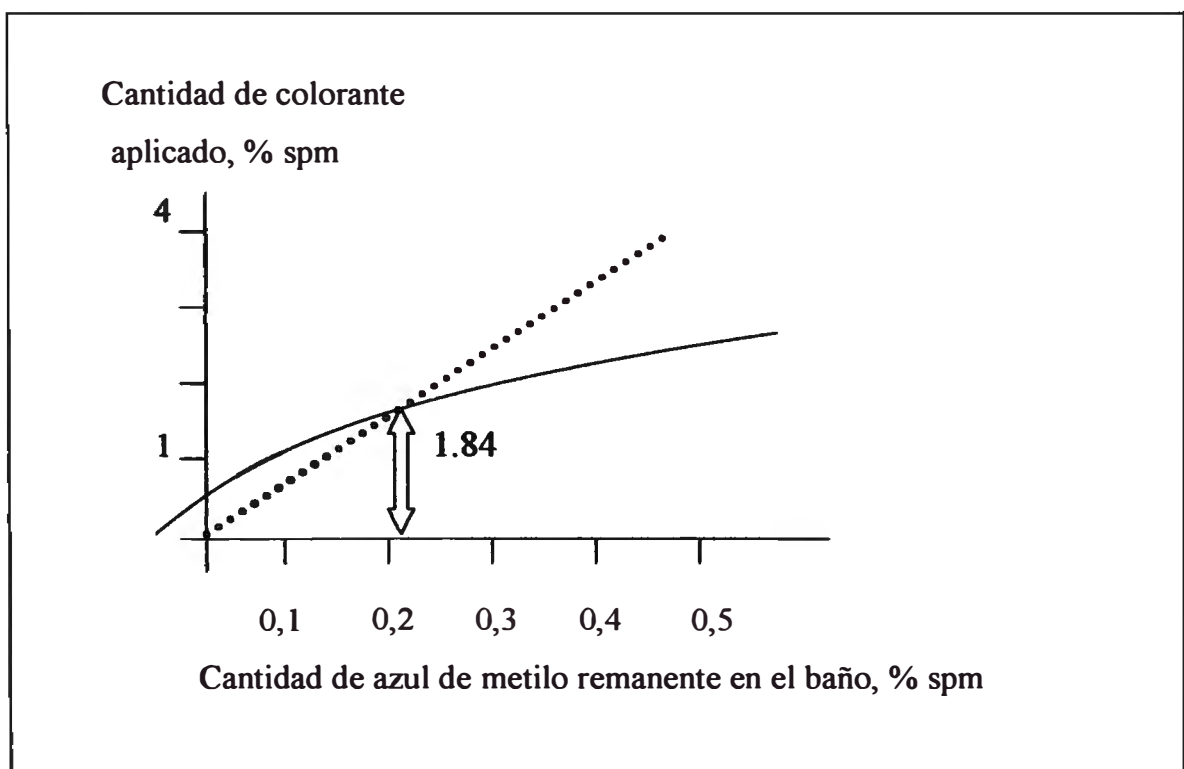
En el gráfico C_f versus Porcentaje se traza una línea recta de pendiente 10 que pasa por el origen del grafico. Esta recta representa el 90 % de agotamiento de cualquier baño (Se obtiene mediante análisis espectrofotométrico del baño residual de teñido).

La intersección de esta recta con el gráfico expresa, en términos de la cantidad de Azul de Metilo, la cantidad de colorante originalmente agregados al baño en ese

punto. Este valor requiere ser convertido a 100 % de pureza al multiplicarlo por $96,6 / 100$.

El valor de Saturación de la fibra (S) se obtiene al multiplicar esta cantidad por $5/4$.

Figura 4. Determinación gráfica del valor de Saturación de la fibra



Donde : spm = sobre el peso del material a teñir.

..... = representa el 90 % de agotamiento de cualquier baño.

— = representa la curva resultante de graficar el colorante aplicado versus colorante remanente en el baño.

Por lo tanto el valor de saturación para esta fibra se calcula de la siguiente manera:

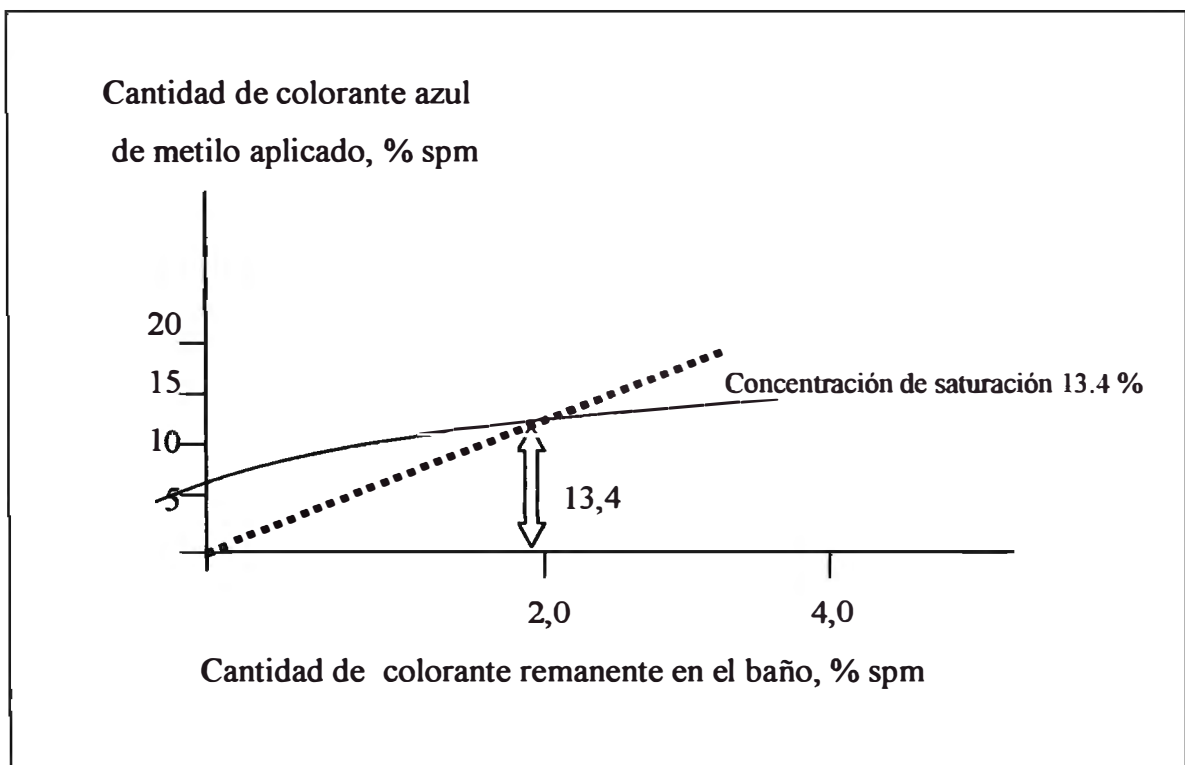
$$\text{Valor de Saturación} = 1,84 \% * 96,6/100 * 5/4 = 2,22 \%$$

La concentración de saturación (C) de cualquier colorante catiónico sobre una fibra se lleva a cabo de igual manera que en el caso del cálculo del valor de saturación, pero a diferencia del Azul de Metilo se usa el colorante bajo examen.

