



67
2ej

Universidad Nacional Autónoma
de México

Facultad de Química

FUNDAMENTOS TECNICOS PARA EL TEÑIDO DE FIBRA POLIESTER
HILADA EN EMPAQUETADOS TEXTILES

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

JOSE RICARDO HERNANDEZ CABRERA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN
México. D. F.

1993



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

RESUMEN

1 INTRODUCCION

2 ANTECEDENTES

2.1 PROCESOS Y MAQUINARIA

- 2.1.1 PROCESO POR AGOTAMIENTO
- 2.1.2 TINCION ESTATICA
- 2.1.3 MAQUINARIA PARA TERNIR EMPAQUETADOS TEXTILES
- 2.1.4 FUNDAMENTOS DE FLUIDO DINAMICA
- 2.1.5 BOMBAS

2.2 PREPARACION DEL HILO PARA TINCION

- 2.2.1 GENERALIDADES
- 2.2.2 PREPARACION DEL HILO
- 2.2.3 ENROLLADO
- 2.2.4 TERMOFIJADO
- 2.2.5 SEGUNDO ENROLLADO

2.3 PRODUCTOS PARA EL TERNIDO

- 2.3.1 GENERALIDADES SOBRE COLORANTES
- 2.3.2 CLASIFICACION
- 2.3.3 METODOS DE APLICACION
- 2.3.4 SELECCION DEL COLORANTE
- 2.3.5 PRODUCTOS AUXILIARES
- 2.3.6 SELECCION DE PRODUCTOS AUXILIARES PARA EL TERNIDO

2.4 TERNIDO

- 2.4.1 GENERALIDADES
- 2.4.2 MODELOS TEORICOS
- 2.4.3 MODELOS EMPIRICOS
- 2.4.4 GEOMETRIA DEL EMPAQUETADO
- 2.4.5 ACABADO

3 OBJETIVOS

4 DISCUSION Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN

En este trabajo se indica el estado actual de la investigación de los fundamentos técnicos para la tinción de fibras poliéster y los objetivos contemplados en su realización (capítulo 3).

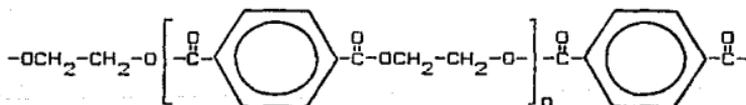
Se resumen los diferentes tipos de proceso y maquinaria para teñir empaquetados textiles, con énfasis en los aspectos fluidodinámicos (cap. 2.1). Se analizan las operaciones involucradas en la preparación del hilo para su tinción (cap. 2.2) y se esboza la metodología para la selección de colorantes y productos auxiliares para el teñido (cap.2.3), así como las generalidades y modelos desarrollados para el tratamiento de esta operación (cap.2.4) y una aplicación de los mismos en la tintura de una fibra poliéster hilada en empaquetados textiles que ilustran la metodología teórico-práctica y el alcance del método SUPROMA en la resolución de problemas tintóreos (cap. 4).

Se incluyen las observaciones de los resultados obtenidos consideradas como relevantes, a manera de conclusiones (cap. 5) y la bibliografía consultada para su consecución.

1 INTRODUCCION

La gran producción de fibras y filamentos de poliéster, hace indispensable adaptar continuamente los avances científicos más recientes a la tintura de este polímero, en hilo o pieza. Para esto es necesario un amplio conocimiento de las características de los colorantes dispersos, del comportamiento de los productos auxiliares y la adaptación de tecnología al proceso, para buscar las condiciones óptimas y lograr una producción económica.

Uno de los poliésteres más importantes es el tereftalato de polietileno (Polietileno tereftalato, PET, Dacron, terieno o Milar (13,21):



Su síntesis se basa en una reacción de transesterificación, llevada a cabo entre el tereftalato de dimetilo y un exceso de etilenglicol a 200° C en presencia de un catalizador básico, de la reacción se desprende metanol como subproducto y un nuevo éster formado por una mol de tereftalato y dos de etilenglicol, este nuevo éster se calienta a mayor temperatura (260-280°C) destilando el etilenglicol y produciéndose la polimerización.

Este polímero puede hilarse en fibras por fusión; la forma de hilarlo o presentarlo le dan su nombre comercial y es la materia prima general para la fabricación de hilos de costura que por su resistencia de 5-9 gramos/denier (denier = peso - en gramos por cada 9000 metros de hilo), sus propiedades de elongación y resistencia térmica lo hacen ideal para este fin. A los demás poliésteres producidos se les dan otras aplicaciones como películas, cordeles, resinas y otros usos específicos. (17).

En este trabajo cuando se hable de poliéster se refiere al polietilén tereftalato.

El poliéster es una fibra hidrófoba por lo que su tizado (considerado hasta hace poco como un problema), se realiza con colorantes dispersos que son afines a este tipo de polímeros, son insolubles en agua y se presentan en el mercado en finas dispersiones líquidas o en polvo.

Las exigencias actuales de calidad en los hilos, han provocado un sinnúmero de investigaciones que solo han desarrollado las empresas con un servicio técnico adecuado lo que hace que se mantengan en los primeros niveles de calidad y, por consiguiente en el mercado.

El objetivo del presente trabajo es efectuar un análisis de los parámetros involucrados en el proceso de tintura de la fibra poliéster hilada, desde la preparación del empaquetado textil hasta el acabado.

Se pretende que la exposición de los fundamentos técnicos y científicos de este tema, contribuya a su difusión y proporcione un panorama concreto de cada uno de los pasos del proceso específico para tinción de PET hilado en empaquetados textiles.

2 ANTECEDENTES

2.1 PROCESOS Y MAQUINARIA (6)

La clasificación de los diferentes tipos de proceso de tinción y de su maquinaria se efectúa bajo el criterio de agrupar el equipo en función del sistema por el cual el colorante va siendo fijado al material textil, los métodos se citan a continuación. (6)

2.1.1 Proceso por agotamiento

En este tipo de proceso, el colorante que se encuentra disuelto o disperso en el seno de una solución, se fija en el material textil como consecuencia de una transferencia desde la solución hacia la fibra, que se produce por la fuerza de afinidad entre el colorante y el material; estos sistemas engloban todos aquellos procedimientos caracterizados por producirse una disminución de la concentración del colorante en la solución (agotamiento) y un aumento de la concentración del mismo -

en la fibra. La relación de baño (R/B) en estos sistemas es generalmente elevada y oscila entre 1/3 a 1/6.(3)

Dentro de los procedimientos por agotamiento, los distintos tipos de maquinaria se diferencian según la relación de movimiento entre la materia textil y la solución de tintura.

2.1.2 Tinción estática (6)

Las máquinas con la materia textil estática y la solución tintórea en movimiento se emplean cuando el material puede resultar perjudicado si tuviese una agitación muy elevada en la solución tintórea. Así, en la floca, el peinado y gran parte del hilado, la tintura se efectúa con la materia textil sin movimiento y haciendo circular la solución a través del material; en estos casos la materia textil recibe el nombre de empaquetado textil que ofrece una resistencia al paso de la solución, ésta debe tener la suficiente energía dinámica para fluir a través de las fibras del mismo y propiciar de ese modo la transferencia del colorante.

Existe otro tipo de máquinas similares en operación, pero son utilizadas para materiales que no sufren deterioro por el movimiento de éste en la solución tintórea. Así como máquinas con la solución tintórea y el material en movimiento, por ejemplo, el torniquete y el torniquete de alta temperatura. Figs. 2.1 y 2.2

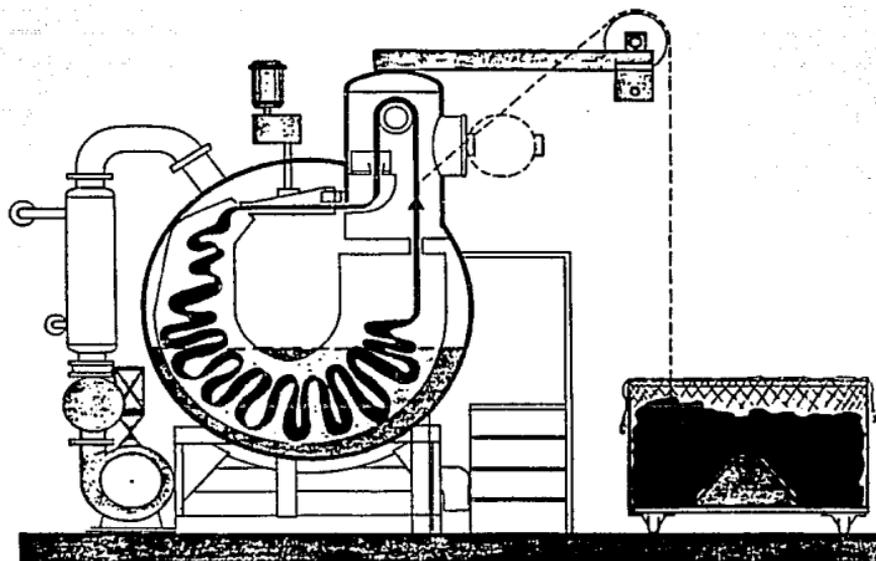


Fig. 2.1 Esquema de un torniquete cubierto.

Solución tintórea estática (11).

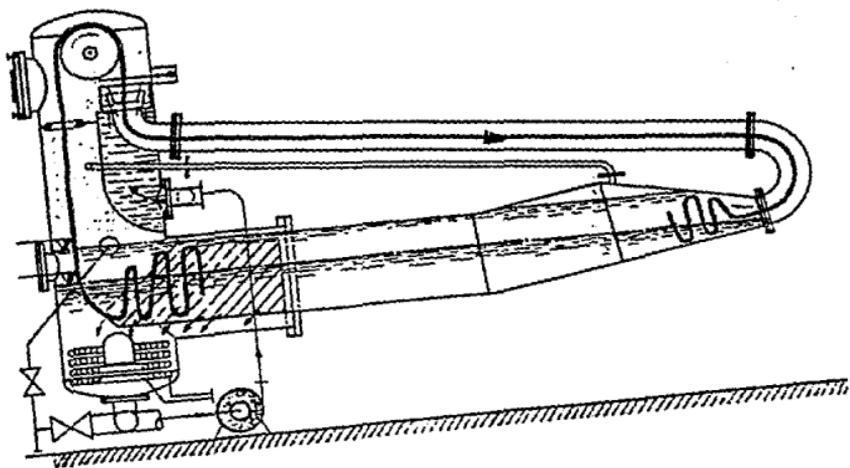


Fig. 2.2 Esquema de un torniquete para alta temperatura.
Solución y material téxtil en movimiento (11).

2.1.3 Maquinaria para teñir empaquetados textiles (6)

El equipo empleado para el teñido de empaquetados textiles debe tener las siguientes características generales:

- a) Operar en un circuito cerrado que evite el fenómeno de caviatación de la bomba.
- b) Estar equipado con una bomba, de caudal y presión suficientes que permita la tintura de empaquetados de diferentes características estructurales.
- c) Debe llevar un dispositivo que permita cambiar el sentido del flujo del baño a través del material, sin que se produzcan golpes de ariete que deformen el empaquetado.
- d) Debe poseer un sistema que comunique una presión estática a todo el circuito, superior a la presión de vapor del agua a la máxima temperatura de tintura.
- e) Contar con dispositivos para toma de muestras a altas temperaturas y para adición de productos químicos.
- f) Tener intercambiadores de calor que sean capaces de obtener rápidamente las temperaturas deseadas.
- g) Contar con un portamateriales que permita una distribución uniforme de la solución tintorea en la materia textil.

En la figura 2.3 se incluye un diagrama representativo de un autoclave para tintura a alta temperatura equipado con una bomba centrífuga (Krantz), el tanque de expansión está a-

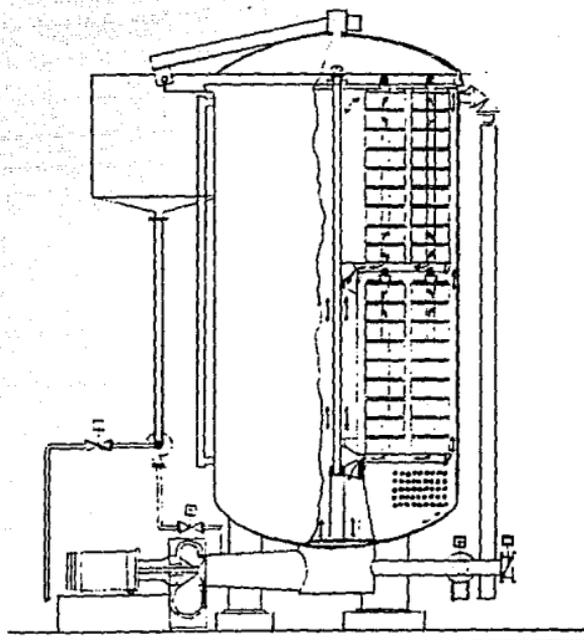


Fig. 2.3 Autoclave de teñido a alta temperatura (11).

bierto a la atmósfera donde es posible adicionar productos a esas temperaturas e inyectarlos al recipiente de teñido por medio de la bomba adicional que tiene esta función y la de comunicar la presión estática necesaria para la tintura, ésta también puede introducirse mediante un gas comprimido.

Generalmente los aparatos de tintura poseen una buena velocidad de calentamiento que permite obtener gradientes entre 5-8°C/min., los gradientes de enfriamiento son inferiores.

2.1.4 Fundamentos de fluidodinámica (6,14)

El sistema para teñir empacados textiles representado en la figura 2.4, se puede comparar a un circuito cerrado en donde la solución tintorea se encuentra con resistencias fijas, válvulas, codos, tramos rectos de tubería y una resistencia variable: la materia textil a teñir.

La forma más práctica de obtener las pérdidas de energía es midiendo la presión estática, dinámica y total. Para este caso tenemos el fluido en movimiento por lo que la presión estática es la presión que ejerce un fluido sobre la pared del conducto que se desplaza paralelamente a ella. La presión dinámica P_d es la presión debida al movimiento del fluido. La presión total P_t es la suma algebraica de la presión estática y presión dinámica.

$$P_t = P_s + P_d = P_s + v^2 f/2g, \dots \dots \dots 2.1)$$

La determinación de dichas presiones se puede efectuar con la ayuda de un manómetro disponiéndolo de las formas que se indican en el esquema 2.5.

En la mayoría de las autoclaves empleadas para la tinctura, los manómetros están dispuestos como se indica en la modalidad a), es decir miden las presiones estáticas en el interior del circuito. Para un fluido que pasa por tubería con diferente diámetro el arreglo común es el mostrado en la fig. 2.6.

Existe una transformación continua de presión dinámica en presión estática y recíprocamente este cambio lleva una pérdida de presión debido al rozamiento existente en el circuito, de acuerdo a la cual se tiene la ecuación 2.2):

$$(P_{t1} - P_{t2}) = (P_{s1} - P_{s2}) + 1/2 (v_1^2 - v_2^2) \rho / g \dots 2.2)$$

siendo $(P_{t1} - P_{s2})$ la pérdida permanente de presión como consecuencia de la transformación de energía.

La ecuación de Darcy para flujo de fluidos a través de medios porosos es : (15)

$$P_1 - P_2 / L = \alpha \mu v / g_c \dots 2.3)$$

Donde:

P_1 = presión absoluta corriente arriba kgf/m^2

P_2 = presión absoluta corriente abajo kgf/m^2

L = espesor de la sección transversal en pies

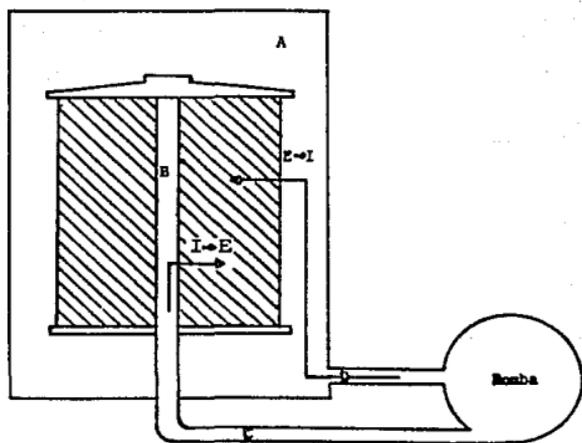


Fig. 2.4 Esquemización de la tintura de un empaquetado.

