



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

DETERMINACIÓN DE TRICROMÍAS PARA TEÑIR POLIÉSTER BASÁNDOSE EN LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO DE COLORANTES DISPERSOS

Gabriela Lucía Arriaga de León

Asesorada por: Ing. Miguel Ángel Durán Ambrosy

Guatemala, mayo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE TRICROMÍAS PARA TEÑIR POLIÉSTER
BASÁNDOSE EN LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO DE COLORANTES
DISPERSOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIELA LUCÍA ARRIAGA DE LEÓN

ASESORADA POR: ING. MIGUEL ÁNGEL DURÁN AMBROSY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE TRICROMÍAS PARA TEÑIR POLIÉSTER BASÁNDOSE EN LAS CURVAS DE AGOTAMIENTO DE COLORANTES DISPERSOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 7 de febrero de 2005.

Gabriela Lucía Arriaga de León

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Por su apoyo en este triunfo, que sea para ellos el mejor reconocimiento de su esfuerzo

A mis amigos

Jorge Eduardo Mur , Emilio José Herrera y Werner Portillo García por su ayuda y valiosa colaboración en el desarrollo de este trabajo

A mi asesor

Miguel Angel Durán Ambrosy

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. POLIÉSTER	1
1.1 Producción por copolimerización	2
1.2 Producción de poliéster modificado	2
1.3 Propiedades de la fibra	3
2. COLORANTES DISPERSOS	5
2.1 Mecanismos de tintura	6
2.2 Clasificación de colorantes dispersos	8
2.2.1 Colorantes azoicos	8
2.2.2 Colorantes antraquinónicos	9
3. MÁQUINAS DE TINTURA	11
3.1 Clasificación tintórea	11
3.1.1 Transferencia del colorante desde la solución hacia la fibra por efecto de afinidad	11
3.1.2 Máquinas con la materia textil estática y la solución tintórea en movimiento	13
3.1.3 Máquinas con la materia textil en movimiento y la solución tintórea estática	14

3.1.4	Máquinas en las cuales tanto la materia textil como la solución tintórea se encuentran en movimiento	15
4.	PROCEDIMIENTO DE TINTURA POR AGOTAMIENTO	17
4.1	Condiciones técnicas para la tintura por agotamiento	21
4.1.1	Dispersión	21
4.1.2	Agentes de dispersión	22
4.1.3	Estabilidad de dispersión	23
4.1.3.1	Energía térmica	25
4.2	Igualación	26
4.2.1	Migración	26
4.3	Adsorción controlada	27
4.3.1	Zona de temperatura crítica	28
4.3.2	Influencia del sustrato	29
4.3.3	Influencia de la cantidad de colorante	29
4.4	Tintura óptima	29
4.4.1	Poder de subida	30
4.4.2	Influencia de la temperatura	30
4.4.3	Influencia del carrier	31
4.4.4	Tiempo de fijación mínimo	32
4.4.5	Influencia de los productos aceleradores	32
4.5	Factores influyentes en la tintura	32
4.5.1	Resistencia a la hidrólisis	33
4.5.2	Sensibilidad a la reducción	33
4.5.3	Iones metálicos	33
4.6	Diferencia de afinidad	34
4.7	Oligómeros	34

5.	NOCIONES DE COLORIMETRÍA	35
5.2	El objeto	38
5.3	Detectores de la luz reflejada	38
5.4	Medición del color	39
5.5	Valores triestímulos	40
5.6	Sistema CIELAB	40
5.6.1	Valor de saturación rojo-verde	41
5.6.2	Valor de saturación amarillo-azul	41
6.	CURVAS DE AGOTAMIENTO	43
7.	METODOLOGÍA	45
7.1	Recursos humanos	45
7.2	Material y equipo	45
7.3	Reactivos	45
7.4	Elaboración de las curvas de agotamiento	46
7.5	Determinación de tricromías	47
8.	RESULTADOS	51
9.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	56
	REFERENCIAS	57
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ÁPENDICE	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Obtención de la fibra de poliéster por polimerización	1
2	Mecanismo de reacción de los colorantes dispersos	7
3	Proceso de teñido con colorantes de dispersión en baño	12
4	Máquina de tintura materia textil estática, solución en movimiento	13
5	Máquina de tintura materia textil en movimiento, solución estática	14
6	Máquina de tintura materia textil y solución en movimiento	15
7	Representación de las fases de tintura	19
8	Curva de subida de colorante disperso	28
9	Descomposición de luz blanca	36
10	Curvas de agotamiento de colorantes	43
11	Elaboración de las curvas de agotamiento	48
12	Determinación de tricromías	49
13	Curvas de agotamiento de colorantes dispersos	52
14	Curva de agotamiento naranja Dianix S-G 200%	59
15	Curva de agotamiento negro Dianix CC-R	60
16	Curva de agotamiento rojo Dianix Luminoso G	60
17	Curva de agotamiento turquesa Dianix S-BG	61
18	Curva de agotamiento azul marino Dianix S-2G	62
19	Curva de agotamiento amarillo pardo Dianix S-2R 150%	62
20	Curva de agotamiento amarillo Dianix S-4G	63
21	Curva de agotamiento amarillo Dianix luminoso 10G	63
22	Curva de agotamiento negro Terasil WW-KS	64
23	Curva de agotamiento rojo Dianix CC-R	64

24	Curva de agotamiento rubina Dianix S-2G 150%	65
25	Curva de agotamiento azul royal Dianix S-BG	65
26	Curva de agotamiento amarillo Dianix SE-G	66
27	Lectura dE verde	67
28	Lectura dE rojo	68
29	Lectura dE azul	69

TABLAS

I	Longitud de onda de cada color	36
II	Reactivos	46
III	Grupos de colorantes dispersos para formar tricromías de color	51
IV	Comparación dE	52

LISTA DE SÍMBOLOS

dA	Diferencia en eje rojo – verde
dB	Diferencia en eje amarillo – azul
dC	Diferencia de cromaticidad
dE	Diferencia total de energía
dL	Diferencia de luminosidad o intensidad
nm	Nanómetros
λ	Longitud de onda

GLOSARIO

Absorción	Penetración de una sustancia en otra, generalmente gas o vapor en un líquido dando lugar a una disolución.
Auxiliares de tintura	Sustancias que se agregan al baño de tintura para mejorarla. Pueden ser necesarias para transferir el colorante del baño a la fibra o pueden mejorar la igualación, dispersión, penetración, etc. También llamados asistentes de tintura.
Baño residual	Cantidad de colorante que no sube del baño de tintura al material textil después de finalizar el proceso de tintura por agotamiento.
Baño de tintura	Es la cantidad de agua con auxiliares de tintura y colorantes utilizados durante el proceso de tintura.
Barrado	Defecto de la tela causado en hilatura, cuya característica es una franja horizontal.