Nuevamente se grafica la concentración de colorante presente en el baño inicial (% spm) versus la cantidad de colorante remanente al final del teñido.

La misma línea recta de pendiente 10 que atraviesa el origen, cuando se cruza con el gráfico original expresa la cantidad de colorante originalmente adicionados al baño en ese punto. Este valor de Saturación de concentración (C) de colorante bajo examen.

Figura 5. Determinación gráfica del valor de saturación de la fibra



Donde: spm = sobre el peso del material.

..... = representa el 90 % de agotamiento de cualquier baño.

— = representa la curva resultante de graficar la cantidad de Azul de Metilo aplicado versus el colorante remanente en el baño.

El factor de saturación del colorante (f) que representa la cantidad de cationes por un gramo de colorante se calcula según S y C, de acuerdo a:

Ecuación 13

$$f = S / C = 2,22 \% / 13,4 \% = 0,166$$

3.1.7 PROPIEDADES TINTÓREAS DE LAS FIBRAS ACRÍLICAS COMERCIALES

En el Cuadro 4 se muestran las principales propiedades tintóreas de las fibras acrílicas.

Cuadro 4. Propiedades tintóreas de las fibras acrílicas comerciales

FIBRA ACRILÍCA	S	V
Acrilan 16	1,50	2,80
Beslon	2,50	2,60
Bulana	2,00	1,70
Cashmilon F	2,30	3,40
Courtelle	1,90	2,60
Crysel	1,80	2,40
Dolan	2,80	1,70
Drytex	2,10	1,70
Exlan DK	1,90	3,70
Toraylon	3,20	2,40
Velicren	1,80	2,50
Hanilon	2,00	2,80
Fisivon	1,70	2,30
Leacryl	1,70	2,70
Malon	3,20	3,10
Melana	1,90	3,20
Nitroc C	2,50	1,70
Nitron D	2,10	2,30

Donde : S = Valor de saturación de la fibra

V = Velocidad de tintura de la fibra

3.2 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL TEÑIDO DE LOS COLORANTES CATIÓNICOS

La dificultad de aplicación pareja de los colorantes catiónicos sobre las fibras acrílicas es debido a su alta afinidad y su pobre poder de migración.

El poder de migración de un colorante catiónico está determinado por su afinidad y su velocidad de difusión; estos parámetros dependen a su vez de la constitución y de la dimensión de la molécula del colorante.

Además de la constitución química del colorante influyen de modo especial en el poder de migración los siguientes parámetros:

1. La temperatura.
2. El electrolito.
3. El retardante.
4. El tipo de fibra.
5. El pH del baño.

3.2.1 LA TEMPERATURA

A bajas temperaturas las fibras acrílicas poseen una estructura muy compacta que no permite la vibración plena de los segmentos en la parte amorfa alrededor de su posición de equilibrio. A medida que la temperatura aumenta, la vibración de la cadena también lo hace, hasta que a la temperatura de transición vítrea, la accesibilidad a la fibra aumenta proporcionalmente con la temperatura.

Diferentes fibras acrílicas en el mercado difieren en sus propiedades fisicoquímicas, sus temperaturas de transición vítrea también lo hacen, por lo que poseen diversas velocidades de teñido.

El aumento de la movilidad de los segmentos de la cadena polimérica probablemente posee dos ventajas: Aumenta la accesibilidad a los grupos reactivos de la fibra y también la velocidad de difusión.

La velocidad de teñido (velocidad de reacción), definida por la constante K está relacionada con la temperatura por la ecuación de Arrhenius:

Ecuación 14

$$K_t = K_o e^{-E/RT}$$

Aplicando logaritmos se obtiene:

Ecuación 15

$$\log K_t = \log K_o - 2,3 E / RT$$

Donde:

- K_t = Constante de reacción a una temperatura dada.
 K_o = Constante de proporcionalidad de distribución del colorante (C_f / C_{Sol}).
 E = Energía de activación
 R = Constante de los gases
 T = Temperatura en grados Kelvin.

De la ecuación de Arrhenius se puede constatar que el aumento de la temperatura ocasiona un aumento exponencial en la velocidad de teñido.

Valores para energía de activación de los colorantes catiónicos oscilan entre 60 y 80 kilocalorías / mol.

Por estas altas energías de activación, las más altas encontradas en los sistemas de teñidos, un aumento de temperatura de 1 °C , aumenta la velocidad de teñido en un 30 %. Esto involucra un control estricto de la temperatura de teñido para lograr un teñido parejo, ya que la reacción entre colorante y la fibra es casi

irreversible. Esto también explica sus pobres propiedades migratorias (igualación) y de sus buenas solidez húmedas.

El aumentar gradualmente la temperatura de teñido lo más lentamente posible es una necesidad imperiosa 0,3 - 0,5 °C /min.

3.2.2 EL ELECTROLITO

Adiciones de Sulfato de Sodio al baño de teñido reducen la velocidad de teñido de los colorantes catiónicos. Esto se basa en la competencia entre los cationes de sodio con el colorante por los grupos ácidos de la fibra.

Los cationes de sodio por ser más móviles son absorbidos primeramente por la fibra y posteriormente desplazados por los cationes de colorante. En cierta forma actúan como retardante catiónico.

Esta acción de bloqueo temporal por parte del catión de sodio reduce la afinidad del colorante por neutralización de los grupos ácidos en la fibra.

La acción retardante de los electrolitos disminuye al aumentar la temperatura.

Debido a que la afinidad de los colorantes catiónicos es muy alta y teñidos dispares no pueden ser corregidos fácilmente por su pobre migración, se ha hecho uso de agentes retardantes. Básicamente existen dos tipos de retardantes: Aniónicos y Catiónicos.