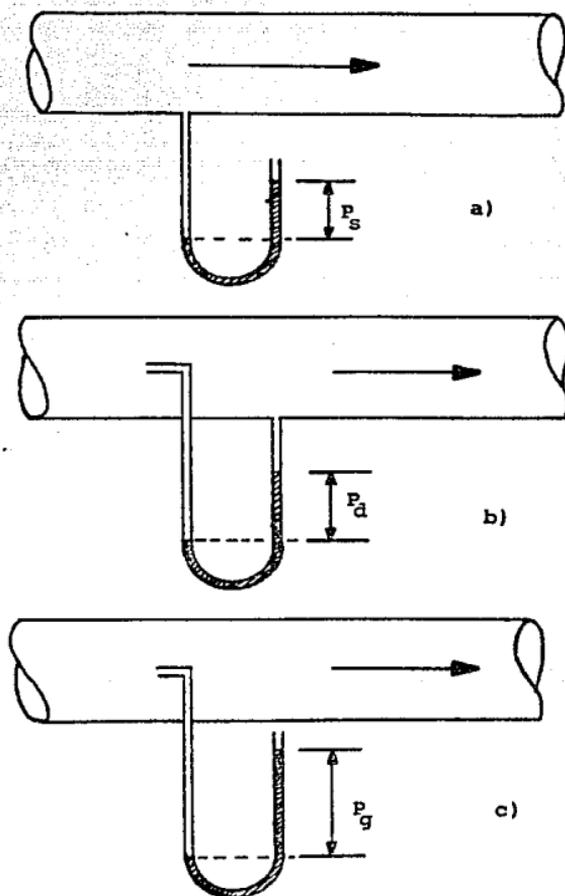


Fig. 2.5 Conexión de manómetros para determinar: a) presión estática b) presión dinámica c) presión total.

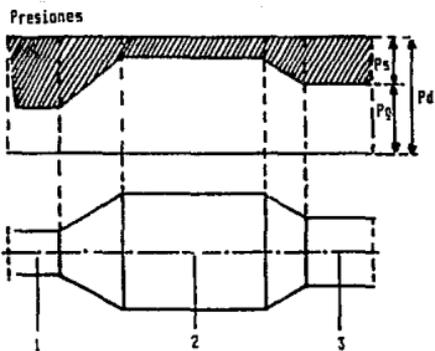


Fig. 2.6 Tubería de diámetro variable.

V = Velocidad superficial del fluido basado en la sección transversal total, m/s

μ = Viscosidad del fluido kg/m.s

$g_c = 9.81 \text{ kg m/kgf.s}^2$

k = coeficiente de permeabilidad unidad Darcy

La aplicación de esta ecuación a empaquetados textiles se realizó con la siguiente transformación (12).

$$Q / A = V = (B / \mu) \Delta P / L \dots\dots\dots 2.4)$$

Despejando:

$$\Delta P = LV(\mu/B) \dots\dots\dots 2.5)$$

En Donde:

ΔP = Caída de presión que experimentó el fluido al pasar a través del empaquetado.

μ = Viscosidad del fluido.

Q = Caudal del fluido que atraviesa el empaquetado

A = Superficie del sólido normal a la dirección del fluido.

L = Espesor del cuerpo que atraviesa el fluido.

V = Velocidad de acceso del fluido al empaquetado.

B = Permeabilidad específica del sólido.

La aplicación de esta fórmula requiere de la determinación de B , ésta dependerá del tipo de empaquetado por lo que su valor se debe obtener experimentalmente. (12)

2.1.5 Bombas (10,22)

Para el teñido de empacados las bombas utilizadas tienen una importancia relevante ya que de éstas depende el movimiento del fluido a través del empacado y otros parámetros que influyen en el teñido, por lo que se deben conocer todas las características de dichas bombas.

Existen tres tipos de bombas utilizadas en la maquinaria de teñido: las bombas centrífugas, donde el líquido es captado por el rotor, y proyectado a la periferia por la fuerza centrífuga y una partícula de líquido tomada aisladamente sigue una trayectoria constantemente situada en un plano perpendicular al eje de rotación.

Las bombas con impulsor tipo hélice, donde el líquido es captado por el impulsor es proyectado axialmente; la trayectoria de una partícula está situada en un cilindro de revolución. En las bombas helicocentrífugas se tienen características intermedias entre las dos anteriores; la trayectoria de una partícula líquida es una curva trazada sobre un cono o sobre una superficie de revolución, en la cual la generatriz es una curva plana como se puede apreciar en la figura 2.7.(22)

Las bombas helicocentrífugas c) y d) son las más utilizadas para el movimiento de los baños de tintura, debido a que éstos por lo general contienen partículas disueltas como son los colorantes y dispersantes a base de polímeros de ligno-

sulfonato de sodio, mismos que tienden a separarse de la solución debido a la acción de la fuerza centrífuga de las otras bombas. (22)

Los parámetros que caracterizan a las bombas son los siguientes: (10)

- a) Caudal: Es el volumen de líquido transportado en la unidad de tiempo, suele darse en litros/hora o bien en litros/hora/kg de materia textil.
- b) Altura manométrica total: Está definida por la igualdad:

$$H = H_d - H_s + (V_2^2 - V_1^2) / 2g \dots\dots\dots 2.6)$$

Donde:

H = Cabeza total de la bomba o altura manométrica medida en metros de columna de agua.

H_d = La cabeza de descarga medida en metros de columna de agua.

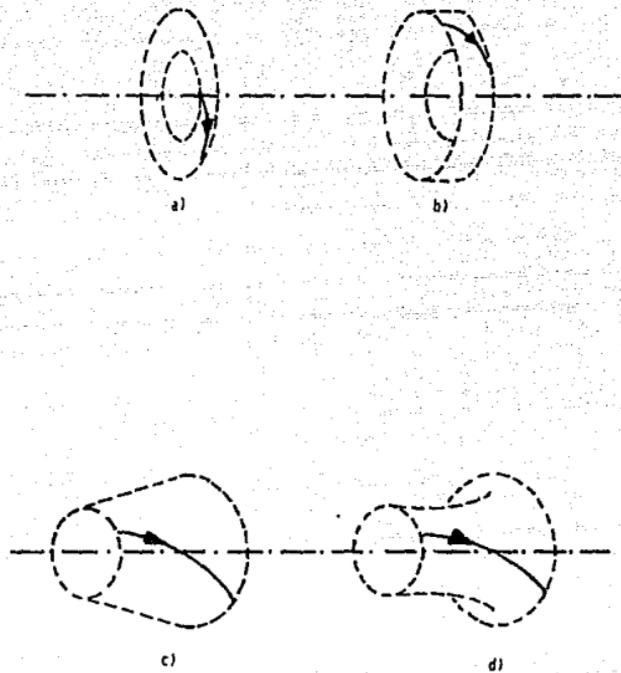
H_s = La cabeza de succión medida en metros de columna de agua.

V₂ = Velocidad de salida en metros por segundo.

V₁ = Velocidad de entrada en metros por segundo.

- c) Velocidad Específica: Se define como el número de vueltas por minuto necesarias para suministrar un caudal de un metro cúbico por segundo a una altura de un metro.

$$n_s = NQ/H^3 \dots\dots\dots 2.7)$$



a) Bomba centrífuga

b) Bomba de hélice.

c) y d) Bomba helicocentrífuga

Fig. 2.7 Líneas de flujo en bombas.

- N = Velocidad en rpm
Q = Caudal en metros cúbicos por minuto.
H = Altura manométrica en metros.

- d) Tipo: Es necesario conocer el tipo de la bomba a utilizar y la influencia que esta puede ejercer sobre la solución del baño de tintura.

Por otra parte es conocido que en los empaquetados -- textiles se producen a veces zonas de menor densidad o de separación de determinadas zonas del portamateriales, que producen un paso preferencial de la solución por las mismas ya que ofrecen menor resistencia al flujo, en este caso la pérdida de energía que se produce es considerable y en algunos tipos de bombas centrífugas esta caída es tan elevada que la solución no tiene la presión suficiente para pasar por las zonas más densas del empaquetado dando origen a tinturas desiguales.

Otro aspecto a tener en cuenta en las bombas centrífugas son las oscilaciones que se producen en los puntos de funcionamiento de la bomba cuando trabaja a bajos caudales, estas oscilaciones con variaciones de presión pueden producir distorsiones en el empaquetado, creándose zonas con diferente flujo de la solución sobre y a través del mismo.

2.2. PREPARACION DEL HILO PARA TINCION(15,17)

2.2.1 Generalidades.

La preparación del hilo lleva consigo una serie de procesos que determinan las características y propiedades que debe cumplir para su comercialización, como son: grosor, resistencia, elongación, etc. muy importantes para su utilización industrial.

El hacer el hilo lleva a realizar operaciones de cardado, torcido y estirado, cuando la materia utilizada es fibra corta. Existen otras presentaciones de fibra como el filamento continuo, estirado para hacer hilos de alta resistencia en costura de cuero. Otra presentación del poliéster es el hilo texturizado, éste proviene de dar al filamento continuo un tratamiento térmico, estirándolo y torciéndolo para darle una apariencia mucho más gruesa y rizada, la utilización de este filamento se encuentra en los dobles delicados de prendas muy delgadas, en la fabricación de calcetines y en la fabricación de telas en cables delgados.

2.2.2 Preparación de hilo.(15,19)

La preparación del hilo para el teñido es de suma importancia debido a que de ella dependen parte de las características con las que se presenta en el mercado.

El hilo como se conoce normalmente se obtiene de la

hilatura y se le somete a un proceso de enrollado inicial, termofijado y enrollado final, este proceso lo siguen algunas empresas otras no termofijan o lo hacen después del tejido, también se puede termofijar y teñir a la vez fijando el colorante con aire caliente (15).

2.2.3 Enrollado.

El hilo que sale de la hilatura se somete a un enrollado inicial que tiene por objeto prepararlo para darle la fijación necesaria a las torsiones (termofijado), para esto debe dársele una tensión determinada que variará con el calibre, por lo tanto las propiedades en elongación y resistencia se verán disminuidas en una cantidad que dependerá del castigo o acción del rozamiento sobre el hilo. Los valores de la tensión normalmente usados para los calibres comunes en el mercado son:

TENSIONES EN EL ENROLLADO INICIAL

CALIBRE (fibra corta)	TENSION INICIAL (gramos)
SL - 120	20 - 30
SL - 100	30 - 40
SL - 80	40 - 50
SL - 40	60 - 80
SL - 15	90 - 120

En teoría la tensión que debería darse a los calibres es 10 a 20 % de la resistencia, pero por lo general esto no se cumple ya que por ejemplo: para un calibre 15/2 su resistencia aproximada es de 6000 gramos, si se aplicara el 10 % de esta cantidad la tensión estaría por encima del valor tabulado, esto afectaría al hilo ya que la acción del rozamiento llega a producir fusión del material en los calibres gruesos y en los delgados se desprende material formando peluza.

El enrollado debe hacerse en un portamateriales que resista altas temperaturas sin deformarse por acción de la tensión del hilo sobre éste y que permita además una transmisión homogénea del calor a todo el material enrollado en él.

En este proceso debe ponerse suficiente atención en que la tensión sea la misma para cada arrollado del mismo calibre ya que lo contrario traería como consecuencia variación en la igualación del tejido, el grosor del devanado en el portamateriales no deberá sobrepasar los dos centímetros como se muestra en la figura 2.8.

Bajo las condiciones anteriores el termofijado por lo general se lleva a cabo por circulación de aire caliente en 1 a 2 horas; si el espesor del devanado es mayor se necesitará más tiempo para que el calor se transmita hasta la fibra más interna en el huso, mientras más tiempo se use en el termofijado más se degradará el poliéster ocasionando pérdida considerable de resistencia.(19)

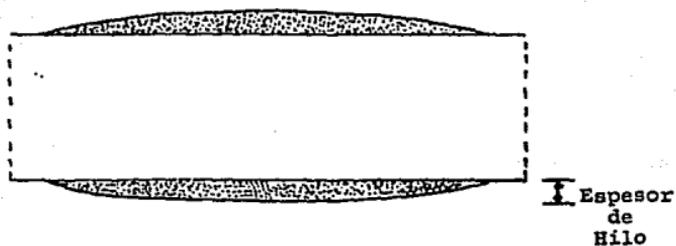


Fig. 2.9. Corte transversal de un portamateriales

2.2.4 Termofijado(15,16,19)

El termofijado (fijación por medio del calor) tiene por objeto conservar la torción, normalmente se lleva a cabo a 180-200°C con circulación de aire calentado con resistencia eléctrica, también se llega a utilizar vapor sobrecalentado. (19)

Quando se usa materia prima prefijada se puede suprimir este tratamiento y el anterior, pero la experiencia ha demostrado que debido a los procesos a que se somete la fibra para la producción del hilo, se altera el material en su estructura o arreglo molecular. Como consecuencia del tratamiento térmico la afinidad del poliéster por los colorantes varia; esto es debido a que al someter el hilo al calor y tensión el arreglo molecular se ordena dejando espacios intermoleculares homogéneos. (16), este ordenamiento depende del tipo de fibra utilizada, para fibras no prefijadas las tensiones en el enrollado deben ser mucho mayores ya que las moléculas tendrán mayor desajuste en las fibras.

La aplicación de energía térmica y mecánica conjuntamente hace variar las propiedades en el teñido (15,19), fig 2.9.

La determinación de estos parámetros deberá hacerse experimentalmente para cada fibra y calibre utilizado.

Quando se aplica calor seco bajo condiciones de tensión constante, la teñibilidad del poliéster decrece hasta alrededor de 180°C y aumenta rapidamente a temperaturas de 200°C has

Representación esquemática de una fibra de poliéster.

Termofijación
sin tensión



Control



Termofijación
con alta tensión



Fig. 2.9 Acción del tratamiento térmico y mecánico
en fibras poliéster.

ta el punto donde las fibras empiezan a desorientarse completamente y fundirse.

2.2.5 Segundo enrollado.

Después del termofijado se lleva a cabo un enrollado que tiene como fin el preparar las bobinas para el teñido, este enrollado deberá cumplir con ciertos requisitos de estabilidad y homogeneidad como son dureza, peso y distribución del enrollado, ya que deberá permitir el paso del fluido de una manera homogénea y será sometido a la acción de detergentes, agentes químicos, colorantes, presión y flujo del baño a través del empaquetado. La variación de peso de bobina a bobina provocará diferencias de tonalidad entre éstas, la variación de tono industrialmente permisible está en el intervalo de 5-10 % dependiendo del uso del material teñido.

El núcleo ó portamateriales utilizado deberá tener -- los orificios suficientes que suministren un flujo homogéneo sobre el empaquetado, siendo preferible el mayor número de los -- mismos, el material empleado para hacer los núcleos varía en -- función de su uso, normalmente son de acero inoxidable para fines de reutilización, de lo contrario elevarían el costo de producción excesivamente haciendo incosteable el teñido de la fibra poliéster. Actualmente se usan núcleos a base de polipropileno, polietileno, poliestireno o P.V.C. según el uso o trata-

miento a que se somete el material y por consiguiente el núcleo

2.3 PRODUCTOS PARA EL TEJIDO

2.3.1 Generalidades sobre colorantes (18).

Los colorantes deben su color a la capacidad de absorber la luz en la región visible del espectro entre 4000 y 8000 Åmstrongs. La absorción se debe a la transición de los electrones en las moléculas y puede tener lugar en la región visible - sólo si los electrones son suficientemente móviles. Su movilidad viene exaltada por la conjugación en las moléculas.

La unidad estructural de un colorante, que siempre es no saturada, recibe el nombre de cromóforo y todo compuesto que contiene un cromóforo es llamado cromógeno. Todo átomo o grupo sustituyente que aumenta la intensidad del color, recibe el nombre de auxocromo. Un auxocromo sirve también a veces para desplazar la banda de absorción de un cromóforo hacia longitudes de onda mayores y participa también en la solubilización de colorantes y en la fijación del mismo en las fibras.

El matiz, intensidad y brillo de un colorante dependen del sistema total absorbente de la luz el cual consta de cromóforo y de auxocromo actuando conjuntamente. La naturaleza de estos grupos y sus posiciones relativas en la molécula tienen que haber sido elaboradas correctamente para obtener un colorante de aspecto determinado.

Como ejemplos de auxocromos se tienen:

$-\text{NH}_2$	amino	$-\text{OH}$	oxhidrilo
$-\text{COOH}$	carboxilo	$-\text{SO}_3\text{H}$	sulfonilo

Los principales cromóforos utilizados para la producción de colorantes se indican en la tabla 2.1 .

En general para un tipo de colorante, la ampliación del sistema no saturado, desplaza la absorción de la luz hacia longitudes de onda mayores. Si suponemos una sola banda principal de absorción, el color absorbido se desplaza del violeta al rojo en el espectro visible. Al tener lugar este desplazamiento la luz no absorbida se refleja y es percibida por el ojo humano como el color complementario del absorbido, tabla 2.2 .

La fabricación y aplicación de los colorantes son muy importantes en la tecnología moderna a causa de la variedad de materiales a teñir.

Los colorantes modernos son productos orgánicos sintéticos, deben ser intensamente coloreados y dar tinturas que posean cierta permanencia exigida según el uso final del material a teñir.

Los colorantes pueden clasificarse en base a su aplicación y a su uso final. Las propiedades concernientes a la aplicación incluyen la afinidad y la velocidad de tintura, las relativas a su uso final son el matiz y la solidez frente a in-

Tabla 2.1 Principales cromóforos utilizados
en la industria.