Carrier (vehículo)

Auxiliar de tintura, utilizado para aumentar la velocidad de difusión de los colorantes, el rendimiento tintóreo y mejorar la migración, de acuerdo con la temperatura y dosificación.

Colorante

Sustancia que imparte color al material textil por absorción en la fibra. Los colorantes difieren en su resistencia a la luz, sudor, lavado, álcalis, bases. Su afinidad por las diferentes fibras, su reacción a los agentes y métodos de lavado, su solubilidad y métodos de aplicación.

Colorante disperso

Es un tipo de colorante poco soluble en agua, se utiliza para teñir fibras sintéticas.

Compensación migratoria

Bajo la capacidad de compensación migratoria se entiende la aptitud que posee el colorante para igualar las diferencias de concentración que se produzcan en el sustrato textil durante un tratamiento a temperatura elevada.

Cromaticidad

Es la calidad del color expresada como una función de la longitud de onda y la pureza.

Difusión

Movimiento de moléculas o de iones más o menos gradual a través de una solución o fibra como resultado de la existencia de un gradiente de concentración, o fuerzas de atracción y repulsión.

Dispersión

Sistema de partículas finamente divididas y el medio en que están distribuidas. Separación de la luz en colores por refracción o difracción. Estimación cualitativa de la separación y distribución uniforme de fibras en el líquido durante la producción de una tela no tejida, en medio acuoso.

Espectrofotómetro

Equipo que sirve para evaluar, y dar lectura a tonos, midiendo la cantidad de luz absorbida en el color de la fibra, nivel de tolerancia y matiz de tonalidad.

Fijación	Proceso que desarrolla el colorante después de la tintura o el estampado, generalmente por tratamiento térmico.
Igualación	Migración que lleva a una distribución uniforme del colorante en un material teñido. Esta propiedad puede estar relacionada con el colorante o puede necesitar la ayuda de un auxiliar.
Intensidad	Brillo o fuerza de un color.
Matiz	Es la característica que permite distinguir variaciones del tono dentro de un mismo color. Ejemplo: amarillo-rojizo, amarillo-verdoso.
Relación de baño	Es la cantidad de agua con auxiliares de tintura y colorantes utilizada por kilogramo de tela.
Reproducibilidad	Obtener el mismo resultado en un proceso.

Solidez

Resistencia al debilitamiento; propiedad de un colorante para retener su color cuando el material teñido o estampado se expone a condiciones tales como luz, sudor, gases atmosféricos, o agentes de lavado que pueden removerlo o destruirlo. Un colorante puede ser razonablemente sólido a un agente y solamente moderado a otro.

El grado de solidez de un color se mide por medio del procedimiento estándar (AATCC, ISO, ASTM). Los materiales textiles deben satisfacer especificaciones solidez adecuadas para un determinado uso.

Subida de colorante

Penetración del colorante en la fibra textil.

Substantividad

Afinidad que presenta el colorante por la fibra.

Termomigración

Consiste en el paso del colorante de una fibra otra a una temperatura elevada, puede ocurrir en un medio líquido.

Tintura por agotamiento

Proceso en el cual el colorante pasa del baño de tintura a la fibra. Las condiciones de tintura favorecen el relajamiento de la estructura interna de la fibra que facilita la absorción del colorante.

Tiempo de fijación

Por tiempo de fijación mínimo se entiende la duración más corta a una temperatura determinada, después de la cual la tonalidad de la tintura no se modifica.

Tricromía

Se define como tricromía al desarrollo de un color mediante la combinación de tres colorantes fundamentales.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de mejorar la igualación de color para tintura en poliéster. Basándose en tricromías realizadas a partir de las curvas de agotamiento de colorantes dispersos.

Las curvas de agotamiento se obtuvieron mediante un proceso de tintura controlando condiciones de temperatura y tiempo.

A partir de las curva de agotamiento se dividieron los colorantes utilizados en tres grupos básicos, de los cuales se realizaron las tricromías.

Los colores desarrollados mediante las tricromías encontradas, tienen una menor diferencia total de energía (dE), con respecto al estándar si se comparan a los colores realizados con las tricromías actuales. Los resultados obtenidos demuestran una mejor igualación de color, en menor tiempo.

OBJETIVOS

General

Determinar tricromías de color para la tintura en poliéster 100% a partir de las curvas de agotamiento de colorantes dispersos.

Específicos

1. Definir las diferentes curvas de agotamiento que puede presentar un colorante disperso.
2. Reducir el número de colores desarrollados para cada igualación de color, basándose en las tricromías encontradas.

HIPÓTESIS

La determinación de las curvas de agotamiento de colorantes dispersos, permitirá combinarlos de forma adecuada en las tricromías a utilizar. Los colores desarrollados por medio de las tricromías encontradas tendrán menor dE (diferencia total de energía de la muestra contra el patrón establecido) en comparación con el estándar, que los colores formulados con las tricromías actuales.

INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto tiene como finalidad mejorar el desarrollo de color para teñir poliéster 100% con colorantes dispersos empleando el método de tintura por agotamiento.

Siendo el poliéster una fibra sintética hidrófoba debe teñirse con colorantes dispersos insolubles en agua, éstos son o bien compuestos azo o derivados de la antraquinona.