3.2.3 EL RETARDANTE

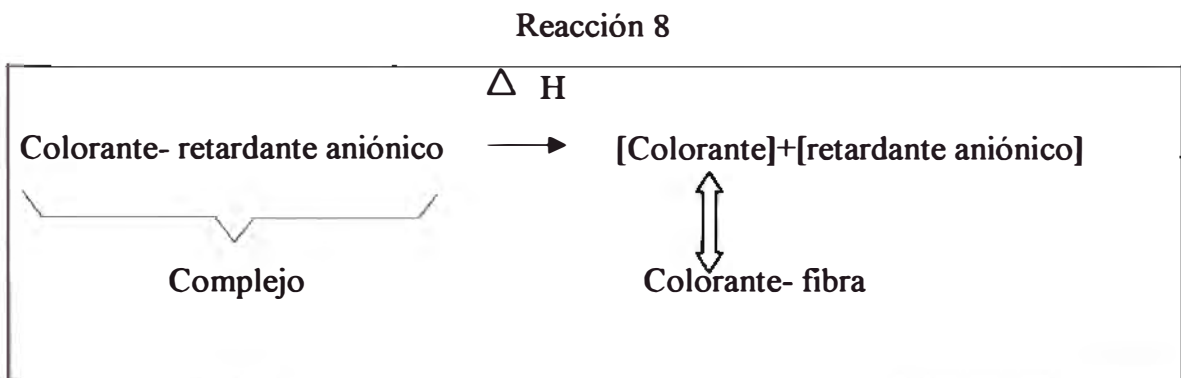
Las eventuales irregularidades de distribución de la temperatura en diversos sitios del material a teñir provocan desigualdades de tono, lo cual obliga a emplear agentes auxiliares que impidan una fijación desigual del colorante. Tales productos suelen causar una disminución de la velocidad de teñido, y por eso han recibido el nombre de retardantes.

3.2.3.1 EL RETARDANTE ANIÓNICO

Este tipo de retardadores basa su acción en la habilidad de formar complejos con el colorante catiónico. El complejo formado tiene menor solubilidad que el colorante solo y puede precipitar muy fácilmente, si un dispersante del tipo no iónico no es usado a la vez.

El complejo se rompe a temperaturas cercanas a ebullición, liberando el colorante que puede entonces difundirse dentro de la fibra.

El mecanismo de teñido está gobernado por el siguiente mecanismo:



Una de las principales ventajas de este tipo de retardante radica en la perfecta y lenta subida del colorante a la fibra, debido a que el complejo se encuentra homogéneamente distribuido en el baño y no posee afinidad por ella.

Sin embargo, por el bloqueo temporal de su carga positiva, el grado de acción retardante depende de la facilidad de formar complejos entre el colorante y el agente retardante y por lo tanto varía de acuerdo al colorante. En algunos casos este tipo de retardante merma la solidez al frote de las tinturas.

Además, algunos complejos formados son muy estables y no pueden liberar el colorante a altas temperaturas, disminuyendo así su rendimiento tintóreo.

Por otro lado, después de la tintura se lleva a cabo un suavizado posterior con suavizantes catiónicos, que sino está bien lavado el material puede ocasionar precipitaciones.

3.2.3.2 EL RETARDANTE CATIONICO

Los agentes catiónicos se comportan como **colorantes incoloros** que compiten con los colorantes catiónicos por los grupos ácidos de la fibra. Por esta razón estos compuestos también poseerán factores de saturación como los colorantes.

Por ser de menor peso molecular que los colorantes se difunden más rápidamente entre la fibra, reaccionando con los grupos ácidos. A temperaturas de ebullición el retardante catiónico tiende a ser remplazado por el colorante.

Químicamente son aminas cuaternarias de cadena alifática larga cuyo efecto depende de su concentración en el baño y su afinidad por la fibra. La afinidad por otro lado, depende primordialmente del largo de la cadena alifática. A su vez los agentes de este tipo pueden ser de dos clases: no hidrolizables (permanentes) e hidrolizables.

Por su modo de acción pueden llevar a producir una acción bloqueante de los grupos reactivos, disminuyendo el rendimiento tintóreo, sobre todo los del tipo no hidrolizable. Cuando se usan con colorantes no compatibles (diferentes Z), la diferencia tiende a ser más marcada, el colorante de mayor velocidad de teñido será retardado menos que los otros.

Este tipo de retardantes no es compatible con auxiliares del tipo aniónico.

Cuadro 5. Cuadro comparativo entre un retardante aniónico y un retardante catiónico

PROPIEDADES	RETARDANTE ANIONICO	RETARDANTE CATIONICO
Elección del colorante	Necesaria	necesaria
Uniformidad del matizado	Buena	buena
Agotamiento del baño	Moderado	bueno
Bloqueo de la fibra	Ninguno	sí
Retardo al principio	casi siempre escaso	bueno
Manchado de la lana	Poco	fuerte
Precipitados	Posibles	ninguno

3.2.4 EL TIPO DE FIBRA

Los diferentes tipos de fibra acrílica poseen diferentes comportamientos tintóreos. Esto puede ser por su contenido de grupos ácidos, como también por la constante de ionización de estos y su tipo de hilatura química.

En general, los colorantes son los absorbidos más rápidamente por las fibras que han sido hiladas en húmedo de las han sido hiladas en seco, debido a su mayor cantidad de espacios vacíos por donde el colorante puede difundirse.

El conocimiento del valor de Saturación de la fibra (S) es de vital importancia para el proceso de teñido.

3.2.5 EL pH DEL BAÑO

Varios métodos de aplicación se han desarrollado para regular la absorción del colorante por la fibra. La velocidad de teñido es influenciada por la acidez del baño de tintura. En un medio fuertemente ácido la velocidad de teñido es más baja. Si el pH del baño llega ser superior a 6 se puede provocar la destrucción hidrolítica de algunos colorantes. El pH adecuado de teñido es 4,5 y de blanqueo 3,5. La regulación del pH se realiza con ácido acético en el teñido y ácido fórmico en el blanqueo.

3.2.6 LA CALIDAD DEL AGUA

El agua que se utiliza para el teñido debe ser blanda y libre de impurezas. La presencia de sales de calcio y magnesio puede ser indeseable en muchos procesos de acabado.

Estas sales son responsables de la dureza del agua y dan lugar a la formación de precipitados insolubles con algunos productos auxiliares.

Los productos insolubles de calcio y magnesio son algo pegajosos y se adhieren a los materiales atrayendo a veces impurezas o suciedad. La presencia de sales de calcio y magnesio también pueden ocasionar problemas de depósito de carbonato

de calcio e hidróxido de magnesio en los equipos de intercambio de calor, disminuyendo su eficiencia. Esto ocurre especialmente si se trata de bicarbonato de ambos metales.