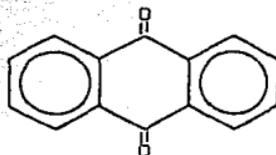
Tipos de colorantes

Cromóforo

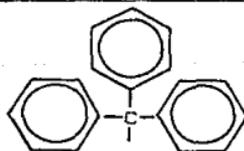
Azo

-N=N-

Antraquinónicos



Trifenil Metano



Xanténicos

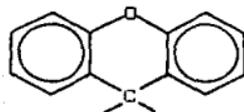


Tabla 2.2 Colores complementarios

COLOR OBSERVADO	COLOR ABSORBIDO CORRESPONDIENTE	LONGITUD DE ONDA ABSORBIDA Å
amarillo	índigo	4200
anaranjado	azul	4500
rojo	verde azulado	4900
violeta	verde amarillento	5300
azul	anaranjado	5900
verde	púrpura	7300

fluencias degradantes tales como la luz, el lavado y los agentes de blanqueo. El criterio de selección de los colorantes se basa en el conjunto de sus propiedades finales a un costo mínimo.

2.3.2 Clasificación

En el "Color Index" (23), los colorantes se agrupan por su constitución en 30 clases químicas, muchas de ellas estrechamente relacionadas entre sí, por lo que solo se resumen los tipos genéricos más importantes.

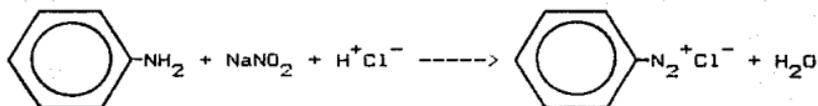
2.3.2.1 Colorantes Azo.

Este grupo es uno de los más importantes incluye muchos de los colorantes comerciales con diferentes métodos de aplicación, tales como los colorantes dispersos, se caracterizan por la presencia de uno ó mas grupos azo.

El principal método de obtención de colorantes azo -- consiste en la diazoación de aminas aromáticas primarias, seguida de su copulación con hidroxil o amino derivados aromáticos o con cetocompuestos alifáticos.

Tanto la amina aromática a diazoar como el compuesto con el cual se copula, pueden contener una gran variedad de sustituyentes tales como: alquílicos, alcoxi, halógenos, sulfónico, etc. La diazoación tiene lugar al reaccionar el ácido nítr

so con un grupo amino aromático primario en medio ácido. Generalmente se emplea ácido sulfúrico ó clorhídrico para generar el ácido nitroso a partir del nitrito de sodio:



La diazoación se lleva a cabo generalmente con un exceso de ácido para evitar que ésta ocurra sólo parcialmente y para inhibir reacciones secundarias. Para que la reacción -- transcurra fácilmente la amina o su clorhidrato debe estar en disolución. Si es insoluble, debe estar en un estado de fina subdivisión. La diazoación suele realizarse a temperaturas de 0 a 5°C, pues las sales de diazonio son en general inestables, aunque existen algunas excepciones para las que ocasionalmente se prefieren temperaturas de 20°C o superiores. (21)

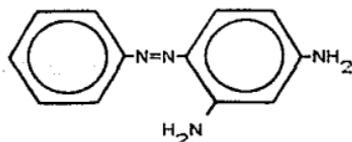
La formula, nombre y uso general ó común de algunos colorantes se indican en la tabla 2.3, su campo de aplicación es muy variado y extenso. Los colorantes azóicos con más de un grupo azo, pueden obtenerse por las siguientes rutas:

- 1) Diazoación y copulación de colorantes monoazóicos que contienen grupos amino libres.
- 2) Copulación de 2 moles de sal de diazonio con un componente que puede copular dos veces.
- 3) Tetrazaoación de una diamina seguida de copulación con

Tabla 2.3 Colorantes con un grupo azo.

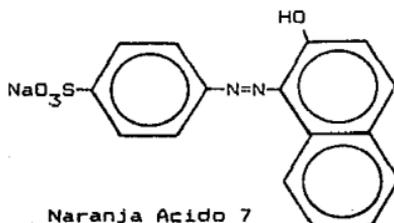
FORMULA Y NOMBRE

USOS



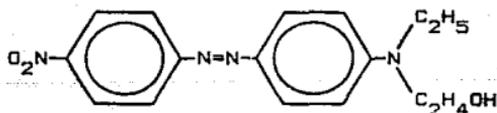
Industria del papel y
cuero.

Naranja Básico 2



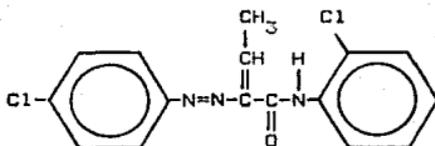
Lana principalmente,
papel y cuero.

Naranja Acido 7



Acetato de celulosa
y nylon.

Rojo Disperso 1



Colorante insoluble que
se aplica como pigmento

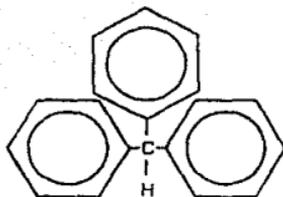
Amarillo Pigmento 3

dos moles de componentes copulable.

Se pueden obtener colorantes azóicos con tres, cuatro ó más grupos azo siendo productos bastante comunes los que contienen tres o cuatro, tabla 2.4.(18)

2.3.2.2 Colorantes del trifenil metano.

Se caracterizan por el cromóforo:

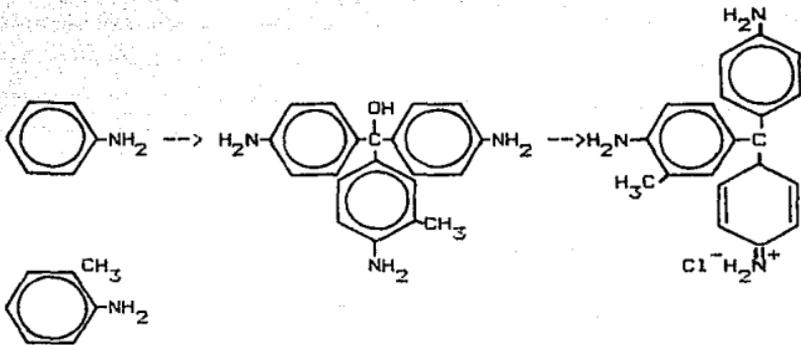
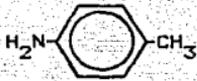


El cual está altamente estabilizado por resonancia. Estos productos figuran entre los más brillantes e intensos de los colorantes sintéticos, pero generalmente no poseen buena solidez a la luz excepto en fibras acrílicas, a las que algunos de ellos tiñen con matices brillantes sólidos a la luz.

Uno de los colorantes más sencillos de este grupo es el Violeta Básico 14 (Fucsina). Este colorante se prepara por condensación entre sí de una mol de anilina, una de p-toluidina y una de o-toluidina, en nitrobenzeno; el colorante se forma al neutralizar el carbinol con ácido clorhídrico:(18)

Tabla 2.4 Colorantes con dos grupos Azo.

FORMULA Y NOMBRE	USOS
<p style="text-align: center;">Roja Directo 28 (Roja canga)</p>	<p style="text-align: center;">Como indicador de pH</p>
<p style="text-align: center;">Naranja Acido 49</p>	<p style="text-align: center;">Lana y seda</p>
<p style="text-align: center;">Negro Directo 38</p>	<p style="text-align: center;">Celulosa</p>



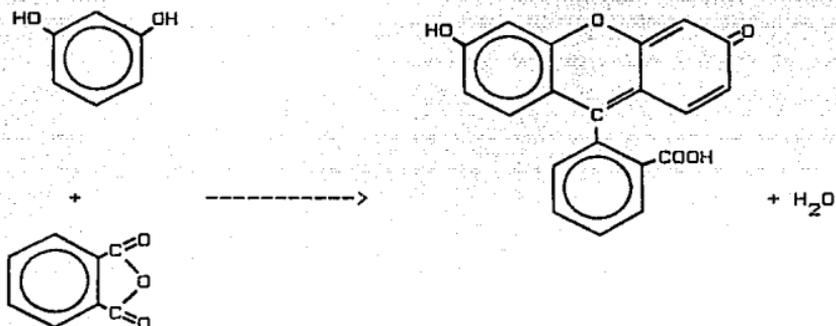
2.3.2.3 Colorantes de xanteno.

El cromóforo de los colorantes xanténicos tiene la estructura estabilizada por resonancia:



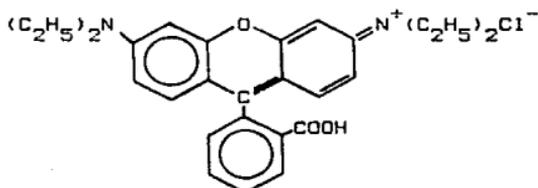
R= H, alquil o aril

Un ejemplo se representa en las siguientes reacciones que involucran el método de obtención:



De la reacción de la resorcina con anhídrido ftálico se obtiene el Amarillo Acido 73, el cual al reaccionar con Bromo produce el Rojo Acido 87, este colorante se emplea limitadamente para lana pero en gran proporción para papel y tintas.

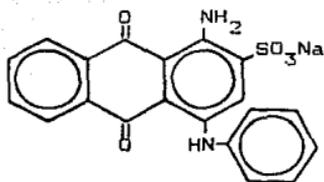
Un colorante muy importante de este grupo es el Violeta Básico 10 (Rodamina B) de uso en fibras duras como celulosa y papel principalmente. (18)



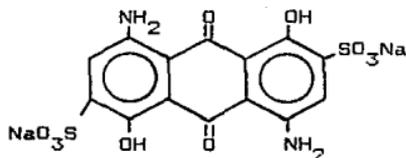
Violeta Básico 10 (Rodamina B)

2.3.2.4 Colorantes antraquinónicos.

Los colorantes derivados de la antraquinona y de otras quinonas aromáticas policíclicas análogas son de gran importancia. Pertenecen a esta clase muchos de los colorantes sólidos a la luz conocidos dentro de los grupos de colorantes ácidos, dispersos, mordientes y de tina; por ejemplo: los Azules Ácidos 25 y 45, de uso general para lana, seda, nylon, papel y cuero:

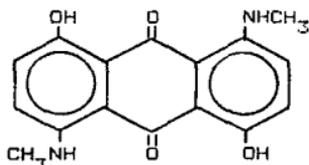


Azul Acido 25



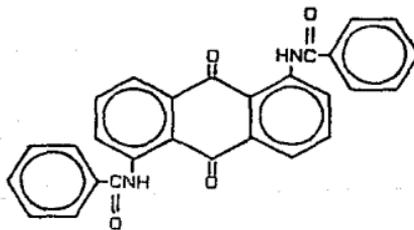
Azul Acido 45

Los colorantes antraquinónicos dispersos representan un grupo muy importante para el teñido de acetato de celulosa, nylon y poliéster. Es un grupo de baja solubilidad en agua que se suministra en forma de pulvo finísimo que se dispersa fácilmente en agua, un ejemplo lo tenemos con el Azul Disperso 26:



Azul Disperso 26

Muchos de los mejores colorantes tina son derivados antraquinónicos o de compuestos análogos. Un ejemplo lo tenemos con el Amarillo Tina 3, es un pigmento amarillo que se emplea como tal después de una molienda y secado adecuados. Para ser utilizado como colorante tina, se suministra generalmente en forma de una pasta acuosa ó un polvo microdispersado. Por reducción con hidrosulfito sódico en disolución de hidróxido sódico se convierte en la sal soluble de la antraquinona correspondiente, la cual tiene afinidad para las fibras celulósicas. Después de su aplicación a las fibras, el colorante se regenera por oxidación:(18)



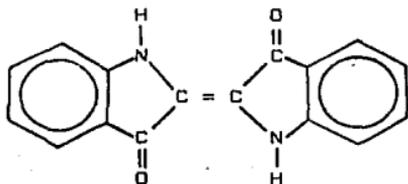
Amarillo Tina 3

2.3.2.5 Colorantes indigoides.

El compuesto del cual se deriva la clase de los colorantes indigoides, el índigo ó añil, ha sido utilizado como colorante tina desde la antigüedad. El índigo natural se obtiene a partir de vegetales del género indigófera. Puede reducirse por fermentación, así como por el método moderno con hidrosul-

fito sódico e hidróxido sódico, una vez reducido, puede aplicarse a las fibras celulósicas y/o oxidarse luego por aire, obteniéndose tintes azules brillantes.

El indigo natural ya no tiene importancia, pero se emplean aún grandes cantidades del producto sintético para obtener azules de poco costo sobre algodón. El color index designa al indigo con el nombre de azul tina 1:(18)



Azul Tina 1

2.3.3 Métodos de aplicación.(18,23)

Esta forma de clasificación de los colorantes es muy importante para el tintorero que los maneja. Normalmente las industrias que se dedican al teñido los manejan de acuerdo al método de aplicación.

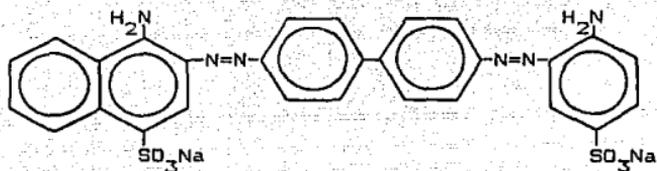
2.3.3.1 Colorantes ácidos.

Son solubles en agua, su caracter es aniónico y son aplicados a fibras textiles tales como lana, seda, nylon y fibras acrílicas en baños ácidos y neutros, se fijan a las fibras textiles debido a la presencia de uno o varios grupos ácidos en su molécula. Estos son generalmente grupos sulfónicos, que sirven también para hacer al colorante soluble en agua.(18)

2.3.3.2 Colorantes básicos.

Los colorantes básicos se unen a las fibras a través de grupos ácidos, por formación de enlaces salinos con los grupos ácidos de éstos. El procedimiento de tintura puede considerarse análogo al de aplicación de los colorantes ácidos.

Para favorecer la tintura se emplea frecuentemente sal común o sulfato de sodio, puesto que la presencia de iones sodio en exceso favorece el establecimiento del equilibrio; quedando un mínimo de colorante en el baño de tintura. Dado que los colorantes directos se fijan en las fibras celulósicas por absorción, también en este caso el proceso de tinción es reversible, a menos que sufra un postratamiento con resinas y con agentes fijadores como el sulfato cúprico, los colorantes directos en conjunto, tienen poca solidez al lavado y se usan principalmente en razón de su bajo precio y de su facilidad de aplicación. El Rojo Directo 28 es un colorante sustantivo típico:(18)



Rojo Directo 2B

2.3.3.3 Colorantes al azufre

Los colorantes al azufre son sustancias insolubles que se tienen que reducir con sulfuro sódico antes de usarse. En su forma reducida son solubles y muestran afinidad para la celulosa. Se tiñen por adsorción como los colorantes directos pero por exposición al aire se oxidan reconstituyendo el colorante insoluble inicial en el interior de la fibra, así, a diferencia de los colorantes directos, resultan muy resistentes a su eliminación por lavado. (18)

2.3.3.4 Colorantes tina.

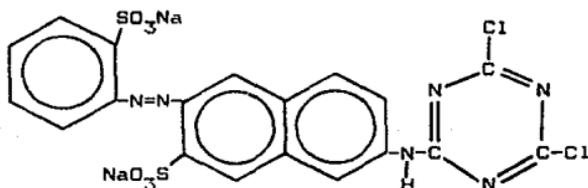
Los colorantes tina, como los colorantes al azufre, son insolubles. Se reducen con hidrosulfito sódico en medio fuertemente alcalino dando una forma soluble que presenta afinidad para la celulosa.

Después de que el colorante reducido ha sido absorbido en la fibra, se reconstituye el colorante insoluble inicial por oxidación al aire o con reactivos químicos como el agua oxigenada. Las tinturas obtenidas de este modo son muy sólidas a la luz y a los agentes de blanqueo.

Los colorantes son bastante caros y su aplicación exige especial cuidado. presentan excelente solidez si se les selecciona adecuadamente.(18)

2.3.3.5 Colorantes reactivos.

Los colorantes reactivos constituyen una clase introducida en fecha relativamente reciente en el mercado; son capaces de formar enlaces covalentes con las fibras que poseen grupos hidroxilo o amino. Un grupo importante de estos colorantes reactivos contiene átomos de cloro que reaccionan con los grupos hidroxilo de la celulosa al ser aplicados en presencia de álcali, creyéndose que se forma una unión éter entre el colorante y la fibra, un ejemplo de este tipo es el colorante azóico anaranjado de fórmula:



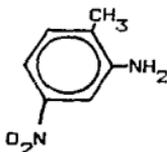
Naranja reactivo 1

Los colorantes reactivos presentan excelente solidez al lavado ya que el colorante se convierte en una parte de la fibra, las otras propiedades dependen de la estructura de la molécula y de los grupos que la unen a la parte reactiva de la misma.(18)

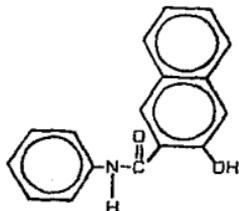
2.3.3.6 Colorante azóicos insolubles.