El mecanismo de tintura se basa en la transferencia del colorante a la fibra a partir de un agregado en suspensión que en el momento de la tintura, pasa a forma molecular.

Los colorantes dispersos difieren grandemente uno de otro en intervalos de agotamiento y propiedades de igualación, y cuando se usan combinaciones de los mismos, deben seleccionarse aquellos con propiedades tintoriales lo más parecidas posible.

Para lograr determinar qué colorantes tienen propiedades similares, se realizarán las curvas de agotamiento las cuales describen el agotamiento del colorante en el tiempo de tintura.

Las curvas de agotamiento se encontraron tiñendo poliéster con diferentes colorantes, variando y controlando la temperatura, en intervalos de tiempo definidos. Éstas permiten clasificar a los colorantes dispersos en tres grupos básicos, de alta, media y baja dispersión.

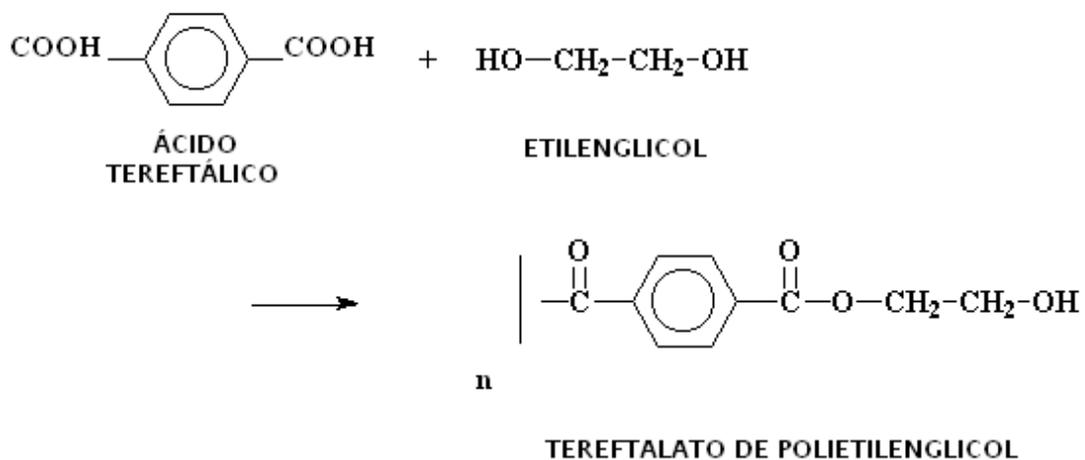
Contar con la curvas de agotamiento de los colorantes dispersos permite definir tricromías que presentan menor dE contra la muestra patrón, logrando así una mejor igualación, en un tiempo reducido y de manera económica.

1. POLIÉSTER

La fibra de poliéster se compone de macromoléculas lineales caracterizada por funciones éster múltiples. La producción de la fibra de poliéster está basada en la condensación de un ácido dicarboxílico y de un dialcohol (glicol).¹

Como ácido se puede utilizar el ácido tereftálico, el ácido isoftálico y el ácido adipico, como glicol se utiliza el etilenglicol, pero el butilenglicol y otros glicoles también son adecuados. Por polimerización se obtiene una fibra como se indica en la siguiente figura.

Figura 1. Obtención de la fibra de poliéster por polimerización



Fuente: Steve Buchholz, *Tintura de fibras de poliéster*, página 97

El condensado es hilado y estirado mientras las cadenas de poliglicol tereftalato se orientan y cristalizan, lo que provoca una elevada cohesión interna (uniones de Van der Waals), y una mejor orientación de las fibras obteniéndose así, una elevada resistencia a la ruptura y un elevado punto de fusión.

El poliéster convencional no contiene ningún grupo iónico. No puede teñirse según un mecanismo iónico como el que caracteriza a los colorantes ácidos, básicos o de complejo metálico.

1.1 Producción por copolimerización

El poliéster puede producirse también por copolimerización, es decir, añadiendo al ácido pequeñas cantidades de otro ácido y condensando a esta mezcla con el glicol. Los copolímeros así obtenidos poseen propiedades diferentes de las del polímero homogéneo, en lo que concierne a la termoplasticidad y a la resistencia a la ruptura.

1.2 Producción de poliéster modificado

Poliéster con poder de absorción del colorante mejorado

Añadiendo ciertos co-monómeros seleccionados durante el proceso de producción de la fibra se puede modificar el estado cristalino de ésta y consecuentemente la capacidad de absorción del colorante; disminuyendo de 20°C - 30° el punto de fusión de la fibra lo que puede provocar una pérdida de su resistencia a los rayos ultravioleta y a la hidrólisis.

Poliéster apropiado para la tintura con colorantes básicos

En la producción de la fibra se utilizan co-monómeros que contienen derivados azufrados o fosforados, con los que se obtiene la propiedad de fijar los colorantes básico en la fibra de poliéster.

Poliéster apto para la tintura con colorantes ácidos

Esta fibra de poliéster tiene una cadena molecular que contiene grupos activables catiónicamente.

1.3 Propiedades de la fibra

La fibra de poliéster se diferencia de las fibras naturales por las siguientes propiedades:

- Resistencia a la ruptura
- Termoplasticidad
- Débil absorción a la humedad.

Debido a su elevada orientación molecular el poliéster adquiere las siguientes propiedades:

- Elevada resistencia a la ruptura
- Elasticidad
- Buena estabilidad dimensional
- Resistencia a las arrugas
- Resistencia a la abrasión
- Termoplástico

La fibra de poliéster posee el más bajo poder de retención de agua (5%) y el más bajo poder de absorción de la misma hasta un límite de humedad del 2%. Además, es insensible a la mayoría de productos químicos y a las bacterias debido a su estructura química, su resistencia a los ácidos es satisfactoria, pero los álcalis relativamente fuertes pueden provocar una saponificación de la fibra, en especial si se encuentra a temperaturas elevadas.