La presencia de bicarbonatos puede afectar el pH del baño al subir la temperatura y liberarse CO_2 .

Algunos colorantes forman compuestos de calcio que son insolubles. El agua dura puede por tanto interferir con la aplicación de dichos colorantes.

Con agua dura el tacto de los hilados puede ser más áspero.

La presencia de sales de fierro en el agua usada para teñir es altamente indeseable porque causa la decoloración de los blancos y también porque puede producir opacidad en los tonos brillantes en el teñido. Hay colorantes que son sensibles al fierro y cambian su tonalidad.

Cuando hay la presencia de sales de calcio y magnesio y fierro se puede utilizar un agente secuestrante.

La presencia de compuestos orgánicos solubles, sales de amonio, nitratos y nitritos de origen animal o vegetal pueden contener organismos putrefactos o cromogénicos que posteriormente pueden ocasionar manchas decoloradas o la degradación de las mezclas de acabado.

IV. CONDICIONES ACTUALES DEL PROCESO DE TEÑIDO EN PRODUCCION

4.1 LA FIBRA

La fibra empleada es DRYTEX de Bayer, la cual es una fibra acrílica obtenida por hilatura en seco, con sección transversal en forma de hueso y superficie redondeada. Con un índice de saturación $S = 2,1$ y una velocidad de tintura $V = 1,7$, este valor puede variar ligeramente dependiendo de la finura (dTex) de la fibra. Los títulos más finos tienen velocidad más alta y los más gruesos velocidad más baja.

4.2 EL COLORANTE

Los colorantes empleados son los colorantes Catiónicos Astrazon.

Los índices de combinación (K) y factores de saturación (f) de los colorantes Astrazon empleados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Índices de combinación y factores de saturación de los colorantes catiónicos.

COLORANTE	K	f
Amarillo Astrazon GLE 200 %	3,0	0,46
Amarillo Astrazon 8GL 200 %	2,5	0,20
Rojo Astrazon GTLN 200 %	3,5	0,76
Azul Astrazon FGRL 200 %	3,0	0,33
Violeta rojizo astrazon 3RN	1,5	0,50
Azul Astrazon BG 200 %	3,5	0,54
Verde astrazon M	3,0	1,00
Negro Astrazon ON	3,0	1,00

Los colores obtenidos en producción sobre la fibra acrílica se distribuyen en 10 % colores claros y 90 % colores de medios a oscuros.

4.3 EL PROCESO DE TEÑIDO

Aproximadamente el 80 % de la producción de teñido es en madejas, en este formato se tiñen hilados retorcidos a 2 cabos del tipo HB (high bulk), y el 20 % es teñido en bobinas cruzadas para el caso de hilado a un solo cabo HB, este hilado ha sido previamente encogido durante la elaboración de la bobina blanda, por lo que durante el proceso de teñido ya no encoge más. Por este mismo proceso también se tiñe hilado tipo N (fibra previamente encogida), por lo que es propicio teñirlo en bobinas cruzadas.

La relación de baño empleada es 1:30 en el caso de teñido en madejas y 1:10 para el teñido en bobinas cruzadas. El baño de teñido junto con el colorante previamente disuelto y los auxiliares de teñido se llevan a la temperatura de 60 °C, temperatura a la cual ingresa el material a ser teñido, luego la temperatura es subida de 60 °C a 98 °C en 80 min, se mantiene a esta temperatura por un tiempo de 50 min, en colores claros. Para los colores medios la temperatura es subida de 60 °C a 98 °C en 70 min, se mantiene a esta temperatura por un periodo de 60 min; y finalmente en colores oscuros la temperatura es subida de 60 °C a 98 °C en 60 min, mantenida a esta temperatura por un periodo de 90 min, luego en todos los casos se enfría a 60 °C en 30 min. (Ver curva de teñido en el apéndice 1A página 65).

De lo anteriormente mencionado y considerando tiempos de ingreso de auxiliares y colorante de teñido así como también del material a teñir, se obtiene los siguientes tiempos totales de teñido:

Colores claros	180 min.
Colores medios	200 min.
Colores intensos	220 min.

De lo anterior se obtiene el tiempo ponderado de teñido:

$$10 \% (180 \text{ min}) + 90 \% [(200 \text{ min} + 220 \text{ min}) / 2] = 207 \text{ min}$$

4.4 LOS AUXILIARES DE TEÑIDO

Los auxiliares de teñido empleados para el teñido de madejas y bobinas cruzadas son los siguientes:

Retardante catiónico	(Astragal PAN).
Dispersante no iónico	(Avolan IW).
Regulador del pH	(Ácido acético).
Suavizante catiónico	(Persoftal AFS-P).
Detergente no iónico	(Breviol DEM).

4.5 LA MAQUINARIA

El teñido del hilado de acrílico se realiza por agotamiento. La maquinaria utilizada es autoclave de teñido de forma cilíndrica vertical en donde se puede teñir madejas y conos dependiendo del portamaterial empleado. El calentamiento es de forma indirecta mediante el uso de un serpentín que se encuentra en la parte inferior interna de la olla de teñido. No cuentan con tanque de adición.

Las marcas de maquinaria son Sholl y Van Herinzen.

El hilado tipo HB es teñido en madejas para permitir un encogimiento adecuado del material. Las madejas se cuelgan en bastidores sujetos a una base que puede ser elevada o bajada dentro de la autoclave de teñido.

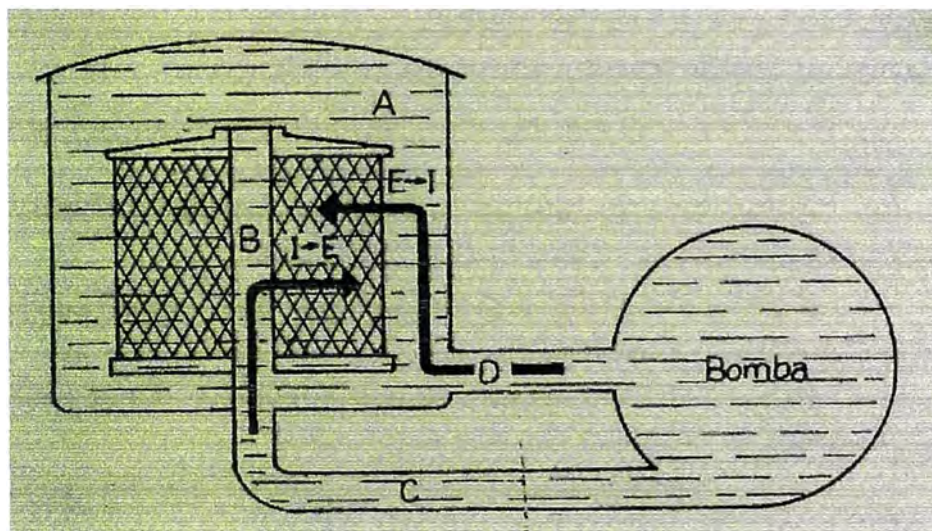
El hilado que ha sido previamente encogido es teñido en bobinas cruzadas. El hilado es enrollado en una base de plástico perforada de forma cilíndrica. La bobina resultante para el teñido es completamente uniforme con una densidad de 300 g / dm^3 .