Se forman en el interior de las fibras textiles, en general de algodón, por copulación azóica. El colorante resulta así firmemente ocluido, por lo tanto, sólido al lavado.

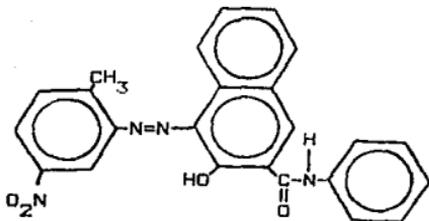
Puede obtenerse una gran variedad de coloraciones eligiendo adecuadamente los dos componentes, se obtiene por ejemplo un rojo azulado por diazoación del componente diazoable #1 y copulación del mismo con el componente copulable 2 (Naftol AS):



Componente 1



Componente 2



Rojo Pigmento 22

Según el procedimiento común de desarrollo de los colorantes azóicos insolubles, la fibra se impregna primero con una disolución alcalina del componente copulable y se trata luego con la sal de diazonio. Finalmente el tejido teñido se lava con jabón y se enjuaga. La sal de diazonio puede prepararse en la misma tintorería por diazoación del componente diazoable ó bien puede adquirirse en la forma de complejo estabilizado ya listo para su uso. Para la aplicación a las fibras sintéticas de los colorantes azóicos insolubles se han desarrollado técnicas especiales en algunos casos ambos componentes se pueden aplicar simultáneamente a la fibra en dispersión acuosa y tratar al tejido con ácido nitroso para producir el color.(18)

2.3.3.7 Colorantes de oxidación.

Los colorantes de oxidación se producen en las fibras textiles por oxidación de un compuesto incoloro, por ejemplo la anilina puede oxidarse sobre el algodón con dicromato sódico en presencia de un catalizador metálico obteniéndose el negro de anilina. Este es un método económico de obtener tonos negros intensos. El aspecto y la solidez de la tintura pueden variarse ampliamente por modificación del oxidante, de las condiciones y del catalizador.(18)

2.3.3.8 Colorantes dispersos.

Los colorantes dispersos revisten el mayor interés ya

que éstos son los utilizados para teñir la fibra poliéster. El nombre de colorantes dispersos se introdujo en 1951 y se definen como: Sustancias insolubles en agua que tienen afinidad por una o más fibras hidrófobas tales como el acetato de celulosa, poliéster, etc.. y se aplican usualmente en forma de finas dispersiones acuosas.

La mayoría de los colorantes dispersos son azo ó antraquinónicos y los grupos de adición para cambiar el matiz, son generalmente grupos amino o amino sustituidos, hidroxilos, halógenos, nitro, sulfamido, etc.. Todos estos grupos intensifican el matiz, es decir, actúan como auxocromos.

Las principales ventajas de los colorantes dispersos es que los grupos cromóforos azo y antraquinónicos se complementan para dar una gama de colores amarillos, naranjas, rojos, violetas y azules, con diferentes tonalidades y cromaticidades. Hay muy pocos componentes verdes y por lo general dan tonos azulados, los negros se obtienen casi exclusivamente mediante mezclas. Los colorantes se presentan en el mercado en un estado de subdivisión extremadamente fina que permite su dispersión en agua, estos colorantes se preparan básicamente con el colorante finamente dispersado y un agente dispersante con propiedades tensoactivas que ayuda a la reducción del tamaño y protección de la partícula del colorante. Los agentes dispersantes usados son de tipo aniónico resultando una carga positiva en la superficie de la partícula de color, debido a la absorción del dis-

persante aniónico evitando así la aglomeración.

La magnitud de carga puede medirse con el potencial "Z", el sistema que tenga un potencial Z mayor, tendrá una mayor estabilidad a la dispersión, generalmente las dispersiones de los colorantes comerciales tienen potenciales del orden de -30 a -80 milivoltios (1,5).

Las sustancias utilizadas como dispersantes, en su mayoría son los lignosulfonatos de sodio de pesos moleculares elevados, que proporcionan la mayor eficiencia al costo más aceptable.

2.3.4 Selección del colorante.

La selección de los colorantes está en función del costo y las características de éstos en los materiales teñidos, como son: solidez a la luz sublimación, tono, reproducibilidad brillantes y matiz. La selección de los colorantes apenas empieza. Una vez seleccionada la gama de colorantes que se utilizarán, las formulaciones de los tonos normalmente implican la combinación de dos, tres o más colorantes; raramente se realizan con un solo colorante, que sería lo ideal.

2.3.4.1 Compatibilidad de los colorantes (15).

Debido al mecanismo de disolución de sólidos por el cual el poliéster es teñido con colorantes dispersos, el teñido bajo cualquier grupo de condiciones, es dependiente de la concentración del colorante en el baño. El colorante puede ser de

baja, media o alta energía por sí solo.

Un tono claro se agotará a una velocidad proporcional más rápida que uno oscuro, considerando cualquier colorante como se ilustra en la figura 2.10, donde C_1 , C_2 , C_3 representan diferentes concentraciones del mismo colorante, que a tonos oscuros requiere más tiempo para alcanzar el color deseado (agotar), que otro de tono claro. Así mismo si C_1 y C_2 son dos colorantes diferentes, los cuáles agotan en el mismo intervalo a iguales concentraciones, se puede observar que si los colorantes están presentes a diferentes concentraciones, la intensidad del color empieza a subir fuera del tono en el punto B.

Es posible, aunque se seleccionen colorantes con diferentes intervalos de agotamiento, usarlos a diferentes concentraciones y llegar a la compatibilidad de agotamiento, como se muestra en la figura 2.11.

Si la concentración del colorante No. 2 se reduce drásticamente, como se muestra en la figura 2.12, se agotará en el punto C y el tono va a estar totalmente fuera de lo esperado.

Es claro que para determinar la compatibilidad de los colorantes dispersos, el efecto de la concentración del colorante deberá tomarse en cuenta.

2.3.4.2 Igualación (2,7,12,19).

El objetivo de todo procedimiento de tintura es el de obtener una igualación del color con la mínima diferencia posi-

ble. El límite de identificación por el ojo humano de diferencia en intensidad y tonalidad es de 5% aproximadamente.

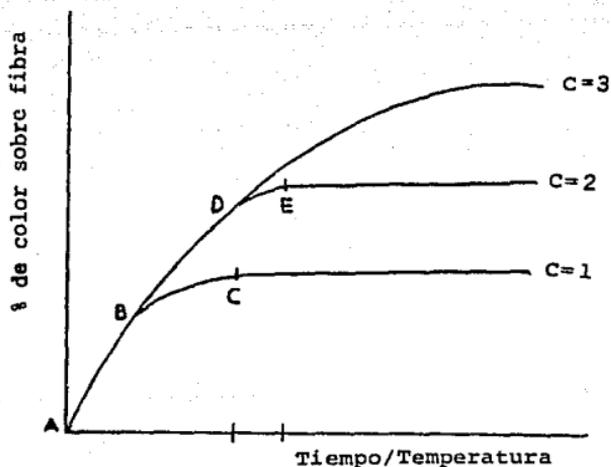


Fig. 2.10 Agotamiento de un colorante a diferentes concentraciones.

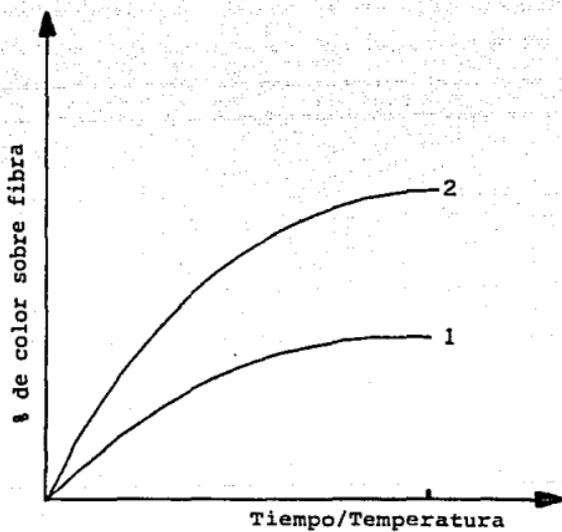


Fig. 2.11 Agotamiento de dos colorantes diferentes a diferentes concentraciones.

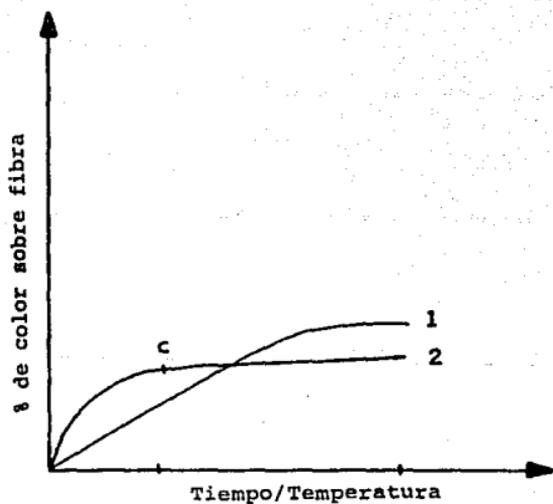


Fig. 2.12 Reducción de la concentración de un colorante.

En la tintura por agotamiento se tienen dos opciones: una la de calentar rápidamente hasta la temperatura de fijación e igualar finalmente por migración, o bien regular la velocidad de calentamiento de manera de conseguir una absorción controlada y regular el colorante sobre el sustrato durante toda la operación de tintura.

La curva de aumento de un colorante de dispersión sobre poliéster tiene la forma de S. Figura 2.13.(19)

La zona de temperatura en la que el colorante se incorpora de manera preferente varía según el colorante y en consecuencia la concentración del colorante en la dispersión y el sustrato; si se desea obtener una tintura igualada conviene controlar exactamente la velocidad de aumento del colorante dentro de esta zona.

La distribución inicial (15 - 20 %) de colorante que se adiciona sobre la material textil no es uniforme, pero no es crítica ya que esta desigualdad inicial es compensada a medida que continúa el proceso de tintura.

La zona de temperatura correspondiente al aumento del resto del colorante (80 %) se denomina zona de temperatura crítica. Cuanto más estrecha sea esta zona (más abrupta será la curva S), mayor es el riesgo de una falta de igualación. El porcentaje de colorantes que aumenta en la zona de temperatura crítica, depende de la temperatura y no de la duración o de la concentración del colorante. El poder de aumento, se incrementa

de manera importante con la elevación de la temperatura.

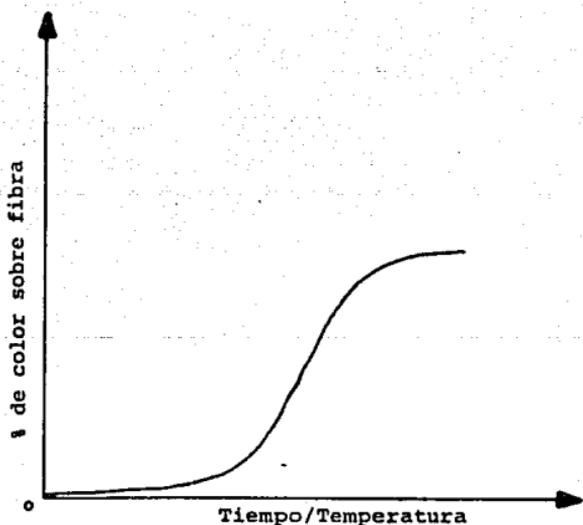


Fig. 2.13 Curva de aumento de un colorante disperso sobre poliéster.

La zona de temperatura crítica debe determinarse experimentalmente para cada formulación. La experimentación debe realizarse reproduciendo las condiciones de operación de la maquinaria existente así como los productos auxiliares utilizados a fin de tener la máxima correlación.(19)

Los proveedores de colorantes normalmente facilitan esta operación ya que proporcionan curvas de rapidez de teñido para productos, mismas que están en función de la concentración de colorante y temperatura/tiempo, fig. 2.14, el uso de estas gráficas y las de reproducibilidad es una guía inicial para la selección de los colorantes.

La selección de los colorantes debe tener en cuenta los siguientes factores.

- a) Costo del colorante y su proceso de tintura.
- b) Propiedades (igualación, solidez a la luz, al frote, etc.).
- c) Características tintóreas (matiz, tono).
- d) Gran capacidad de combinación en diferentes concentraciones (curva de rapidez de teñido similares).
- e) Eficiencia (curva de reproducibilidad).
- f) Estabilidad a los tratamientos químicos y térmicos, posteriores a la tintura.
- g) Aspectos ecológicos (influencia en las aguas residuales y en su entorno).

2.3.5 Productos auxiliares.

Los procesos para el teñido de poliéster requieren de

colorantes dispersos y productos auxiliares, cuyo comportamiento responda adecuadamente a las exigencias técnicas requeridas.

En matices claros por regla general no es suficiente la cantidad de dispersante contenido en el colorante, en matices oscuros se recomienda el uso de un auxiliar aniónico.

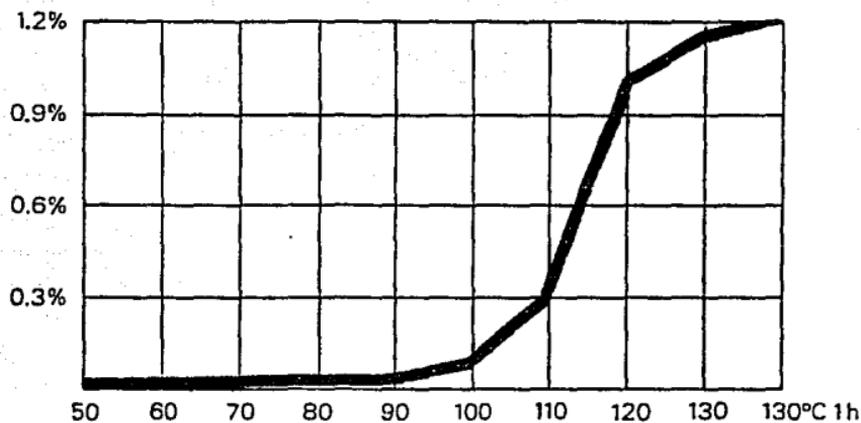
La adición de productos de igualación es usual en muchos procesos de teñido, los llamados portadores de igualación deberán agregarse al baño debido a su acción específica, 10-15 minutos después de lograr la temperatura final.

En muchas tintorerías se practica un control insuficiente de pH y no se toma en cuenta al teñir colorantes dispersos, el resultado es una mala reproducción al teñir en tricromía, por consiguiente se necesita un producto auxiliar que regule el pH; es común utilizar una solución reguladora. El pH más conveniente para teñir fibra poléster se encuentra entre 4.0 y 5.0 (18).

Otros productos auxiliares utilizados son la sosa cáustica en combinación con hidrosulfito de sodio y un agente tensoactivo no iónico que tiene por objeto eliminar el colorante residual después del teñido, algunos colorantes son sensibles a este tratamiento, por lo que deberá tenerse mucho cuidado al usarlo.(19)

Los productos auxiliares se pueden obtener en el mercado en una amplia gama de presentaciones clasificadas de acuerdo a su función específica.

% de color sobre fibra



Igualación

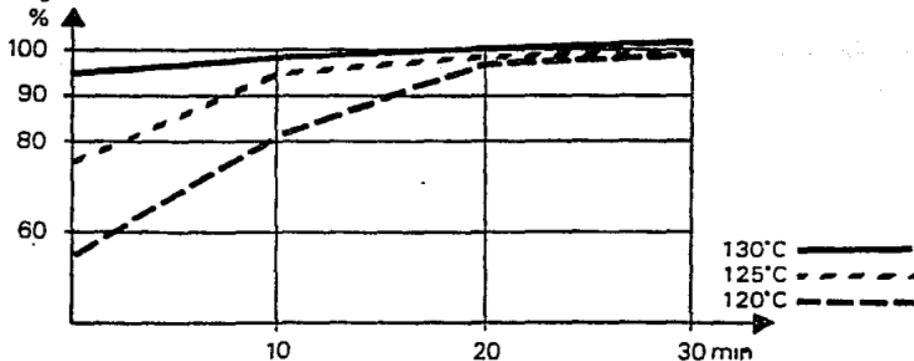


Fig. 2.14 Curvas de rapidez de tñido y reproducibilidad de un colorante comercial.

2.3.5.1 Agentes de dispersión.

Los sulfonatos de lignina, extraídos de productos naturales modificados, pueden considerarse como los principales agentes dispersantes dentro de los numerosos productos sintéticos clasificados según sus características estructurales distintivas, como: aniónicos, catiónicos, y no iónicos (tablas 2.5 a 2.7)(18). Sin la adición de dispersante es imposible obtener -- una dispersión estable de pequeñas partículas. Estos forman al rededor de las partículas de colorante una especie de envoltura protectora que evita que aquellas se aglomeren. Las fuerzas eléctricas repulsivas influyen favorablemente la estabilidad de la dispersión. El dispersante también debe tener un poder humectante adecuado, estos parámetros se determinan experimentalmente, ya que varían de acuerdo a los demás productos en el baño de tintura, como por ejemplo los aceites que se utilizan como antiestáticos durante la manufactura del poliéster y en la hilatura, algunos fabricantes de colorantes recomiendan un lavado a la fibra para eliminar todas las impurezas como son los enzimas y otros aditivos que se usan en la hilatura del poliéster. Otra variable son las sales contenidas en el agua del baño de tintura que reducen la acción del dispersante.