2. COLORANTES DISPERSOS

Los colorantes dispersos fueron estudiados, en un principio, para la tintura del acetato de celulosa, que fue la primera fibra sintética hidrófoba y que, cuando apareció en el mercado el conocimiento que se tenía sobre sus propiedades tintóreas era muy escaso. La ausencia de grupos básicos impedía la tintura con colorantes ácidos. La fibra además no poseía afinidad con los colorantes básicos.²

Fue observado que el acetato de celulosa tenía una notable capacidad para absorber sustancias orgánicas insolubles en agua a partir de sus suspensiones acuosas. El comportamiento parecía un reparto de un soluto entre dos disolventes inmiscibles, y dicha idea sugirió que la solución para el problema de su tintura consistía en presentar a la fibra colorantes insolubles en agua.

La primera contribución fue de Gree y Sauders, quienes introdujeron componentes metil-omega-sulfonatos en colorantes azo insolubles. Dichos grupos ($-\text{CH}_2-\text{SO}_3\text{H}$) se hidrolizaban lentamente en el baño hirviendo liberando el compuesto azo y formando bisulfito-formaldehído: $\text{CH}_2(\text{OH})-\text{SO}_3\text{Na}$. Estos colorantes fueron llamados Ionaminas, que pronto fueron desplazados por los colorantes SRA, primeros tipos de pigmentos insolubles en agua, mantenidos en suspensión en el baño.

Las letras SRA son la abreviación del ácido sulforicinoleico, que fue el primer agente dispersante, más tarde desplazado por productos similares de origen sintético.

Luego aparecieron varios colorantes del tipo dispersos, éstos fueron primero pastas, pero pronto aparecieron en forma de polvo, mezclando el pigmento con un agente dispersante y un poco de agua, secando y añadiendo un diluyente como el sulfato sódico.

La importancia de los colorantes dispersos insolubles en agua se incrementó en gran manera con la aparición de las fibras sintéticas, tales como el poliéster y el poliacrilonitrilo, que son muchos más hidrófobas que el acetato de celulosa.³

2.1 Mecanismo de tintura

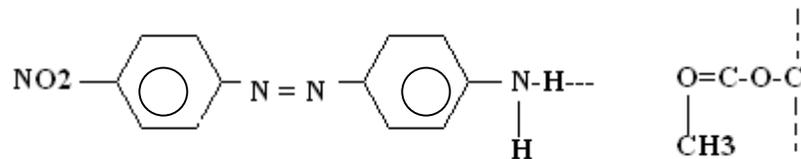
El mecanismo de tintura consiste en que el pigmento forma una solución sólida en la fibra. El punto de vista que actualmente se acepta es que el colorante es transferido a la fibra a partir de un agregado en suspensión, que en el momento de la tintura, pasa a forma molecular. Los pigmentos son solubles en agua en una proporción extremadamente pequeña, pero en este estado son altamente substantivos. Los agregados no disueltos, en suspensión, sirven como reserva para mantener la solución saturada.

Excepto algunas excepciones, los tiempos de semitintura e igualación, a 85°C, son mayores con los compuestos menos solubles.

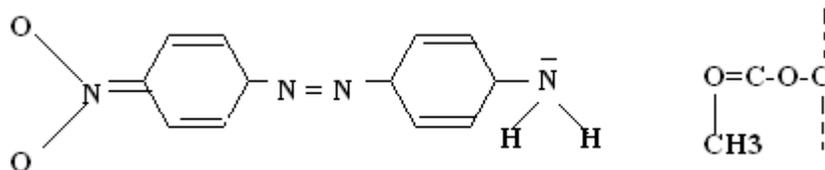
El efecto de los auxiliares tensioactivos es el hacer que la fase acuosa sea más atractiva y que se reduzca el porcentaje de agotamiento en el equilibrio.

Aquí hay motivos para creer que tienen lugar enlaces de hidrógeno entre los grupos amino primarios y los grupos acetilo, y que las fuerzas de Van der Waals contribuyen también a la retención del colorante:

Figura 2. Mecanismo de reacción de los colorantes dispersos



Y que es posible que también juegue un mecanismo de acción bipolar:



Fuente: Pedro Bigorra, **Tensioactivos y auxiliares en preparación y tintura**, página 211

Sintetizando colorantes dispersos coplanarios y otros, de similar estructura molecular, pero no coplanarios, se ha demostrado que las afinidades de los colorantes son mayores para las moléculas coplanares. Ello confirma que la teoría de la solución en estado sólido no da una explicación completa a la tintura.

2.2 Clasificación de los colorantes dispersos

Los colorantes de dispersión pueden tener diferentes estructuras químicas, siendo las siguientes las dos clases principales:

- Colorantes azoicos
- Colorantes antraquinónicos

2.2.1 Colorantes azoicos

Estos colorantes tienen en su molécula uniones azo que son relativamente inestables, lo que explica en muchos casos, la sensibilidad a la reducción de estos colorantes. No obstante, esta particularidad puede ser una ventaja cuando se quiere destruir el colorante, por ejemplo, en un lavado reductor o en el estampado con reserva.

2.2.2 Colorantes antraquinónicos

Estos colorantes tienen una estructura mucho más estable y sus moléculas son más pequeñas, por consiguiente son mucho más móviles.

Una parte de las partículas finamente dispersas de colorante, de aproximadamente 10^{-3} mm de tamaño, se disuelve molecularmente en el baño de tintura (aproximadamente 10mg/l). Solamente esta parte de colorante disuelta en el baño penetra a través de las capas superficiales de la fibra de poliéster difundiéndose lentamente a partir de ahí hacia el interior de la fibra.

Al mismo tiempo, las superficies de la fibra pueden absorber una parte determinada de las partículas de colorante, las cuales se depositan entonces finamente distribuidas sobre dicha superficie. Algunas de estas partículas de colorante se difunden inmediatamente por el interior de la fibra. La velocidad de disolución del colorante en el baño y su difusión por el interior de la fibra son factores que dependen del tipo de colorante, de la clase de fibra, de los auxiliares que se utilicen y de la temperatura que se suministre.