Características generales de las autoclaves

- Operar en circuitos cerrados para evitar el fenómeno de cavitación.
- Estar equipados con una bomba de caudal y presión suficientes.
- Llevar un dispositivo que permita lo más rápidamente posible el cambiar el sentido de circulación del baño a través de la materia.

- Poseer un sistema que comuniquen una presión estática a todo el circuito, superior a la presión de vapor del agua a la máxima temperatura de tintura.
- Tener dispositivos para la toma de muestras y adición de productos químicos a altas temperaturas.
- Tener intercambiadores de calor y frío.
- Poseer porta materiales adecuados.

Figura 6. Esquematación simplificada de la forma como se efectúa la tintura de bobinas cruzadas en autoclaves de teñido.



Un recipiente metálico A, que contiene la solución de tintura y en el que se introduce un portamaterial B, conteniendo la materia textil a teñir, de forma que cuando el líquido es impulsado al interior del recipiente A por los conductos C o D, puede atravesar la materia en una u otra dirección (I -> E o E -> I) de una manera uniforme.

Donde : I -> E representa el movimiento del flujo de baño desde el interior hacia el exterior a través del material a teñir.

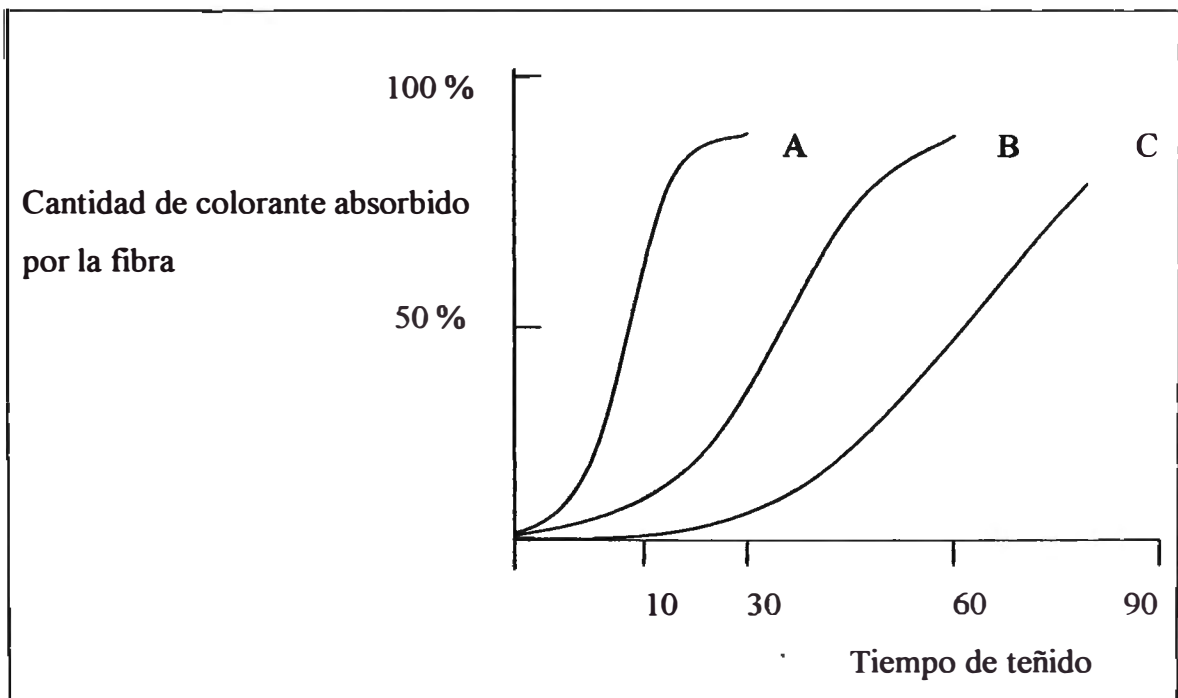
E -> I representa el movimiento del flujo de baño desde el exterior hacia el interior a través del material a teñir.

V. CONDICIONES OPTIMIZADAS BASADAS EN LA TEORÍA DEL TEÑIDO DE LAS FIBRAS ACRÍLICAS.

5.1 LA FIBRA

La subida de colorante en la fibra depende de la velocidad de absorción de la misma. La velocidad de absorción representa la cantidad de colorante que ingresa dentro de la fibra por unidad de tiempo con relación a la cantidad total de colorante utilizado. Para obtener un nivel de teñido óptimo, el colorante debe ir uniformemente dentro de la fibra desde el inicio del teñido. Esto es solo posible si la velocidad de absorción no es muy alta. La velocidad de absorción es importante para determinar si un teñido es económico o no, ya que esta afecta la cantidad de tiempo requerido para el teñido. En otras palabras la evolución de la curva del baño de agotamiento.

Figura 7



- A representa una velocidad de teñido alta. Se puede obtener un teñido disparejo.
- B representa la curva más favorable. Tiempo de teñido 60 min aproximadamente.
- C El tiempo de teñido es muy lento. El tiempo total de teñido es 90 – 120 min. Esta curva está muy lejos de ser utilizada en la practica.

La velocidad de absorción se incrementa en forma exponencial con el aumento de temperatura, una vez pasada la temperatura de transición vítrea de segundo orden. Este incremento es independiente de la clase de colorante catiónico utilizado en el teñido. Por ejemplo, en el Orlón 42 la velocidad de absorción es 100 % por cada 3 °C, este valor es similar para otras fibras acrílicas. En las fibras obtenidas por hilatura en seco es menor.

La velocidad de absorción decrece de acuerdo al cuadrado de la cantidad de colorante utilizada.

La curva de teñido debe ser elegida de modo que durante el proceso de teñido no más del 15 – 20 % del colorante ingrese dentro de la fibra cada 10 min.