La estabilidad de la dispersión de un colorante se debe principalmente a las fuerzas de repulsión entre las partículas(1,5).

El potencial electrocinético o "Z" da una medida de

Tabla 2.5 Características estructurales de dispersantes aniónicos.

a)	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	Carboxilato	d)	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{S}-\text{O}^- \\ \\ \text{O} \end{array}$	Sulfinato
b)	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{R}-\text{O}-\text{S}-\text{O}^- \\ \\ \text{O} \end{array}$	Tiosulfato	e)	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\ \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}=\text{O} \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	Fosfato
c)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R}-\text{O}-\text{S}-\text{O}^- \\ \\ \text{O} \end{array}$	Sulfato	f)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{P}-\text{O}-\text{R} \\ \quad \\ \text{O}^- \quad \text{O}^- \end{array}$	Pirofosfato
g)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R}-\text{S}-\text{O}^- \\ \\ \text{O} \end{array}$	Sulfonato			

Por lo general el complemento de las moléculas que conforman los dispersantes de este tipo son polímeros de alto peso molecular.

Tabla 2.6 Características estructurales de dispersantes
catiónicos.

a)	$\left[\begin{array}{c} \text{R-NH}_3 \\ \hline \end{array} \right]^+$	Sales primarias de amonio
b)	$\left[\begin{array}{c} \text{R-NH}_2 \\ \\ \text{R} \end{array} \right]^+$	Sales secundarias de amonio
c)	$\left[\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R-NH} \\ \\ \text{R} \end{array} \right]^+$	Sales terciarias de amonio
d)	$\left[\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{R-N-R} \\ \\ \text{R} \end{array} \right]^+$	Sales cuaternarias de amonio
e)	$\left[\text{R-(NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_3 \right]^+$	Sales de alquil poliaminas
f)	$\left[\begin{array}{c} \text{R} \\ \diagup \\ \text{N} \\ \diagdown \\ \text{R} \\ \text{N} \end{array} \right]^+$	Imidazolina
g)	$\left[\begin{array}{c} \text{R-O-R} \\ \\ \text{R} \end{array} \right]^+$	Terciarios oxonio

Tabla 2.7 Características estructurales de dispersantes iónicos.

a) Cationes	Li^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}
b) Aniones	Cl^- , Br^- , NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, $\text{PO}_4^{=}$, $\text{HPO}_4^{=}$ H_2PO_4^- , CH_3SO_4^- , HCOO^- , CH_3COO^- .

Características estructurales de dispersantes no iónicos

a) R-OH	Alcohol	b) R-O-R	Eter
c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}^-$	Etoxi	d) >C=N-O^-	Oxima
e) $-\text{CO-NH}_2$, $-\text{CO-NH-}$, $-\text{CO-N}<$	Amidas		

la estabilidad de las dispersiones(1); esta fundamentado en la teoría de la doble capa eléctrica.

Según la teoría todo sólido en contacto con un líquido desarrollara una diferencia de potencial a través de la interfase; debida a una densidad de carga localizada en el plano de la superficie del sólido. El modelo diferencia dos capas, la primera (capa de Stern) que esta inmóvil sobre la superficie, cargada eléctricamente y una capa difusa de iones con carga contraria a la anterior (capa de Gouy-Chapman).

La diferencia de potencial entre la capa inmóvil y el cuerpo de la solución se conoce como potencial electrocinético o "Z". (5)

Las dispersiones son estables a valores de potencial Z más electronegativos de -30 mV. (5)

Los valores más electronegativos que -30mV representan repulsiones mutuas suficientes que dan como resultado la estabilidad(5). Para obtener mejor resultado en lo que se refiere a estabilidad debe incrementarse el valor del potencial Z de -45 a -70 mV.

El potencial Zeta no se puede medir directamente su medición se efectúa por mediciones en electroforesis y electroosmosis.

2.3.5.2 Reguladores de pH.

Algunos colorantes son sensibles al pH, por lo que

debe tenerse control del mismo para lograr el valor óptimo para el teñido (4.0 - 5.0), éste se puede obtener con sulfato de amonio, ácido fórmico, acetato de sodio y ácido acético, existen otras sustancias para formar las soluciones reguladoras del pH, la complicación en su manejo para obtener el pH deseado y/o su costo las hacen inútiles en el teñido.

2.3.5.3 Aceleradores o igualadores.(15,19)

Este tipo de agentes aceleradores ó igualadores deben usarse con cuidado pues existen riesgos de obtener tinturas con mayor defecto. El portador tiene por objeto aumentar la velocidad de difusión de los colorantes en las fibras de poliéster, aumentar el rendimiento tintóreo y mejorar la migración, de acuerdo con la temperatura y dosificación.

El portador agregado a un sistema de teñido, suministra energía química, por lo general tiene la característica de hinchar las fibras debido a un aumento de la energía vibracional de las moléculas. Otros estudios indican que las moléculas del producto químico se unen por si mismas dentro de las moléculas del polímero e interrumpen el corte transversal de polímero a polímero y así abren la estructura de la fibra.

La mayoría de los portadores son solubles en el poliéster, esta característica también contribuye a la naturaleza elástica de la fibra que ocurre durante el teñido, haciéndose el volumen libre en la estructura de la fibra mas accesible a

la molécula del colorante.

De acuerdo con lo antes expuesto, la eliminación del portador al finalizar el teñido debe hacerse totalmente, de lo contrario éste afectará sensiblemente la solidez a la luz y/o al lavado. Las estructuras químicas y propiedades más relevantes para su uso en el teñido de los portadores más importantes se resumen en la tabla 2.8.

2.3.5.4 Antiespumante y secuestrantes.

Los antiespumantes son por lo general polímeros de silicio (silicón), éstos tienen por objeto eliminar la espuma producida por la agitación o recirculación del baño de tintura, la cual puede representar pérdida de colorante por derrames.

Los secuestrantes están hechos a base de productos que forman compuestos de coordinación dejando inactivos ciertos iones como el Fe^{++} , Cu^+ y otros que afectan la molécula de los colorantes pudiendo cambiar un sustituyente que nos modificaría el tono ó hasta el color.

2.3.6 Selección de productos auxiliares para el teñido.

La selección de los productos auxiliares sobre todo en lo que se refiere a los dispersantes se realiza experimentalmente a nivel de laboratorio para determinar el tipo adecuado, sus características, influencia sobre los colorantes utilizados en las formulaciones y su cantidad óptima.

Tabla 2.8 Portadores. Estructuras químicas y propiedades.

	Clorobencenos	Oxidifenilos	Difenilo
Constitución Química	o-diclorobenceno p-diclorobenceno 1.2.3-triclorobenceno 1.2.4-triclorobenceno	o-oxidifenilo m-oxidifenilo p-oxidifenilo	difenilo
Eficacia	diclorobenceno mediana triclorobencenos muy elevada	o-oxidifenilo elevada, m y p-oxidifenilo mediana a débil	muy elevada
Efectos sobre la materia termofijada	excelente sin pérdida por temperaturas de fijación bastante elevadas	excelente	excelente
Influencia sobre la migración de los colorantes	mediana a elevada	mediana	débil
Influencia sobre la solidez a la luz	ninguna	negativa hasta dos notas inferior para los colorantes azóicos	ninguna
Observaciones	son tóxicos deben utilizarse en sistemas cerrados	se puede evitar en parte la mala solidez mediante fijación	fáciles de arrastrar con vapor de agua

(continuación)

Esteres aromáticos	Naftalina	Eteres aromáticos
ester-metilico del ácido benzóico ester fenilico del ácido salicilico ester-dimetilico del ácido ftálico	naftaleno tetralina metil naftaleno	eterdifenilico éter fenil-bencílico
Elevada según el tipo de éster	naftaleno y metil naftaleno elevada	
Excelente con el o-metil-éster del ácido cresótico débil con los demás	bueno, más dé- bil con cioronaftaleno	practicamente sin efecto
Mediana a muy elevada según el tipo de éster	mediana a ele- vada	mediana
Ninguna	ninguna para la naftalina negativa para metil-nafta- leno	ninguna
La eficiencia del éster salicilico es la más elevada	desprenden olo- res desagrada- bles	

La experiencia del tintorero es primordial en estos procesos para obtener tinturas con los costos de producción más

bajos, eliminando en lo posible los reprocesos. De acuerdo a lo anterior es necesario hacer un estudio de los productos existentes en el mercado sus alcances y limitaciones.

2.3.6.1 Selección del dispersante.(9)

Los agentes de dispersión para el teñido del poliéster son del tipo aniónico, los dispersantes que dan los mejores resultados son los fabricados a base de lignosulfonato de sodio y amino lignosulfonato.

En el teñido el incremento de temperatura aumenta la solubilidad del colorante en el agua. Los valores de solubilidad siguen la ley de Vant' Hoff:

$$\log S = A / T + B \dots\dots\dots 2.8)$$

El colorante penetra en forma monomolecular, algunos logran este estado al alcanzar los 130°C, pero normalmente es necesario adicionar algún dispersante para asegurar el estado monomolecular en el baño de tintura, este dispersante forma alrededor de las partículas de colorante una envoltura con partículas cargadas que evita que se aglomeren.

Un exceso de dispersante provocaría que parte del colorante quede disperso en el agua sin adicionarse a la fibra u otros fenómenos fisicoquímicos que son provocados por el tamaño de la partícula de colorante; el colorante disperso en agua

se presenta en forma de pequeñas partículas cuyo tamaño sigue una distribución binomial siendo el valor medio de 0.5 a 1 μ m, fig. 2.15.(19)

Los colorantes de dispersión con características ideales deben de presentar una curva de distribución estrecha, debiendo existir un porcentaje importante de partículas en la parte media. Una distribución muy elevada es tan poco deseable como una distribución demasiado pequeña, ya que el colorante de dispersión se vuelve inestable.

Las partículas mas pequeñas que se disuelven rápidamente, pueden provocar fenómenos de recristalización.

Debido a la recristalización, las partículas más grandes tienen tendencia a crecer todavía más, lo que puede provocar precipitación de colorante en la maquinaria o en el material.(9)

2.3.6.2 Selección de los productos reguladores del pH.

Los colorantes seleccionados deben ser resistentes a la variación del pH en lo que respecta al tono, pero también las variaciones extremas en el pH llegan a provocar problemas en los colorantes y demás productos auxiliares utilizados en el baño, p. ej: la hidrólisis ó reducción del colorante. El cambio de pH en el baño puede provocar un cambio en el estado fisicoquímico del baño ocasionando una igualación deficiente de la tinte y desviaciones del tono.

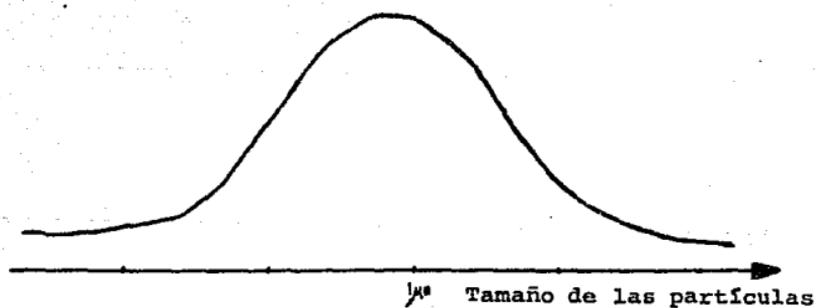


Fig. 2.15 Distribución de la dispersión de un colorante.

Se ha encontrado que el mejor pH para teñir el poliéster está entre 4-5 donde no se aprecia desviación del tono al ojo humano, con esto se tiene una base para la selección de colorantes y demás productos utilizados en el teñido (18), los cuales deben ser lo suficientemente estables a esas condiciones de teñido. El producto seleccionado no debe interferir con los demás productos.

El producto que actualmente se utiliza es el ácido acético debido a que tiene amplias ventajas sobre las soluciones reguladoras y otros ácidos, que presentan problemas de corrosión y ataque al poliéster; otra característica importante es que el tamaño de partículas se ve apreciablemente reducido por la adición de ácido acético debido a su propiedad de disolver los compuestos orgánicos como son los colorantes.

2.3.6.3 Selección de productos igualadores ó aceleradores.(18)

Casi ningún tintorero aconseja utilizar estos productos debido a su variabilidad en los baños de tintura, además de afectar las propiedades esenciales del producto teñido como son solidez a la luz, solidez al lavado, resistencia de la fibra y otros tales como desviaciones del tono; por lo que su uso es limitado en las tintorerías con suficiente experiencia y solo en casos difíciles de teñido.(18)

La selección debe hacerse bajo las siguiente bases:

- a) Costo
- b) No debe afectar la resistencia de la fibra.
- c) No debe afectar la solidez a la luz y al frote.
- d) Compatibilidad con los colorantes.
- e) Rendimiento de teñido.

2.3.6.4 Selección de los productos secuestrantes y antiespumantes.

Este tipo de productos se seleccionan en base al costo de producción y calidad requerida. Se debe hacer un estudio de viabilidad para introducir estos productos; casi ninguna tintorería los utiliza debido al escaso control en los baños de tintura. Para los niveles de calidad exigidos actualmente cada uno de los pasos en el teñido son importantes y deben estandarizarse para obtener un producto de calidad constante.

Los productos secuestrantes eliminan casi en su totalidad los iones metálicos presentes en el baño, perjudiciales para los colorantes a altas temperaturas, los iones metálicos, en particular los de fierro y cobre influyen en el agotamiento del colorante y provocan en casos extremos, precipitaciones.

Los antiespumantes se relacionan con los agentes de dispersión y tensoactivos que se utilicen, sólo se utilizan en aquellos baños que provocan demasiada espuma que pudiera derramar cantidades apreciables de colorante.

2.4 TEÑIDO

2.4.1 Generalidades.

El teñido de la fibra poliéster ha sido estudiado desde que se comenzó a fabricar a escala industrial; los colorantes de dispersión ya habían sido fabricados con anterioridad para el acetato de celulosa.

Si bien los modelos teóricos pueden explicar el comportamiento del sistema tintoreo, son demasiado complicados para su aplicación práctica, pero han contribuido como fundamento técnico para el teñido de el poliéster en empaquetados textiles. Las características del teñido de poliéster y en si de cualquier otra fibra en empaquetados textiles presenta determinados problemas para conseguir una tintura igualada a costo reducido. Estos problemas pueden provenir de cualquiera de los productos utilizados para el teñido, el tintorero, procura de una forma empírica el usarlas de tal forma que lleven a obtener la tintura uniforme al menor costo posible y otros aspectos como; la bomba que impulsa la solución, el tipo de material, disposición del mismo en la máquina, temperatura, etc. en general estas variables son mucho menos conocidas por el tintorero que las que actúan sobre la velocidad de fijación del colorante.

El problema de lograr la tintura igualada a un costo reducido es muy compleja dada la gran variedad de factores que intervienen, los modelos solo proporcionan soluciones parciales

y de aplicación práctica limitada, pero estos modelos significan un gran avance en el conocimiento de este sistema tintóreo.

2.4.2 Modelos teóricos.

El primer modelo teórico del comportamiento de los empaquetados textiles fué propuesto por Boulton y Crank en 1952 comparando cualitativamente el conocimiento experimental que se poseía de los sistemas tintóreos estudiados (3). Estos conocimientos fueron incorporados a procedimientos de tintura racionalizados por Carbonell y colaboradores (4) y Beckman y colaboradores (2), posteriormente en 1979, Hoffman y Mueller proponen un modelo teórico sobre bases cuantitativas que permiten la obtención de resultados más concretos. Actualmente ambos modelos se consideran las bases fundamentales de la tintura de los empaquetados textiles mediante un solución que circula a través de ellos (7).

2.4.2.1 Modelo de Boulton y Crank (3,6)

El empaquetamiento está representado por un cilindro homogéneo a través del cual circula la solución tintórea con un caudal g (g/seg), en un sistema donde el volumen de la solución de tintura es de V (g) como se indica en la figura 2.16.

La concentración de colorantes en la solución $C=g$ colorante/g materia cambia durante su movimiento en el empaquetado. Al pasar la solución a través del empaquetado, existe un

intercambio de colorante entre la solución y la materia textil en cada punto del empaquetado, la velocidad de intercambio (Z) depende tanto de C como del colorante sobre la fibra.

Expresando Z como la velocidad de absorción se tiene:

$$Z = K (E_c - M) \dots\dots\dots 2.9)$$

K = Constante de velocidad de intercambio del colorante entre la solución y el material textil.

E_c = Cantidad de colorante que la fibra podría absorber al estado de equilibrio con la solución de concentración C .

M = Cantidad de colorante actualmente sobre la fibra.

M , C y E_c varían de un punto a otro del empaquetado con respecto al tiempo.