3. MÁQUINAS DE TINTURA

La maquinaria utilizada para los diferentes procesos de tintura se describe a continuación:

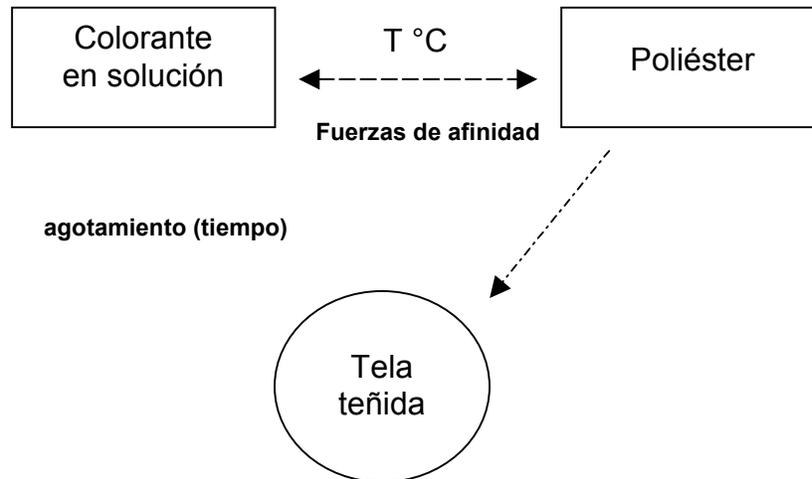
3.1 Clasificación tintórea

Esta clasificación se efectúa con el fin de agrupar las máquinas en función del sistema por el cual el colorante va siendo fijado por la materia textil. En general un colorante se fija en un material textil por algunos de los siguientes sistemas, o como combinación de ambos.⁴

3.1.1 Transferencia del colorante desde la solución hacia la fibra por efecto de afinidad

En este tipo de proceso, el colorante que se encuentra disuelto o dispersado en una solución, se fija en la materia textil como consecuencia de una transferencia desde la solución hacia la fibra, que se produce por la intervención de las fuerzas de afinidad entre el colorante y la materia textil.

Figura 3. Proceso de teñido con colorantes de dispersión en baño



Estos sistemas encierran todos aquellos procedimientos que están caracterizados por producir una disminución de la concentración del colorante en una solución (agotamiento) y un aumento de la concentración del colorante en la fibra. Es característico de estos sistemas que la relación ponderal entre el peso de la fibra y el de la solución en la cual se efectúa la tintura, conocida como relación de baño, sea generalmente elevada y oscila entre 1/3 y 1/60.

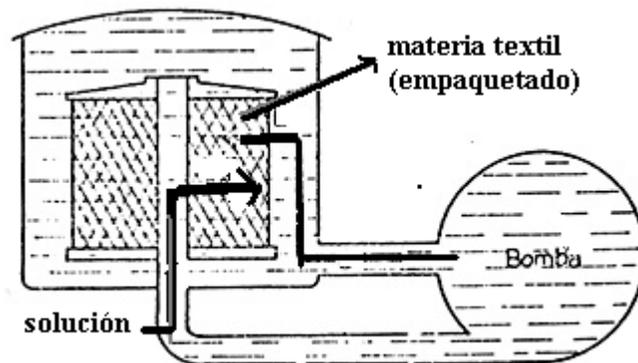
Dentro de los procedimientos por agotamiento, se diferencian los distintos tipos de máquina según la relación de movimiento existente entre la materia textil y la solución de tintura. Bajo este punto de vista se puede establecer la siguiente clasificación.

3.1.2 Máquinas con la materia textil estática y la solución tintórea en movimiento

Este tipo de máquina se emplea siempre que la disposición de la materia textil pueda resultar perjudicada si tuviese una agitación muy elevada en la solución tintórea y así, se efectúa la tintura con la materia textil sin movimiento y haciendo circular la solución a través de la materia; en estos casos, la materia textil recibe el nombre de empaquetado. La solución de colorante debe poseer la suficiente energía dinámica para atravesar el empaquetado y efectuar de este modo la transferencia de colorante a la tela.

Figura 4. Máquina de tintura

materia textil estática, solución en movimiento



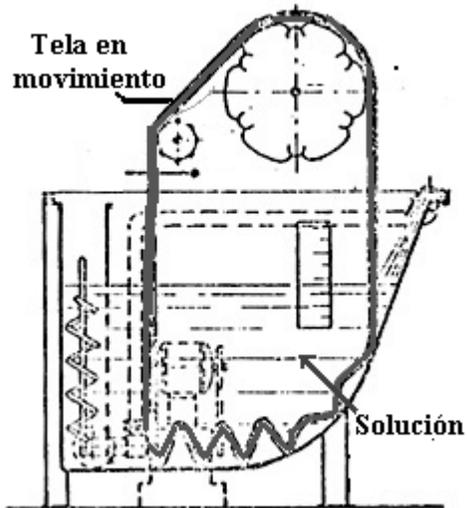
Fuente: Norma Hollen, **Manual de los textiles**, página 345

3.1.3 Máquinas con la materia textil en movimiento y la solución tintórea estática

Este tipo de máquinas se emplea generalmente cuando la materia textil no sufre distorsiones en el movimiento a través de la solución tintórea ya que resulta más económica por razones de consumo de energía, mover la materia textil que la solución.

Figura 5. Máquina de tintura

materia textil en movimiento, solución estática



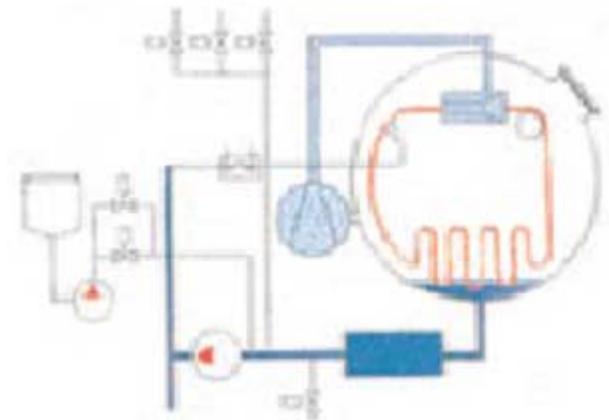
Fuente: Norma Hollen, **Manual de los textiles**, página 349

3.1.4 Máquinas en las cuales tanto la materia textil como la solución tintórea se encuentran en movimiento

Cuando por alguno de los dos sistemas anteriores es difícil o lento conseguir la distribución uniforme del colorante sobre la materia textil, se efectúa una combinación de ambos para lograr este cometido.