De acuerdo al proceso de hilatura, se aprecia que la fibra obtenida por el medio de hilatura en húmeda presenta mayor capacidad tintórea debido a la mayor cantidad de espacios libres donde puede ingresar el colorante. En el resultado final se aprecia un textil de mayor intensidad de teñido con el mismo porcentaje de colorante empleado que en una fibra de hilatura en seco. Experiencias realizadas en producción con fibras provenientes de hilatura en húmedo de la firma FISIFE de Portugal, (con propiedades colorísticas de $S = 1,9$ y $V = 2,6$), muestran un rendimiento mayor del colorante Astrazon en un rango entre 20 – 25 % dependiendo de la tricromía utilizada. En consecuencia, con la fibra hilada en húmedo se obtiene un mejor rendimiento de colorante. Claro es necesario un mayor uso de retardante, lo que evitaría una velocidad de absorción muy rápida y en consecuencia un teñido parejo. El uso de mayor cantidad de retardante no es

ningún inconveniente considerando que el colorante tiene un costo de 2 a 3 veces mayor que el retardante.

5.2 EL COLORANTE

Es importante elegir colorantes con índice de combinación K similares dentro de una tricromía para de esta forma poder obtener teñidos parejos y reproducibles de partida a partida. El índice K varía de 1 a 5 para los diferentes colorantes.

Colorantes con índice K idéntico o semejante poseen en las tinturas de combinación una velocidad de montaje parecida.

Un colorante con menor índice K se agota antes que un colorante con índice K más alto.

Para teñir el DRYTEX se recomienda utilizar colorantes con índice K cercano a 3.

Para teñir matices muy claros se emplea preferentemente colorantes con baja afinidad, K= 5.

Si se debe utilizar colorantes con un índice K bien diferenciado, el colorante con índice mayor sube a la fibra siempre posteriormente por lo que requiere un tiempo de tintura más prolongado.

El factor de saturación de colorante de cada colorante varía entre 0,15 y 1,20. Si se desea utilizar un porcentaje p de colorante para teñir una determinada fibra, siempre debe cumplirse que:

Ecuación 16

$$(p * f) < S$$

Donde:

- p = porcentaje de colorante utilizado.
- f = Índice de saturación del colorante.
- S = Valor de saturación de la fibra.

Si el producto $(p * f)$ es mayor que S entonces el baño no agotará por completo y quedará colorante en el baño remanente. Bajo estas condiciones puede ocurrir que en las mezclas, un colorante de alta afinidad desplace de la fibra a un colorante de poca afinidad, de forma que se produzca un efecto de bloqueo.

Cuando se usa varios colorantes al mismo tiempo, se debe calcular por separado el producto $(p * f)$ para cada uno de ellos y sumar los valores obtenidos. La suma debe ser menor que S . En esta sumatoria también se debe considerar el obtenido por el retardante que también tiene su propio valor f .

Ecuación 17

$$\sum(p_i * f_i) = A < S$$

Es así como podemos tener una fórmula para la saturación relativa:

Ecuación 18

$$S_{Rel} = A / S$$

Una buena subida del colorante es obtenida cuando se alcanza un cierto nivel de saturación de la fibra, el cual depende de las condiciones de trabajo. Se ha encontrado para el caso del Orlon 42 que es una fibra obtenida por hilatura húmeda, muy buenos resultados para una saturación relativa de 90 % , y en el caso del Drytex se ha encontrado que buenos resultados se pueden obtener con una saturación relativa de 60-70 %. La saturación relativa varía de acuerdo al tipo de fibra utilizado.

Los colorantes catiónicos tienen muy baja capacidad de migración. Diferentes colorantes catiónicos requieren diferentes grados de saturación relativa de la fibra. Una afinidad alta del colorante requiere un alto nivel de saturación relativa de la

fibra, lo que se traduce en que se requiere mayor cantidad de retardante en el teñido.

Así se tiene como regla general:

Cuanto más bajo el índice de combinación K de los colorantes y más alto la velocidad V de tintura de la fibra, la saturación relativa de la fibra debe ser mayor.

Debido a que la mayoría de colorantes empleados actualmente tienen índice $K = 3$ (ideal para obtener colores medios a oscuros), se tiene problemas de reproductividad de colores grises y beige claros, por lo que se recomendaría adquirir una tricromía con índice $K = 5$, como los siguientes colorantes:

Amarillo Astrazon GLD	$K = 5$
Rojo Astrazon F3BL	$K = 5$
Azul Astrazon FGL	$K = 5$

5.3 EL PROCESO DE TEÑIDO

La fibra acrílica absorbe muy lentamente los colorantes por debajo de su T_g (temperatura de transición vítrea) que varía entre 85– 90 °C.

Al acercarse a la T_g la velocidad de absorción de colorantes catiónicos aumenta considerablemente. Por esta razón en el teñido se debe controlar que el aumento de temperatura sea lento y uniforme entre 85 – 100 °C. La temperatura final no debe pasar de 103 – 104 °C debido a que por encima de estas temperaturas la fibra tiene mayor tendencia al encogimiento. En el caso de teñido de conos, estos pueden apretarse debido a la alta temperatura y ocasionar manchados. En el caso de teñido de madejas estas pueden apretarse contra las barras al encogerse más de lo esperado y dañar los hilados en los puntos de contacto (efecto plancha).

Las condiciones de teñido recomendadas serían:

- En la autoclave de teñido ingresar detergente no iónico, dispersante no iónico.
- Subir la temperatura a 70 °C, en forma rápida.
- Introducir el material.
- Regular el pH a 4,5 con ácido acético.
- Ingresar el retardante en este caso el Astragal PAN
- Agregar el colorante.
- Subir la temperatura de 70 a 85 °C en 10 min.
- Subir la temperatura de 85 a 100° C ó 104 °C a razón de 1° C cada 2,5 min., considerando que el objetivo final es tener un teñido parejo, ya que una vez sobrepasada la temperatura de transición vítrea, la velocidad de teñido se incrementa en forma exponencial respecto al aumento de la temperatura.
- Mantener la temperatura a 100 °C ó 104 °C para conseguir el agotamiento del colorante y se fije bien a la fibra.
Para colores claros se da un tiempo de 30 min de agotamiento.
En el caso de colores medios 60 min de agotamiento.
Y finalmente para colores oscuros 90 min. de agotamiento.
- Enfriar el baño hasta 60 °C en 20 min para no afectar la suavidad de teñido.
- Agregar 4 % de suavizante catiónico durante el enfriamiento.
(Ver curva de teñido en el apéndice 1B página 65).

Con el procedimiento arriba mencionado y considerando los tiempos de ingreso de auxiliares, colorante y material a ser teñido (5 min), obtenemos los siguientes tiempos totales optimizados de teñido:

Colores claros	113 min.
Colores medios	143 min.
Colores intensos	173 min.