E_c está relacionada con C por medio de una isoterma de acuerdo a la expresión;

$$E_c = R C^{1/2} \dots\dots\dots 2.10)$$

R = Constante.

La ecuación 2.9 representa la absorción y desorción cuando $E_c > M$ y cuando $E_c < M$, respectivamente.

Si C_1 y C_2 son las concentraciones del colorante en la solución en los planos X_1 y X_2 , la cantidad de colorante cedido por la solución en un segundo es:

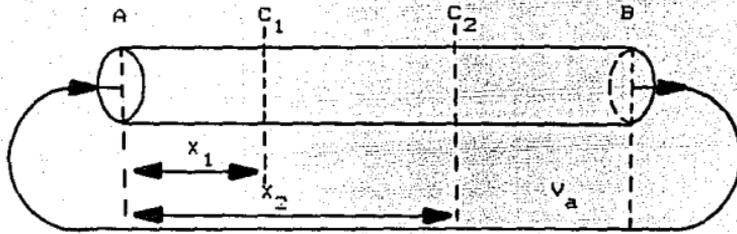


Fig. 2.16 Esquematización de un empaquetado.

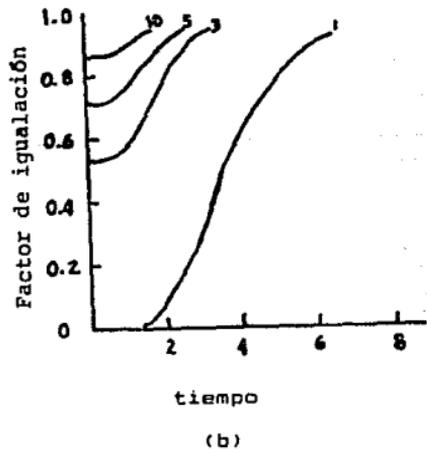
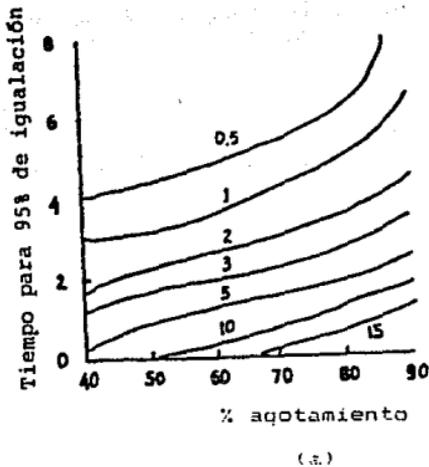


Fig. 2.17 Relación entre el tiempo de igualación y $q/KV(6)$

a) Rotación de baño: 20:1 b) Agotamiento final 90 %

$$W Z = q (C_1 - C_2) \dots\dots\dots 2.11)$$

Donde W es el peso de material entre X_1 y X_2 .

Expresando en forma diferencial las ecuaciones 2.9 y 2.11

$$dM/dt = K (E_c - M) \dots\dots\dots 2.12)$$

$$- dC/dt = WK/q (E_c - M) \dots\dots\dots 2.13)$$

Resolviendo estas ecuaciones para un sistema tintóreo se llega a demostrar que la conducta tintórea de un empaquetado viene determinada por los tres parámetros siguientes:

- a) Porcentaje final del baño de tintura.
- b) La constante K, que expresa la velocidad de cambio de colorante entre la solución tintórea y el empaquetado.
- c) El factor q/KV , en donde q es el caudal de circulación y V el volumen del baño de tintura; el factor q/KV recibe el nombre de velocidad o factor de flujo.

El factor de flujo q/KV puede desglosarse en sus dos componentes:

$$F.F = (1/K)(q/V) \dots\dots\dots 2.14)$$

$1/K$ es el componente que engloba la reactividad entre fibra y colorante.

q/V es el componente de las características hidrodinámicas de la máquina de tintura.

El valor de esta relación, es el número de veces que toda la solución existente en la máquina V (1) pasa a través de la materia por unidad de tiempo, lo cual se conoce como "número de ciclos". Aplicando las ecuaciones puede estudiarse la influencia de cada uno de los tres factores indicados. El factor de igualación se define como la relación entre la mayor y menor concentración de colorante sobre la fibra, en cualquier parte del empaquetado en el momento en que se examina la igualación. Parte de los resultados de este estudio se presentan en la figura 2.17. La aplicación de este modelo permite llegar a los siguientes postulados:

a) El tiempo necesario para alcanzar la igualación a una velocidad de flujo determinada, depende del grado de agotamiento final del baño, esta conducta predicha por el modelo teórico está de acuerdo con el conocimiento práctico de que los baños de tintura que se agotan más rápidamente son más difíciles de igualar, este hecho no ofrece un método factible para producir tinturas igualadas, ya que es necesario buscar siempre el máximo rendimiento del colorante por razones económicas (3).

En la figura 2.17 se observa la influencia del agotamiento para diferentes velocidades de flujo sobre el tiempo para conseguir una igualación del 95 %. Desde el punto de vista de agotamiento del colorante y su influencia sobre la igualación del empaquetado, el sistema debe regularse para producir una absorción uniforme del colorante, esto se logra mediante un con-

trol adecuado de la temperatura.

b) El tiempo de igualación para un agotamiento final dado, decrece con el incremento de la velocidad del flujo como se puede ver en la gráfica 2.17 (b) y éste depende del tipo y características de máquina tintórea.

c) Existe una diferencia esencial entre el comportamiento de los colorantes lentos y rápidos, desde el punto de vista del mecanismo mediante el cual se consigue la igualación en la tintura de los empaquetados.

Con los colorantes lentos, el empaquetado está casi igualado desde el principio de la tintura (fig.2.18) y permanecerá igualada durante todo el proceso; sin embargo con un colorante rápido (fig. 2.19) en un principio el colorante queda acumulado en determinadas zonas, las cuales aparecen sobreteñidas y posteriormente va siendo trasferido a las zonas menos teñidas del empaquetado. La velocidad de transferencia depende principalmente de q/KV , de forma tal que si este parámetro es grande, el colorante se distribuye uniformemente desde un principio de la tintura y si dicha relación es pequeña la distribución es desigual en un principio y tiene que ser igualada por una circulación subsiguiente del líquido, durante un tiempo largo o corto que depende del valor de K .

d) El factor q/KV está relacionado con el espesor del empaquetado; al disminuir el espesor del empaquetado más pronto estará igualada la tintura para un peso total de material, dada

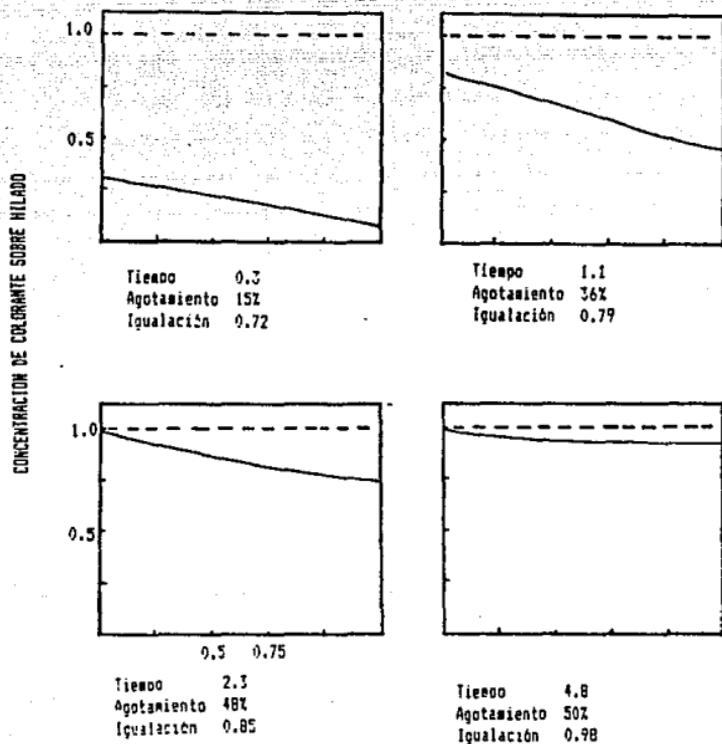


Fig. 2.18 Comportamiento de los colorantes de bajo agotamiento.

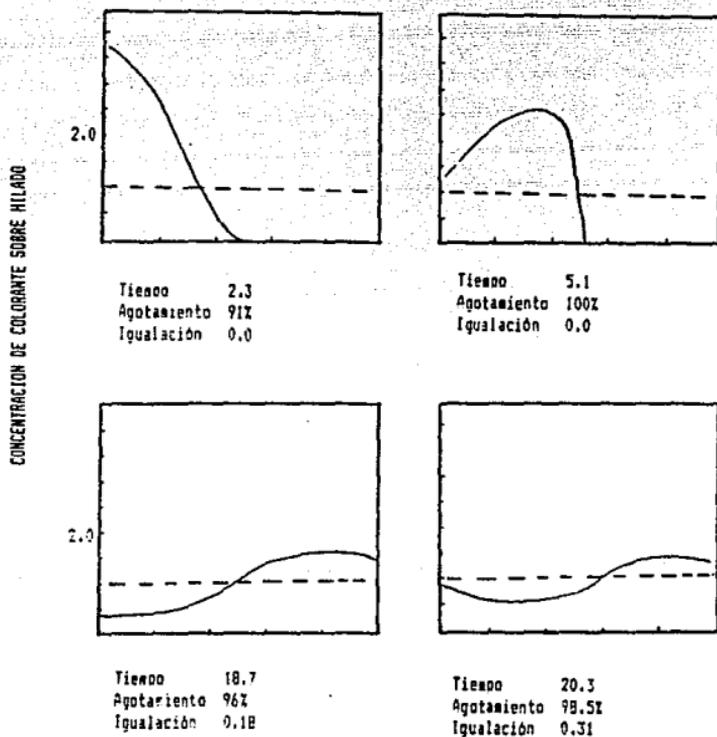


Fig. 2.19 Comportamiento de los colorantes de agotamiento

elevado.

una velocidad lineal de flujo. La influencia del espesor del empaquetado en la igualación es de gran importancia y se tiene siempre en cuenta para todos aquellos casos donde se exige una tintura garantizada en su uniformidad.(6)

2.4.3 Modelos empíricos.

Los modelos teóricos si bien pueden explicar el comportamiento del sistema tintoreo, son demasiado complicados para su aplicación práctica y por ello las casas productoras de colorantes han presentado correlaciones empíricas, estos modelos facilitan la obtención de tintura igualada en empaquetados textiles de manera optimizada.

2.4.3.1 Modelo Suproma (6).

Carbonel y colaboradores han propuesto el método SUPROMA como forma de determinar los factores más importantes que intervienen en la programación de una tintura, cuyo esquema general es el siguiente:

1° Para cada fórmula de tintura se determina la zona crítica de temperatura ΔT , en la cual se produce la absorción del 80 % del colorante. Ello se efectúa para cada sistema de tintura por datos facilitados en tablas o calculados por diferencia entre la temperatura, T_1 y la temperatura final T_f .

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

2° Conocido el caudal de la bomba para cada tipo de empaquetado Q_p y el volumen de la solución de tintura existente en la máquina V , se determina el número de ciclos por minuto.

$$\text{No. Ciclo/min.} = C = Q \text{ (lts/min.)} / V \text{ (lts)} \dots 2.15)$$

3° A través de experiencias sistemáticas se ha determinado el % de Agotamiento/ciclo = D_t , para obtener una buena igualación. Este valor D_t varía según el sistema de tintura y puede oscilar entre 1-4 % de agotamiento/ciclo. El valor D_t depende de los agotamientos parciales contributivos del colorante ($D_{\text{colorante}}$) y productos auxiliares ($D_{\text{prod. aux.}}$) así como las características del proceso (D_p) y presencia de inversiones en la circulación ($D_{\text{inv. circ.}}$) (6):

$$D_t = D_p + D_{\text{colorante}} + D_{\text{prod. auxiliares}} + D_{\text{inver. circ.}} \dots 2.16)$$

4° Se calcula el número de ciclos necesarios, $C_{\text{nec.}}$ para obtener una tintura igualada.

$$C_{\text{nec.}} = 80 \% \text{ agotamiento} / D_t \dots 2.17)$$

Este número de ciclos necesarios, puede convertirse en minutos, dividiéndolo por el No. de ciclo/min. o circulación existente en la máquina.

$$\text{Tiempo necesario} = C_{\text{nec.}} / (Q/V) \dots 2.18)$$

5° La regulación de la absorción se efectúa, generalmente por control de temperatura, mediante incremento lineal, en la zona crítica ΔT_c ya sea en °C/ciclo o en °C/min.

$$^{\circ}\text{C}/\text{ciclo} = \Delta T_c / C_{\text{nec.}} \dots\dots\dots 2.19)$$

$$^{\circ}\text{C}/\text{min.} = \Delta T_c / \text{minutos necesarios} \dots\dots\dots 2.20)$$

En este sistema se hacen una serie de suposiciones con las cuales discrepan algunos investigadores, pero que tal vez se compensan entre sí, ya que el sistema ha sido probado satisfactoriamente en la práctica.

2.4.3.2 Sistema Beckman.

Beckman y colaboradores (2), utilizan un sistema parecido al anterior pero más simplificado, que resume los siguientes pasos:

1° La velocidad máxima de agotamiento $V_{\text{max.}}$, para conseguir una buena igualación viene dada por la expresión:

$$V_{\text{max.}} = L \cdot u \dots\dots\dots 2.21)$$

L: % agotamiento máximo permitido por ciclo y su valor oscila entre 1-4 %; es análogo al D_c de Carbonell, su valor debe determinarse globalmente mediante ensayos.

u: representa la velocidad global de circulación expresada en ciclos/minuto.

En la tabla 2.9, se indican los valores de velocidad máxima de agotamiento V_{max} y el tiempo neto de agotamiento t_n para diferentes valores de u y para $L = 1$ y 2% de agotamiento por ciclo. Los valores de V son ligeramente inferiores a los de V_{max} por razones de seguridad en la igualación.

A partir de 6 ciclos/min. no se obtienen reducciones interesante en los t_{net} .

2° Para cada sistema tintóreo existe un valor de calentamiento adecuado h , para obtener una buena igualación, así como un intervalo de aumento de T , ambos valores deducidos de la experiencia se indican en la tabla 2.10.

La tasa de incremento térmico, h , se calcula mediante la fórmula:

$$V = r \cdot h \quad \dots\dots\dots 2.22)$$

Donde r es el % de colorante absorbido por la fibra por °C de la cual se deduce que la tasa óptima de incremento térmico en °C/min. será:

$$h_{opt.} = L \cdot u / r \quad \dots\dots\dots 2.23)$$

3° En relación a la influencia de los cambios de sentido de la circulación, la experiencia ha demostrado que los valores óptimos se obtienen para un cambio cada 4-8 ciclo.(2)

2.4.4 Geometría del empaquetado. (4).

Los métodos anteriores llevan a una serie de conclu-

Tabla 2.9 Velocidad máxima y tiempo neto, de agotamiento.

u ciclos/min.	V (% agot./min.)		t _n (min.)	
	L = 1 %	L = 2 %	L = 1 %	L = 2 %
1	1	2	100	50
2	2	4	50	25
4	4	8	25	12.5
6	6	12	17	8.5
8	8	16	12.5	6.5
10	10	20	10	5

Tabla 2.10

Sistema fibra/colorante	intervalo de subida t _m °C	% colorante absor- bido por la fibra por cada °C (r)
PAC/catiónicos	12 - 15	8
PES/dispersos	25	4
PA/ácidos	50	2
Lana/ácidos	50	2

siones de tipo teórico-práctico que gobiernan la fijación del colorante en el empaquetado textil, cuando la circulación de la solución se produce siempre en un mismo sentido y cuando la superficie presentada por el empaquetado textil durante la circulación de la solución es idéntica en todo su espesor. Sin embargo, esta última condición nunca se cumple en los empaquetados textiles, ya que su disposición geométrica es la de un cilindro hueco, cuya superficie de admisión para la solución tintórea, interior y exterior, varía en magnitud. (fig. 2.20).

Según la representación indicada en la misma, se define:

Q = Caudal de la solución tintórea que pasa por el empaquetado textil.

t = Tiempo de contacto de la solución tintórea con el empaquetado textil en un solo paso.

S_i y S_e = Superficies de contacto del empaquetado textil.

C_c = Concentración del colorante en la solución tintórea.

T = Temperatura del sistema tintóreo.

K = Reactividad del colorante.

$I \rightarrow E$ = Sentido de circulación interior hacia exterior.