Figura 6. Máquina de tintura

materia textil y solución en movimiento



Fuente: Norma Hollen, **Manual de los textiles**, página 352

4. PROCEDIMIENTO DE TINTURA POR AGOTAMIENTO

Toda tintura tiene como finalidad teñir la manera textil en el tono deseado con una perfecta igualación, en un tiempo reducido y de manera económica

La igualación se define como la repartición homogénea de los colorantes sobre la materia a teñir. Se puede obtener un buen nivel de igualación de dos maneras.

Cuando los colorantes se han repartido sobre la materia y fijado en ella, no quiere decir que se haya conseguido la igualación cuando el baño esté agotado. La prolongación de dicha tintura y, generalmente a la temperatura máxima adecuada, permite la migración del colorante que se desplaza desde los lugares en donde está en demasía, hacia las zonas donde es deficitario, y ello, hasta llegar al equilibrio.

Pero también puede darse la circunstancia de que el colorante se deposite sobre la materia de una manera uniforme y homogénea, desde el principio al fin de la tintura. En este caso, se ahorra el tiempo suplementario para la migración.⁵

Según el destino posterior de la materia textil, deben tomarse en consideración, otros factores como las solideces, el tipo de materia, las propiedades tecnológicas, etc.

El esquema de tintura adaptado al sustrato que se quiere teñir o al procedimiento de tintura, ilustra el desarrollo técnico de una tintura.

En él se muestran claramente las diferentes fases o fenómenos que intervienen durante la misma. Se trata de:

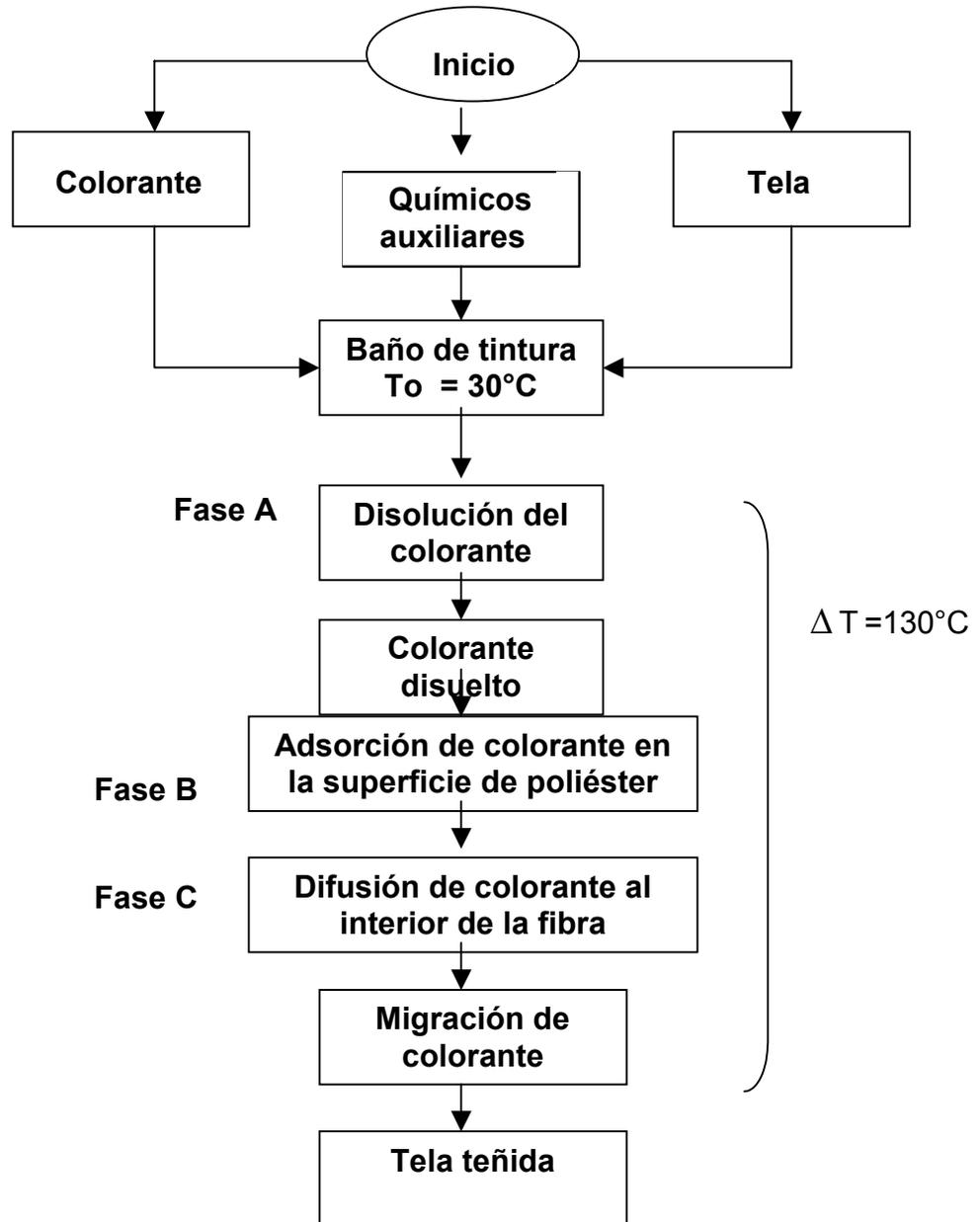
- Empezar la tintura a una temperatura inicial adecuada con el baño que contiene los productos químicos y el colorante (la estabilidad de la dispersión del colorante juega un papel importante).