De lo anterior se obtiene un tiempo ponderado optimizado de teñido:

$$10 \% (113 \text{ min}) + 90\% [(143 \text{ min} + 173 \text{ min}) / 2] \quad 153,5 \text{ min}$$

5.4 LOS AUXILIARES DE TEÑIDO

Los auxiliares de teñido deben ser de carácter no iónico para evitar cualquier tipo de precipitación. Y utilizar Acetato de Sodio para estabilizar el pH de teñido durante todo el proceso del mismo.

Por lo visto en el cuadro comparativo de los retardantes, se concluye que es más conveniente el empleo de un retardante catiónico.

Los retardantes catiónicos tienen un índice K conocido. Es recomendable que el índice K del retardante sea menor que el de los colorantes.

El uso de Astragal PAN con $K = 2,0$ $f = 0,61$ es adecuado debido a que tiene un índice K generalmente menor que el de los colorantes empleados $K = 3$.

5.5 LA MAQUINARIA

Se recomienda para el teñido en madejas el uso de máquinas tipo armario ya que permiten una relación de baño de 1 : 5 debido a que tienen una distribución más eficiente del material a ser teñido. Con la reducción de la relación de baño también se consigue una optimización en el consumo de productos auxiliares, y de la cantidad de material por teñido, con lo que se logra un ahorro en la energía, agua, mano de obra y capacidad instalada. La marca de maquinaria puede ser OBEM. Este tipo de máquinas permiten un control automatizado del proceso elevando así los niveles de producción y reproducibilidad de laboratorio, planta y de partida a partida. Ver figuras 8 y 9.

Figura 8. Máquina de teñir madejas tipo armario

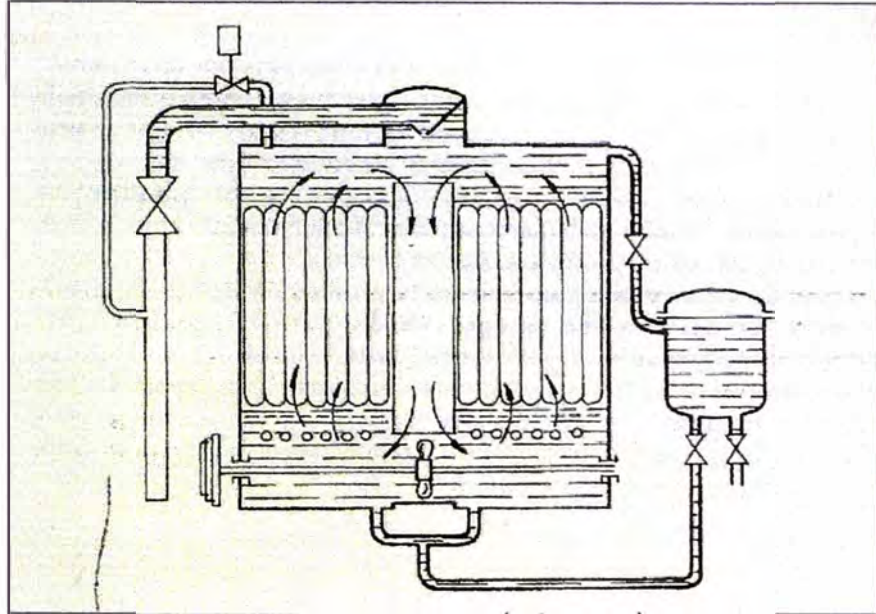
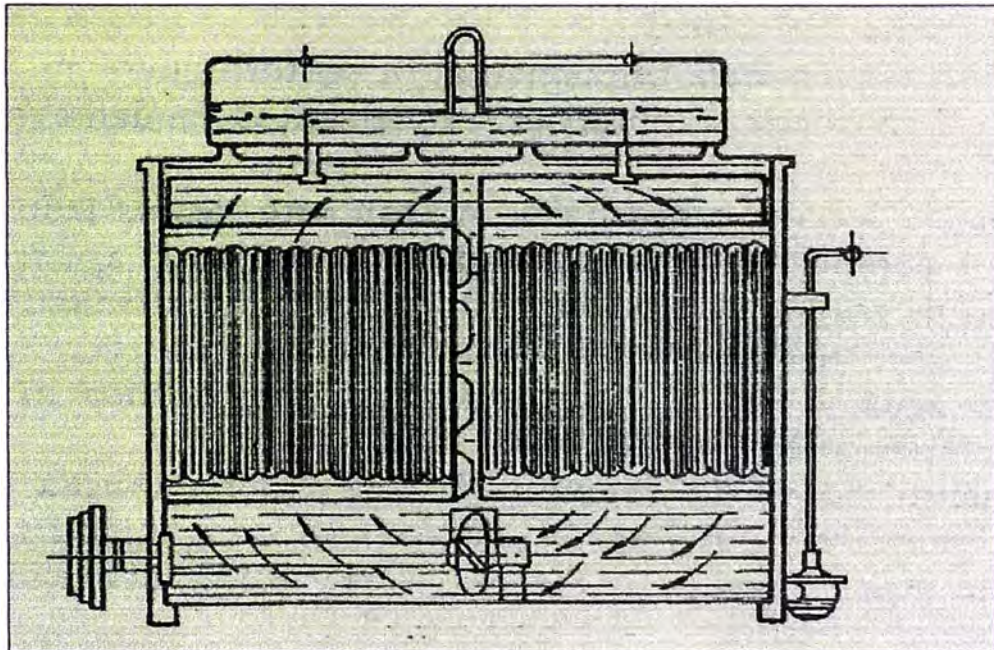


Figura 9. Máquina de teñir madeja tipo armario con compartimiento



5.6 LOGROS DE LA OPTIMIZACION

A partir de las condiciones actuales y las condiciones optimizadas de teñido se puede elaborar el siguiente cuadro comparativo.

Factores	Condiciones actuales	Condiciones optimizadas
Fibra	Fibra obtenida por medio de hilatura en seco.	Fibra obtenida por medio de hilatura en húmedo, se logra tener un 20 -25 % más en el rendimiento del colorante.
Colorantes	Los colorantes empleados con K = 3 son adecuado para colores medios y oscuros pero presentan problemas en colores claros.	En colores claros se recomienda colorantes con K = 5 con lo cual se consigue teñidos parejos y reproducibilidad partida a partida.
Temperatura	La temperatura inicial de teñido es 60 °C.	La temperatura inicial de teñido Está cerca de la temperatura de transición vítrea, es decir 85 °C.
Auxiliares	Retardante catiónico, dispersante no iónico, regulador de pH, detergente no iónico, suavizante catiónico	Retardante catiónico dispersante no iónico regulador de pH, detergente no iónico, suavizante catiónico, estabilizador de pH (acetato de sodio).
Maquinaria	Autoclaves de teñido de forma cilíndrica vertical con RB 1: 30 en Madejas	Máquinas tipo armario con RB 1: 5 en madejas

Considerando el proceso de teñido optimizado se podría incrementar la productividad de cada máquina de acuerdo a lo siguiente:

Proceso actual:

Se toma como base 30 días por mes.