De acuerdo con estos conceptos se puede establecer que la concentración de colorante por unidad de superficie del empaquetado textil C_s , es una función del tipo: $y = f(x)$

$$C_s = f(Q \cdot C_c \cdot t/S) \cdot T \cdot K \dots\dots\dots 2.24)$$

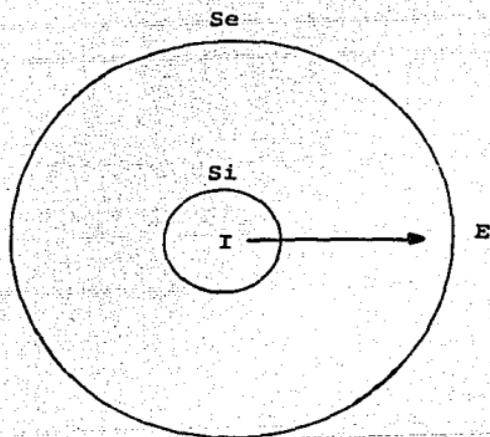


Fig. 2.20 Sección transversal de un empaquetado textil.

Las concentraciones de colorante en las superficies interior y exterior vendrán dadas por las funciones respectivas:

$$C_i = f(Q_i \cdot C_{ci} \cdot t_i / S_i) \cdot T \cdot K \dots\dots\dots 2.25)$$

Cuando se efectúa la circulación I \rightarrow E se cumplen las siguientes condiciones:

$$Q_i = Q_e ; t_i < t_e ; S_i < S_e ; C_{ci} > C_{ce}$$

De acuerdo con ello y con las relaciones anteriores establecidas, es fácil comprender que C_i es mayor que C_e .

Por otra parte si la circulación se efectúa de E \rightarrow I se cumple lo siguiente:

$$Q_e = Q_i ; t_e > t_i ; S_e > S_i ; C_{ce} > C_{ci}$$

En consecuencia se pueden presentar los casos de $C_e < > C_i$ según sean los valores de las concentraciones del colorante y de las secciones del empaquetado. La magnitud en la cual la circulación I \rightarrow E produce una mayor concentración de colorantes en la superficie interior que en la exterior, en relación a la mayor concentración que se produce con E \rightarrow I entre la capa externa y la interna, es mucho más elevada en el primer caso y de ello se derivan los siguientes aspectos;

- 1° Es necesario establecer una circulación alternada en los aparatos de circulación a través de los empaquetados, a fin de igualar las intensidades de las tinturas obtenidas entre el interior y el exterior del empaquetado.
- 2° El tiempo en el cual se debe efectuar la circulación $I \rightarrow E$ es siempre menor que el tiempo $E \rightarrow I$ para obtener un reparto uniforme del colorante en toda la sección del empaquetado
- 3° Conforme los empaquetados tengan una configuración geométrica en donde la diferencia de superficies interior y exterior tienda a anularse, será menos necesario la inversión de la circulación, ya que la concentración de colorante en ambas superficies tenderá a ser igual.(6)

2.4.5 Acabado.

El acabado comprende todos los tratamientos posteriores al teñido como son; los baños reductivos, suavizado y secado. Los tintoreros consideran a esta parte la más importante pues propociona al hilo la apariencia y propiedades que requiere el usuario final. Para el caso de los colorantes dispersos los tratamientos químicos posteriores al teñido tienen por objeto eliminar el colorante residual de la fibra, que no se difundió dentro del poliéster y quedó en la superficie.

2.4.5.1 Baño reductivo.(19)

Tiene por objeto el destruir el colorante que se ha

adherido superficialmente a la fibra, o solubilizando para retirarlo de la superficie, normalmente se realiza en forma combinada, los productos utilizados son; hidrosulfito de sodio y sosa cáustica al 50 %

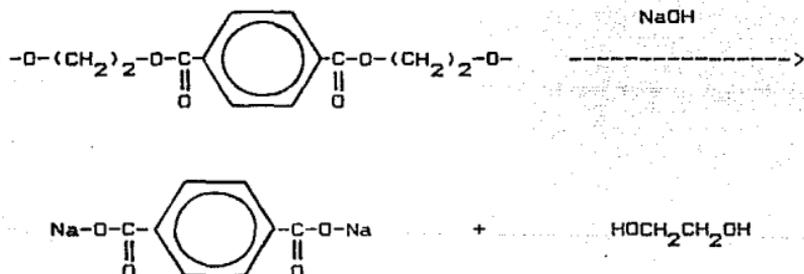
Las cantidades varían de acuerdo a la concentración de colorante utilizado en el baño (1 - 4 g/l), éste tiene por objeto obtener la mejor solidez al frote posible, la sosa además de hidrolizar las moléculas del colorante o disolverlas, modifica la superficie del poliéster.

2.4.5.2 Caustificado (20).

Por este proceso se da un tacto sedoso al poliéster que no se obtiene con ningún producto convencional de acabado como son los suavizantes (se pierden en las lavadas) y los silicones (no soportan lavado en seco), este proceso no se recomienda para los hilos de costura convencionales debido a la reducción de la resistencia, debe tenerse mucho cuidado con el % de degradación del poliéster. Normalmente este proceso se utiliza en telas, pero en experimentos recientes ha dado resultados satisfactorios en hilos de costura como son los filamentos continuos, estos tipos de hilos presentan el problema de no poder depositar el producto lubricante (deslizante) homogéneamente en el poliéster, produciendo con esto puntos que en conjunto con las agujas de costura elevan la temperatura debido a la --

fricción produciendo un alto porcentaje de roturas, de aquí que el poliéster sea utilizado en máquinas de costura de velocidad relativamente baja. Con este tratamiento el filamento continuo se elimina el tener que lubricar el hilo en una máquina diferente a la de teñido como se realiza actualmente, reduciendo apreciablemente el costo de producción de estos filamentos.

El proceso consiste en transformar químicamente al poliéster de la superficie del filamento en tereftalato de sodio; con lo cual se reduce su peso:



Para control de la reducción de peso, los japoneses aplican la siguiente fórmula:

$$\% \text{ R.P.T.} = 192 (\% \text{ NaOH}) / 80 \dots\dots\dots 2.26)$$

El porcentaje de reducción de peso es igual al peso molecular del monómero del poliéster, multiplicado por el % de sosa aplicado sobre el peso del material y dividido entre dos veces el peso molecular de la sosa cáustica.

Las concentraciones de sosa recomendada es de 5 a 10 g/l; debe tenerse mucho cuidado con la temperatura ya que la reducción de peso aumenta exponencialmente conforme aumenta la temperatura y el tiempo.

2.4.5.3 Lubricado.

El lubricado tiene por objeto darle al hilo de costura las propiedades adecuadas para disminuir el mínimo la fricción que éste provoca en las máquinas de costura.

Los lubricantes utilizados para este efecto son aceites de silicón (polisiloxanos) de diferentes viscosidades, los más usuales se encuentran entre 10000 y 50000 cp., estos compuestos se utilizan por su alta resistencia térmica y su estabilidad al medio ambiente, además de no influenciar apreciablemente el tono de los hilos teñidos. Estos lubricantes se venden emulsionados, hecho que facilita su aplicación en los hilos de costura. Las depositos recomendados son de 2 a 3 %, aunque normalmente se utiliza mayores cantidades debido a problemas de homogenización en toda la superficie de las fibras de poliéster.

3.0 OBJETIVOS.

Los objetivos del presente trabajo son:

- 1.- Exponer los fundamentos de fluidodinámica, maquinaria y procesos típicos para teñir empaquetados textiles.
- 2.- Realizar un análisis de los productos utilizados en la tintura de la fibra poliéster, así como los criterios utilizados para su selección y uso.
- 3.- El efectuar un análisis de los parámetros involucrados en el proceso de tintura de la fibra poliéster hilada en empaquetados textiles, desde la preparación de los empaquetados textiles hasta el acabado.
- 4.- Analizar los fundamentos técnicos y científicos involucrados en el proceso de tinción haciendo una recopilación y mención de los artículos reportados en las revistas técnicas relacionados con la industria textil.
- 5.- Probar los modelos empíricos basados en los modelos teóricos en la práctica.

4.0 DISCUSION Y RESULTADOS.

Despues de analizar los antecedentes se decidió aplicar los modelos empiricos basados en los modelos teóricos, previamente descritos, a un caso concreto en la práctica, para evaluarlos y tener control sobre el proceso; a continuación se mencionan los resultados y observaciones por etapas del proceso, desde la preparación del hilo hasta la tinción.

4.1 Preparación del hilo para tinción.

La aplicación de los fundamentos se llevó a cabo sobre hilo calibre 80/3, éste se escogió debido a que es el punto medio de grosor entre los hilos de costura. Este hilo proveniente de la hilatura se sometió a un primer enrollado con una velocidad de alimentación de 770 m/min y una tensión de alimentación de 45 +/- 5 g en un porta materiales de aluminio colado con dimensiones de 13 cm de diámetro, 55 cm de altura y 3 mm de espesor (ver fig. 2.8). El espesor del material fué de 1 cm; para tener idea física del grosor del hilo, el calibre se define como:

$$\text{Calibre} = \text{NM} / \text{número de cabos} \dots\dots\dots 4.1)$$

donde: NM = número métrico y que es igual a número de metros que pesa un gramo.

Para este caso particular 80 metros de hilo pesan un gramo pero como son tres cabos, 26.6 metros pesaran un gramo.

La especificación del hilo usado fue la siguiente, en promedio:

NM REAL	PESO DE BOBINA g	RESISTENCIA	% ELONGACION
77.6	1565	43.6	14.8

La resistencia es igual a la resistencia en gramos multiplicada po NM entre 1000 tomando en cuenta el número de cabos. La determinación de las condiciones del primer enrollado se llevo a cabo con una serie de experimentos a diferentes tensiones, los resultados fueron los siguientes.

A tensiones menores de 35g el enrollado se hace muy voluminoso, se dificulta su manejo debido a que el hilo se sale del tubo que lo soporta.

A tensiones mayores de 55g el hilo desprende peluza en los puntos de rozamiento y en consecuencia de esto perdida de peso y resistencia.

4.2 Termofijado.

El termofijado tiene como objetivo el conservar las torciones del hilo y ordenar el arreglo moléculas dejando espacios intermoleculares homogéneos (mencionado en el punto 2.2.4)

El material del punto anterior se metió a una cámara MQHR; la cámara tiene una capacidad específica de 85.5 kilowatt

de calentamiento eléctrico y un ventilador con capacidad de 10800 m³/h de aire. El material especificado en el punto anterior se sometió al tratamiento térmico utilizando como punto de referencia 180 °C reportado en la literatura.

Se hicieron pruebas variando el tiempo de termofijado como se indica a continuación:

Temperatura 180 °C

t min	\bar{x} Resistencia	\bar{x} % Elongación
30	43.7	14.4
45	43.5	13.8
60	43.5	13.3
75	43.9	12.3
90	43.7	11.2
105	43.0	11.5
120	41.8	12.0
135	38.5	11.5
150	36.3	12.0

Los resultados obtenidos indican que a 90 minutos existe un mínimo de % de elongación, estas pruebas se hicieron en la misma máquina, los resultados fueron los siguientes:

Los empaquetados sometidos a 30, 45 y 60 minutos de ter

mojijado se formo un anillo sobreteñido en el devanado, siendo más intenso en el de 30 minutos. Los empaquetados con 75 min. presentan unicamente una ligera deformación del empaquetado. Los empaquetados con 90 min de termofijado su teñido fue homogéneo y sin deformación. Los empaquetados con 105 y 120 minutos de termofijado, el teñido fué homogéneo pero presentaron peluza en la superficie, pruebas de resistencia y elongación mostraron que el hilo había perdido resistencia y peso. Los empaquetados con 135 y 150 minutos de termofijado presentaron formación de peluza y una pérdida de resistencia mayor a las pruebas anteriores, a continuación se resume los resultados:

Pérdida de resistencia en el teñido

Empaquetado	Resistencia	Resistencia
	inicial	final
105 min	43	42.5
120 min	41.8	40.5
135 min	38.5	36.8
150 min	36.3	33.4

Otras pruebas adicionales variando la temperatura mostraron lo siguiente.

Para un tiempo de termofijado de 90 minutos a temperaturas menores de 170 °C, el termofijado era deficiente provocan-

do en el teñido deformación y anillos sobreteñidos en el empaquetado. A temperaturas mayores de 190 °C el material se sobreteñe en tramos del hilo y se aprecia plastificación del material a 210°C.

La producción normal se termofijo a una temperatura de 175°C durante 2 Horas, obteniéndose los siguientes datos promedio:

NM	PESO DE BOBINA g	RESISTENCIA	%ELONGACION
77.8	1556	43.5	12.4

En base a los resultados de las pruebas anteriores se decidió termofijar el hilo de prueba a 180°C y 90 minutos obteniéndose los siguientes resultado:

NM	PESO DE BOBINA g	RESISTENCIA	%ELONGACION
77.8	1563	43.8	11.7

4.3 Segundo enrollado.

Una vez termofijado el material se enrolla en núcleos de acero inoxidable tipo 316 de dimensión de 25 cm de altura -- por 5 cm de diámetro y 2 mm de espesor. Este núcleo está perforado en un 46 % del area total del cilindro que forma el núcleo el porcentaje puede variar dependiendo del material que se utilice, claro está que entre más perforaciones será mejor para la distribución del baño de tintura sobre el hilo. El hilo se enrolla a una velocidad de alimentación de 800 m/min la tensión

de alimentación fué de 30-40 gramos. Con esto se tiene preparado el hilo para introducirlo al autoclave y teñirlo.

4.4 Colorantes y productos auxiliares

Normalmente los proveedores de colorantes ofrecen sus productos auxiliares bajo recomendaciones, las cuáles es importante considerar para reducir las pruebas a efectuar.

Experimentalmente se reprodujeron las curvas de rapidez de teñido y reproducibilidad, estando de acuerdo con el proveedor, de estas curvas se obtienen los siguientes datos del colorante, fundamentales para la determinación del costo: (fig.4.2 y 4.3).

- a) % de color montado
- b) Reproducibilidad
- c) Intensidad
- d) Características tintóreas (matiz, tono)

Los colorantes fueron seleccionados para la producción normal bajo la bases antes expuestas, por lo que no se realizó esta selección en este trabajo. A continuación solo se describe los pasos que se sigue para la selección de estos.

Suponiendo dos colorantes A y B que tienen el mismo precio y aproximadamente las mismas curvas pero difieren en intensidad, esto es: uno dá una concentración de tintura mayor, precisamente se escoge éste ya que se usará menos colorante.

A las tinturas se les evalúa la solidez al frote, a la luz y sublimación, para verificar que los datos informados por el productor del colorante sean correctos y estén dentro de los parámetros de calidad requeridos; aunado a esto se utilizan los productos auxiliares para evaluar su influencia en el costo y demás características de las tinturas.

Las pruebas antes mencionadas son evaluadas visulmente contra la escala gris de la British Standards Institution BS 1006 A02, la escala varia del valor 1 al 5 el número uno equi vale a un gris y el 5 a un blanco y los puntos intermedios entre el 1 y el 5 son variaciones de intensidad del gris en forma descendente, para los colorantes seleccionados los valores son de 5 que se considera excelente.

Otro aspecto técnico que se observa en la curva es que los porcentajes de colorante sobre la fibra deben ser menores al punto de intersección entre el % de colorante/fibra y 130°C, ya que si se eleva ese porcentaje cualquier variación en temperatura desviaría el tono, llegando a provocar cambios en las propiedades de la tintura debido a la saturación de color en la fibra quedando colorante sin utilizar en el baño y elevando considerablemente el costo, ésto se debe tener en cuenta cuando se mezclan 2 o más colorantes.

Estas mismas curvas sirven para determinar el gradiente de temperatura promedio que se deberá utilizar.

La reproducibilidad de las tinturas está relacionada

con las propiedades de los colorantes, como se puede apreciar en la tabla 4.1. El tiempo de teñido a 130°C viene influenciado por estos parámetros, por ejemplo: si se usan colorantes de alta energía se utilizará más tiempo en tratar de difundir el color; en la figura 4.1 se representa esquemáticamente el proceso de tinción; en el punto B se podría considerar terminada la tintura pero ésta sería inestable a tratamientos posteriores por lo que siempre se deberá llevar hasta el punto C. Sólo para el caso de teñido de colorantes de alta energía, es posible utilizar un portador que eleve la energía vibracional de las fibras y así las moléculas del colorante puedan migrar hacia el interior de la fibra. Es importante reducir al mínimo el tiempo de tintura debido a la degradación del polímero así como pérdidas de peso debido al arrastre de fibras por el flujo que circula a través del empaquetado.

La selección de los productos auxiliares se realiza experimentalmente; para esto se prueba un color difícil, por experiencia los tonos grises son los más problemáticos debido a que una pequeña variación de los productos auxiliares desvía el tono. Para una concentración dada se adicionan diferentes cantidades del producto auxiliar, se compara contra un estandar y se evalúa el efecto de los reguladores del pH, los dispersantes y los antiespumantes, los secuestrantes se usan cuando el agua de los baños de tintura se calienta con vapor directo o proviene de pozos con un alto contenido de metales que reducen los co

lorantes o forman complejos que disminuyen la eficiencia de la tintura. Para correlación con los modelos teóricos y aplicación de fundamentos, se usará el modelo suproma y su metodología en la resolución de problemas para el teñido de poliéster en empaquetados textiles.