- Obtener una subida regular del colorante mediante una absorción o migración controlada.

- Agotar el baño y fijar el colorante (difusión) para obtener las solideces deseadas.

La fibra de poliéster, resulta difícil de teñir debido a la orientación molecular, y a sus fuerzas de cohesión. Por lo tanto, las condiciones de tintura deberán favorecer un relajamiento de la estructura interna de la fibra que facilite la absorción del colorante. En el procedimiento por agotamiento el colorante disperso sube del baño de tintura a la fibra.

Figura 7. Representación de las fases de tintura



En el proceso de tintura, la fase A se inicia cuando ciertas moléculas del colorante se separan una a una de la superficie de las partículas del colorante en dispersión, debido al movimiento molecular térmico. Las moléculas de colorante libres y activas pueden ser captadas por el campo de absorción de la superficie de poliéster (fase B), luego se realiza el desplazamiento de la molécula de colorante absorbida al interior de la fibra (fase C).

Como en todos los procesos de fases múltiples, la fase más lenta es la que regula la velocidad operativa de todo el sistema. La fase B, no ejerce ninguna influencia sobre la cinética del conjunto pero es importante en la igualación.

Existen dos cuellos de botella, en las fases A y C: la baja solubilidad de los colorantes de dispersión que puede mejorarse con la adición de productos químicos y la elevación de la temperatura. El problema que se presenta es como acelerar la difusión (C), porque si se trata la fibra únicamente con el colorante en el baño de tintura a ebullición, el colorante se agota muy lentamente, de manera que se requiere un tiempo considerable para obtener un rendimiento normal.

Existen productos químicos que pueden acelerar la subida del colorante. Estos productos rompen ciertas uniones entre las moléculas lineales adyacentes (las zonas amorfas se hacen plásticas), provocando una modificación estructural y la relajación de la fibra, aumentando así la velocidad de difusión.

Se puede acelerar también la tintura elevando la temperatura ya que la velocidad de difusión aumenta considerablemente con la temperatura. Este fenómeno se explica por un hinchamiento de la fibra y por aumentar las vibraciones de las moléculas lineales. En general la tintura se realiza a temperaturas cercanas a 130°C.

4.1 Condiciones técnicas para la tintura por agotamiento

Las principales condiciones técnicas que se deben tener en cuenta para la tintura por agotamiento son las siguientes

4.1.1 Dispersión

El colorante de dispersión utilizado para teñir las fibras de poliéster debe mantenerse en forma dispersa y estable durante la tintura, hasta el agotamiento completo del baño por disolución y subida progresiva sobre la fibra. En este aspecto, las turbulencias y la temperatura de tintura juegan un papel importante.

El tamaño de las partículas de los colorantes finamente dispersos, es de aproximadamente de 1mm. Este grado de fina dispersión está estabilizado mediante dispersiones que forman una especie de capa protectora alrededor de las partículas citadas impidiendo que éstas se aproximen excesivamente y se aglomeren.

La estabilidad de la dispersión es favorecida por cierta repulsión electrostática, puesto que las partículas dispersas de colorantes suelen tener una débil carga negativa, debido a la absorción de aniones.

4.1.2 Agentes de dispersión

Además del colorante propiamente dicho, los colorantes de dispersión contienen agentes de dispersión responsables de la perfecta dispersión del colorante en el baño de tintura.

Teniendo en cuenta que con frecuencia la acción dispersante no es suficiente, debe añadirse un agente de dispersión. Los agentes de dispersión tienen como finalidad impedir la aglomeración de partículas de colorante y la recristalización durante la tintura.

Los auxiliares que se emplean para la tintura, pueden desplazar las dispersiones que se hayan utilizado al elaborar el colorante disminuyendo así la estabilidad de la dispersión, por eso se deben emplear dispersantes de naturaleza semejante a los que se utilizan para elaborar el colorante y que además ejerzan efecto de coloide sobre todos los colorantes.

La adición de electrolitos perjudica siempre la estabilidad de las dispersiones. Se supone que en este caso son absorbidos cationes lo cual aumenta la carga eléctrica de las partículas del colorante.

Por esta causa no conviene adicionar sales. Para ajustar el pH se aconseja utilizar únicamente ácido acético. En el margen de pH 4 – 6 la estabilidad de la dispersión es prácticamente independiente del pH.

4.1.3 Estabilidad de dispersión

El estado de equilibrio de una dispersión puede modificarse cuando las partículas se aglomeran, desaparecen (por disolución), o cuando se forman nuevas partículas. Las perturbaciones de la disolución que pueden producirse pueden clasificarse de la siguiente manera

- Cristalización
- Agregación
- Aglomeración

La cristalización es favorecida cuando

- Los cristales del colorante son de elevada pureza
- El tamaño de las partículas difiere fuertemente
- Uso de productos que aumentan la solubilidad del colorante
- El baño se calienta y se enfría periódicamente

En estos casos, los cristales de mayor dimensión por ser menos solubles aumentan de tamaño a expensas de los cristales más pequeños. Tanto la aglomeración como la agregación son activadas por todos aquellos factores que

- Alteran la acción estabilizante de los dispersantes
- Disminuyen la repelencia electrostática
- Aumenta la probabilidad de que se produzcan choques entre las partículas del colorante, potenciando a la vez su energía cinética. Por lo tanto hay mayor probabilidad de que se produzca agregación y aglomeración cuanto mayor sea la concentración del colorante, mas alta la temperatura y más prolongado el tiempo de la misma.

Solamente las agregaciones pueden dispersarse de nuevo.

Una estabilidad mediocre de la dispersión provoca precipitaciones del colorante.

Las consecuencias prácticas son las siguientes:

- manchas
- débil velocidad de subida
- bajo rendimiento tintóreo
- tintura desigualada
- mala reproducibilidad
- ensuciamiento de los aparatos de tintura.

La estabilidad de la dispersión depende de distintos factores.