Tiempo disponible en un mes en una máquina

$$30\text{días} * 24\text{horas/día} * 60\text{min/hora} = 43200 \text{ min}$$

Total de procesos de teñido realizados en un mes en una máquina de teñido:

$43200 \text{ min} / 207 \text{ min} / \text{proceso de teñido} = 208,7 = 208 \text{ procesos de teñido.}$

Proceso optimizado:

Se considera el mismo tiempo disponible.

Total de procesos de teñido realizados en un mes en una máquina de teñido:

$43200 \text{ min.} / 153,5 \text{ min.} / \text{proceso de teñido} = 281,4 = 281 \text{ procesos de teñido.}$

Los cálculos arriba realizados nos permiten incrementar la productividad de teñido en:

$\frac{(281 - 208) \text{ procesos de teñido}}{208 \text{ procesos de teñido}} * 100 = 35,1 \%$

Si adicionalmente se trabaja en máquinas de RB 1 : 5 en lugar de las máquinas actuales de RB 1 : 30 se le logra incrementar la capacidad instalada de teñido en 5 veces.

VI. CONCLUSIONES

- Conociendo la temperatura de transición vítrea de la fibra se ha podido optimizar la temperatura inicial de teñido.
- Con el uso apropiado de los índices de combinación de los colorantes se puede escoger mejor los colorantes de acuerdo al color a teñir. Así tenemos que para teñir colores claros se debe usar colorantes con índice $K=5$, en colores medios a oscuros, emplear colorantes con índice $K=3$, y para colores muy intensos utilizar colorantes con índice de combinación $K=1$.
- El índice de combinación de los colorantes también nos permite elegir el retardante catiónico adecuado el cual debe ser uno que tenga menor K que el de los colorantes.
- La fibra obtenida por hilatura húmeda da un mejor rendimiento del colorante, con lo cual se puede tener un ahorro de 20 –25 % de colorante.
- La sumatoria de los siguientes factores $\sum p_i f_i$ de los colorantes y retardante utilizado en un teñido nunca debe ser mayor que el valor de saturación de la fibra ya que de caso contrario quedaría colorante remanente en el baño sin agotar después del proceso de teñido. (Donde p_i es el porcentaje del colorante o retardante i empleado en el teñido y f_i el índice de saturación del colorante o retardante utilizado en el teñido).
- Antes de empezar un teñido los parámetros a observar son: el tipo de fibra donde nos interesa su índice de saturación S y su velocidad de tintura V ; la temperatura de transición vítrea, el índice de combinación de los colorantes y retardantes K y factor de saturación de los colorantes y retardante. Todo esto con la finalidad de obtener un teñido correcto y económico.

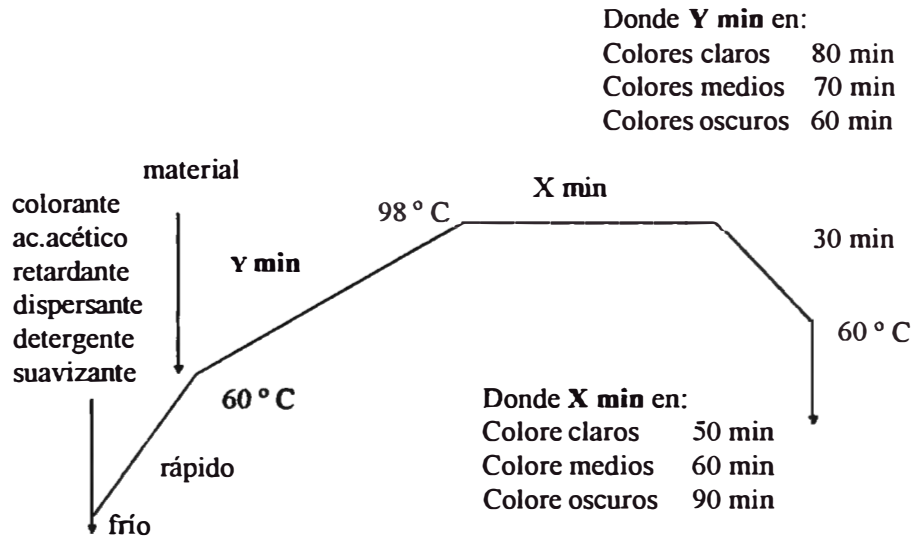
- El proceso de teñido del acrílico con colorantes catiónicos es muy sensible a la temperatura, por lo que las eventuales irregulares en la distribución de la temperatura en diferentes sitios del género provocaría un teñido disparejo, por consiguiente el empleo de un agente retardante que impida una fijación desigual del colorante se hace necesaria.
- Al cambiar las maquinas de RB 1:30 por máquinas de RB 1:5 se incrementará la capacidad de teñido de cada una en 5 veces más. A su vez se conseguirá una disminución en el consumo de auxiliares de teñido, agua y energía.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Breckmann W, Jakbos, Karlhans. Astrazon . Folleto Rapid dyeing Method for Acrylics. Alemania 1975.
- 2.- Breckmann W. Folleto Modo de actuar los productos auxiliares en la tintura de fibras poliacrílicas con colorantes catiónicos. Alemania 1975.
- 3.- Costa M. Las fibras textiles y su tintura. Química textil vol .II. Lima 1990.
- 4.- Chrem M. Producción de fibras acrílicas. Sudamericana de fibras. Lima 2000.
- 5.- Zaldivar, W. Separata Proceso de hilatura fibras Sintéticas. Lima 2004.
- 6.- Brañez, M. Separata de Innovaciones en la maquinaria textil. Lima 2004.
- 7.- Sudamericana de Fibras. Datos técnicos de la fibra acrílica Drytex. Lima 1998.
- 8.- Dystar. Catalogo de colorantes Astrazon. Alemania 2004.
- 9.- Wade L.G, JR. Química Orgánica. México 1993.

VIII. APÉNDICES

1A. CURVA DE TEÑIDO ACTUAL



1B. CURVA DE TEÑIDO OPTIMIZADA