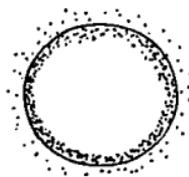
Tabla 4.1 Colorantes de energía baja, mediana y elevada.

Propiedades	baja energía	mediana	alta
Molécula	pequeña	mediana	muy grande
Solidéz a la sublimación	débil a media	buena	excelente
Migración	buena	media	bastante baja
Difusión en la fibra	rápida	media	lenta
Sensibilidad a diferencia de afinidad por la fibra	débil	media	media a elevada



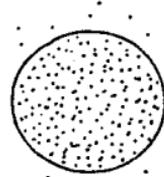
(A)

Inicio



(B)

Tintura Periferica



(C)

Tintura Final

Fig. 2.21 Ilustración esquemática de la fijación de un colorante.

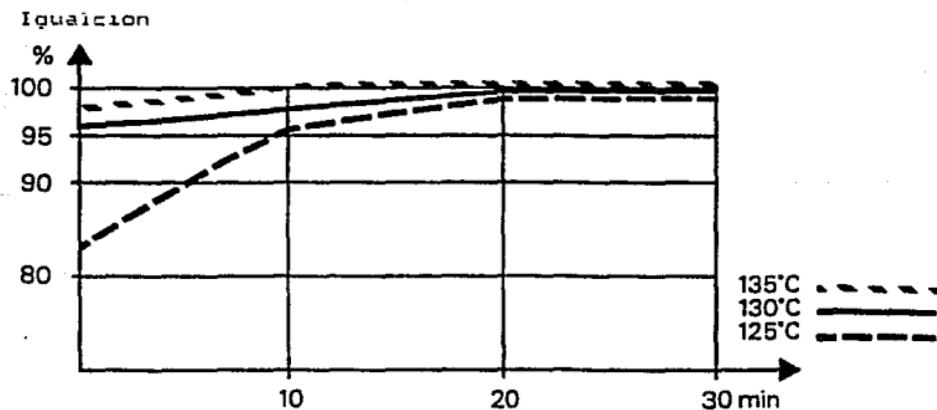
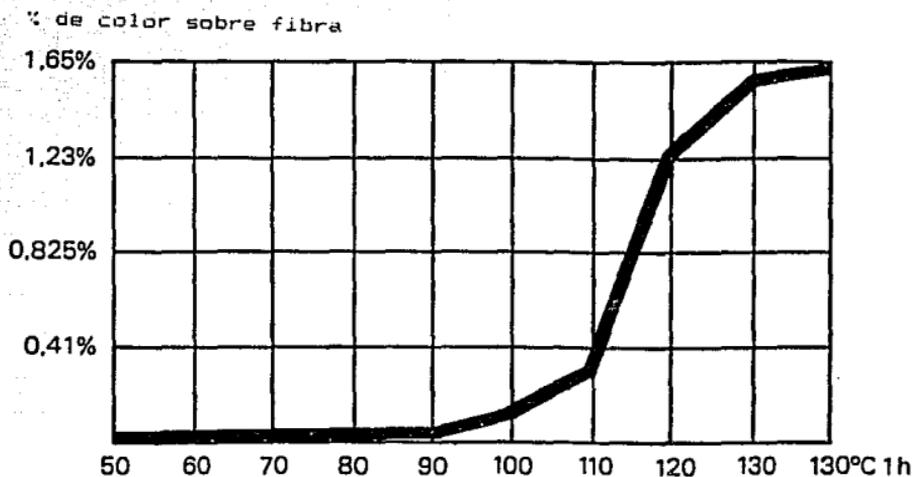
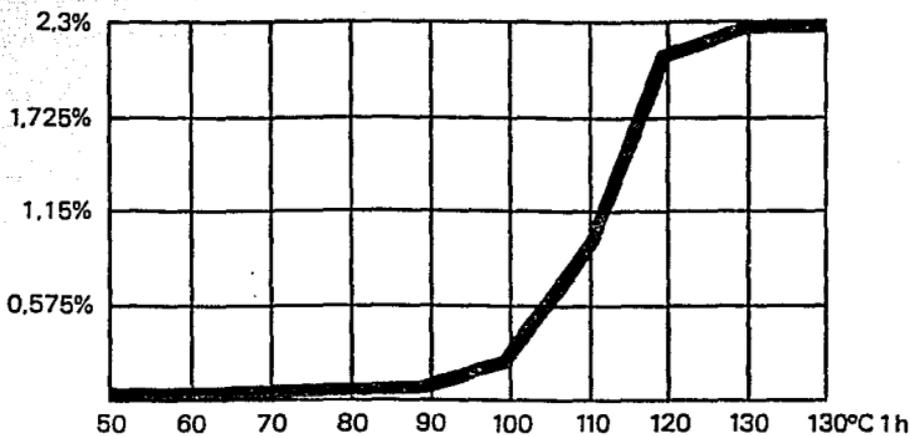


Fig.4.2 Curvas de rapidez de teñido y reproducibilidad del Azul Disperso 79.

% de color sobre fibra



Igualción

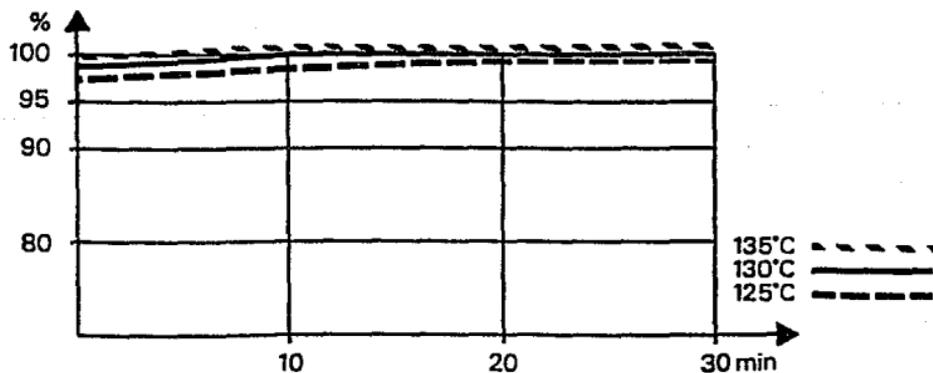


Fig.4.3 Curvas de rapidez de teñido y reproducibilidad del Cafe Disperso 4.

4.5 Teñido.

Se usaron los colorantes especificados en las fig.4.2 y 4.3 para un tono gris medio (1 % de color/peso de fibra), la fórmula contiene 60% del azul y 40% del café. El tono gris es considerado difícil, ya que cualquier variación de auxiliares o condiciones de teñido se desvia el tono. Se uso el modelo suproma y su metodología por considerarlo aplicable a la práctica, como se describe a continuación.

Método Suproma (2.4.3.1)

Primero se determina la zona crítica de temperatura usando la figura 4.2 y 4.3, $T = 110 - 90 = 20^{\circ}\text{C}$

Para este caso se utilizó una máquina con una bomba helicocentrífuga de 7.5 HP con un caudal de 500 l/min y un volúmen de baño de 125 l con una relación de baño de 1:5.

Aplicando la ecuación 2.15 tenemos:

$$\text{No. Ciclos} = 500 \text{ l/min} / 125 \text{ l/ciclo} = 4 \text{ ciclos/min.}$$

La determinación de $D_t = \% \text{ agotamiento/ciclo}$ se llevó a cabo con varias tinciones y para este caso específico se encontró que era $D_t = 4$.

Por lo tanto el número de ciclos necesarios de la fórmula 2.17 es:

$$C_{nec} = 80/4 = 20 \text{ ciclos}$$

El tiempo necesario, de la fórmula 2.18:

$$T = 20/4 = 5 \text{ min.}$$

Utilizando la ecuación 2.20 se calcula el gradiente de calentamiento para control de la temperatura:

$$^{\circ}\text{C}/\text{min} = 20/5 = 4^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

Con estos datos se realiza el programa de tintura, la circulación que se manejó fue de 1 minutos para el flujo de fuera de la bobina hacia dentro y 1/2 min. al contrario; se hicieron varios teñidos encontrándose una alta reproducción de las tinturas. Los datos finales del hilo teñido fueron:

NM	PESO DE BOBINA g	RESISTENCIA	% ELONGACION
78.3	1554	43.2	13.3

Contra los de la producción normal:

NM	PESO DE BOBINA g	RESISTENCIA	% ELONGACION
79.5	1548.9	39.6	15.2

De acuerdo con los datos finales del hilo teñido y haciendo una comparación entre la producción normal y de prueba se obtuvo lo siguiente:

Utilizando el modelo suprema se tienen menores pérdidas de material, resistencia y elongación en comparación con

el programa de prueba, otro aspecto relevante es que el tiempo de tintura entre la producción normal y la aplicación del modelo se redujo en 30 min. y consecuentemente el daño al material.

La eficiencia de agotamiento del colorante y la igualdad entre la parte exterior e interior de la bobina fué mejor que la producción normal, ya que en la producción normal se encontraron bobinas con tonos más oscuros, se detectó principalmente a dos factores: la tensión utilizada en el enrollado y la temperatura de termofijación del material téxtil.

Para la prueba se verificó que los parámetros de producción estuvieran dentro, tanto de los límites establecidos en este trabajo como de los correspondientes a la operación normal de fábrica. Una vez teñido el material se tomaron muestras para evaluar la solidez al frote, que es una forma de evaluar el colorante residual sobre la superficie de la fibra, obteniéndose un resultado de 5 contra la escala gris. tanto para la prueba como para la producción normal. Esto representa una ventaja ya que no sería necesario darle un baño reductivo ahorrando tiempo, energía y productos químicos. A la producción normal se le dió el baño reductivo con 1 g/l de hidrosulfito y 1 g/l de sosa cáustica al 50 % a 80°C y se lubricó con 6 % de emulsión de aceite de silicón a 60°C, a la corrida de prueba se le dió un tratamiento de caustificación con 6 g/l de sosa cáustica al 50 % durante 10 min a 70°C y después se lubricó con 6 % de emulsión de aceite de silicón a 60°.

Lo anterior dió los siguientes resultados:

Corrida de prueba

NM	RESISTENCIA	SUAVIDAD	COSTURA TERMICA	EXTRACCION
76	41.3	140-145	32+/- 4	4.5%+/-0.5

Producción normal

NM	RESISTENCIA	SUAVIDAD	COSTURA TERMICA	EXTRACCION
77	39.4	203-240	16+/- 6	3.5 +/- 1

Como se puede observar en los datos, con el caustificado se obtienen mejores datos en las propiedades de suavidad y costura térmica aunque la resistencia se ve afectada ligeramente, las otras propiedades son buenas en comparación con la producción normal. El dato de suavidad se obtiene poniendo un tensiómetro sobre el paso de hilo, que simula los puntos de rosaamiento en una máquina de costura industrial; la cosura térmica se obtiene cosiendo el hilo sobre varios pliegues de mezclilla, para este caso fueron 4.

El depósito de aceite sobre la fibra es mas homogénea en la prueba.

5 CONCLUSIONES

Se expusieron y analizaron los fundamentos y parámetros involucrados en el proceso de tinción de la fibra poliéster hilada en empaquetados.

La tinción estática es el proceso típico para teñir empaquetados textiles.

La maquinaria se agrupa y clasifica de acuerdo al proceso por el cual el colorante se fija en el material textil.

El equipo empleado en el teñido de empaquetados textiles: a) opera en circuito cerrado, b) permite invertir el sentido del flujo a través del material, c) requiere de portamateriales que proporcionen una distribución uniforme de la solución tintórea en el material textil e intercambiadores de calor que sean capaces de obtener rápidamente las temperaturas deseadas, d) la bomba debe mantener la presión y caudal suficientes para tinción de empaquetados de diferentes características estructurales. Los fundamentos de fluidodinámica son utilizados para conocer el sistema de tintura así como sus limitaciones, ventajas y capacidad para poder mejorar un proceso existente ó desarrollar uno nuevo.

La preparación del hilo es la parte fundamental para la obtención de un producto de calidad excelente.

Los principales factores que influyen en el primero,

segundo enrollado y en el termofijado, que afectan directamente al empaquetado textil y por consiguiente la tinción de éste, son: el peso, la tensión y la temperatura.

Los colorantes se clasifican de varias formas en función de su interés de uso: constitución química, método de aplicación, etc...

La química de los colorantes es fundamental para su uso y optimización en fibras textiles.

La selección de los colorantes y productos auxiliares requiere de pruebas experimentales a nivel de laboratorio simulando el proceso que éstos tendrán en la planta, así como la evaluación de todos los parámetros de influencia para alcanzar un producto óptimo que esté de acuerdo a la calidad y características que exige el mercado.

Debido a la gran variedad de parámetros involucrados en el teñido es más práctico utilizar los modelos empíricos basados en los modelos teóricos y probados en la práctica.

El modelo suprema aplicado en este trabajo, en comparación con el método de producción existente, permitió visualizar una reducción en el tiempo de tinción, optimizar la operación de caustificado y mejorar la calidad y acabado de la fibra poliéster teñida para obtener un color considerado difícil ó crítico.

BIBLIOGRAFIA

- BARROSO, A.M., *ESTUDIO MONOGRAFICO SOBRE EL POTENCIAL Z.* Tesis, U.N.A.M., México 1970.
- BECKMAN, W. Hoffmann, F., *METODO PARA LA TINTURA DE EMPAQUETADOS TEXTILES.* Textile Chemist and Colourist, 9, (2) 23 England (1977)
- BOULTON, J. & Crank, J., Efecto de la relación de baño sobre la igualación de fibras celulósicas con colorantes directos en la tintura de empaquetados. *J. SOC. DYERS COLOURISTS* 68 (2), 109. England 1952.
- CARBONELL, J., Hasler, R., *Método Suproma para la tintura de empaquetados textiles.* Mliianá Textilb 55 (1), 149. Suiza (1974).
- CASTILLO, A.F., *POTENCIAL Z.* Tesis, U.N.A.M. F.Q. México 1971.
- CEGARRA, J., *FUNDAMENTOS DE LA MAQUINARIA DE TINTORERIA.* Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrasa. Universidad Politécnica de Cataluña, España 1987.
- HOFFMANN, F., Mueller, F., *MODELO TEORICO PARA EL ESTUDIO DE LA IGUALACION DE LA TINTURA EN LOS EMPAQUETADOS TEXTILES,* J.S. Dyers Colourist (1), 178. England (1979)
- HOLFELD, W.T., Terminal Energy on Poliester (Part 1) Textile Chemist and Colorist, 10 (2), 18 England (1978).
- HOLFELD, W.T. & Shepard, M.S. Terminal Energy on Poliester (Part 2) Textile Chemist and Colorist 10 (3), 20 England (1978).
- KARASSIK, I.J., *CENTRIFUGAL PUMS AND SYSTEM HIDRAULICS.* Chemical Engineering 89 (20), 84 McGraw-Hill, N.Y. (october 4, 1982).
- KRANTZ, H., Boletín Técnico Krantz D5100 Aachem: Maschinenbau. Gmb & Co. W. German 1988.
- MCGREGOR, R. and Peters, R.H., *THE EFFECT OF RATE OF FLOW ON RATE OF DYEING.* J. Soc. Dyers Colourists, 81 (5), 393-400 England 1965.
- MORRISON, R.T. and Boyd, R.N., *QUIMICA ORGANICA.* 1a. Ed. Esp. Fondo Educativo Interamericano. México 1976.

- PERRY, R.H. and Chilton, C.H., *MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO*. 5a. Ed. Esp. McGraw-Hill, N.Y. 1973.
- RINCON, C., *CAUSAS Y CONTROL DEL BARRE EN EL POLIESTER*. Cromos 37 México (1980).
- RODRIGUEZ, F., *PRINCIPLES OF POLYMER SYSTEMS*. 2nd. Ed. McGraw-Hill, N.Y. 1983.
- RODRIGUEZ, M.R., *MANUFACTURA, USOS Y PROPIEDADES DEL POLIETILEN TEREFTALATO*. Trabajo monográfico de actualización, Facultad de Química, U.N.A.M., México 1988.
- ROVIRA, J., *ALGUNOS ASPECTOS DE LA QUIMICA DE LOS COLORANTES*. Cromos, 35/36 (1,2) 32, México 1980.
- SANDOZ DE MEXICO, S.A., *Poliéster. Técnicas de Ennoblecimiento*. Boletín Técnico 9105/81, México 1981.
- SILVA ZAYAGO, M.F., *PROCESO DE REDUCCION DE PESO DEL POLIESTER POR CAUSTIFICADO*. Cromos 47 (2), 14, México 1983.
- SOLOMONS, T.W.G., *QUIMICA ORGANICA*. 1a. Ed. Esp. Limusa, México 1979.
- TALWAR, M., *ANALYZING CENTRIFUGAL PUMP CIRCUITS*. Chemical Engineering 90 (17), 69 McGraw-Hill N.Y. (August 22, 1983).
- THE SOCIETY OF DYERS AND COLOURISTS AND THE AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMIST AND COLOURISTS. *COLOR INDEX* 1a. Ed. Chorley & Pickersgill LTD., Great Britain, 1971.