4.1.3.1 Energía térmica

Ciertas dispersiones de colorantes pueden resultar completamente destruidas durante la fase de calentamiento a una temperatura bien determinada.

Los factores siguientes, están en relación directa con la influencia ejercida por la temperatura en la estabilidad de la dispersión

A. Solubilidad del colorante en función de la temperatura

En casi todos los aparatos de tintura en los que el baño está en circulación, se registran variaciones de temperatura más o menos importantes.

B. Modificación de la forma de los cristales

En la síntesis de colorantes, ciertos colorantes de dispersión se presentan en una forma cristalina que es inestable a temperaturas bastante elevadas. Durante la tintura, esta forma inestable puede transformarse en forma modificada estable. Las observaciones efectuadas hasta el presente hacen suponer que esta transformación se efectúa a través de la fase disuelta, ya que la forma estable se presenta en forma de grande cristales, originando separaciones por filtración en el sustrato.

4.2 Igualación

La regularidad, es decir, la igualación de una tintura viene condicionada por dos propiedades importantes del colorante a saber: el comportamiento de subida y la capacidad de compensación migratoria.

El colorante que sube muy lentamente a la fibra proporciona fácilmente una tintura igualada al calentar el baño. Por el contrario al utilizar colorantes de subida rápida, es frecuente la formación de desigualdades durante esta fase de subida. Si un colorante de subida rápida iguala bien a la temperatura de tintura, la desigualdad que se haya producido al principio, durante la fase de subida, se iguala con rapidez y se obtiene un teñido uniforme.

4.2.1 Migración

Por capacidad de compensación migratoria se entiende la aptitud que posee el colorante para compensar las diferencias de concentración del mismo que se produzcan en el sustrato textil durante un tratamiento a temperatura elevada.

La migración es el fenómeno que se observa cuando el colorante ha subido rápidamente sobre la materia, provocando una cierta desigualdad inicial en la tintura y esta desigualdad se ve compensada por un traslado de colorante a medida que se va realizando la operación de tintura.

De este modo, el colorante se transfiere de las partes oscuras de la materia al baño y el colorante disuelto en el baño a las partes más claras.

La migración depende de los siguientes factores:

- Tipo de colorante
- Temperatura
- Duración
- Productos químicos

Los colorantes de moléculas pequeñas son más móviles y migran mejor que los colorantes de grandes dimensiones. La elevación de la temperatura aumenta la solubilidad de los colorantes en el baño de tintura así como su movilidad, estos factores tienen un efecto positivo sobre la migración; prolongando convenientemente el tiempo de tintura se deben poder igualar normalmente todas las tinturas.

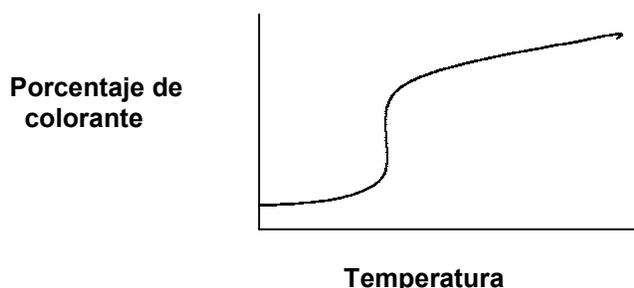
Con la adición de productos químicos, aumenta la movilidad y por tanto se mejora la migración. Los agentes de igualación basados en compuestos orgánicos aumentan la solubilidad de los colorantes mejorando a la vez la migración durante la fase de subida, pero reduciendo el poder de fijación.

4.3 Adsorción controlada

El principio de adsorción controlada consiste en la igual repartición del colorante desde el inicio de la tintura hasta y durante el tiempo mínimo necesario para la fijación.

La curva de subida de un colorante de dispersión tiene forma de S. La zona de temperatura en la que un colorante sube de manera preferente varía según el colorante, la concentración del colorante y el sustrato. Si se quiere obtener una tintura igualada conviene controlar con exactitud la velocidad de subida del colorante dentro de esta zona.

Figura 8. Curva de subida de colorante disperso



4.3.1 Zona de temperatura crítica

La desigualdad inicial del primer 15 al 20% de colorante que sube sobre el material es compensada a medida que continúa el proceso de tintura.

La zona de temperatura que corresponde a la subida del restante 80% del colorante se denomina zona de temperatura crítica. Cuanto más estrecha es esta zona, mayor es el riesgo de una falta de igualación. El porcentaje de colorante que sube en la zona de temperatura crítica depende de la temperatura y no de la duración o de la concentración del colorante. El poder de subida aumenta de manera importante con la elevación de la temperatura.

4.3.2 Influencia del sustrato

El comportamiento tintóreo del material está influenciado no solo por el tipo de fibra de poliéster sino también por el tratamiento térmico aplicado durante la producción y por el estiramiento de la fibra.

4.3.3 Influencia de la cantidad de colorante

En la zona de temperatura crítica, la velocidad de subida de un colorante de dispersión depende de la temperatura y no de la cantidad de colorante. Cuanto menor es la cantidad de colorante aplicada más baja será la zona de temperatura crítica.

4.4 Tintura óptima

Optimizar una tintura significa ajustar los parámetros operacionales de manera que todas las operaciones se desarrollen en un tiempo mínimo sin sobrepasar el límite de tolerancia en lo que concierne en la reproducibilidad y la igualación. Esto implica un calentamiento rápido hasta las zonas de temperatura en las que el colorante sube lentamente o está ya agotado y un calentamiento controlado cuando la velocidad del colorante es particularmente elevada.

4.4.1 Poder de subida

Para obtener una buena reproducibilidad de la tintura, por razones económicas y ecológicas, es indispensable que el colorante posea un buen poder de subida, ya que el control exacto del colorante no agotado depende de distintos parámetros que pocas veces pueden controlarse.

4.4.2 Influencia de la temperatura

La temperatura óptima del baño de tintura para obtener una subida de colorante tan buena como sea posible depende del sustrato y del tamaño de las moléculas del colorante.

Para obtener una subida satisfactoria del colorante en poliéster estirado, la temperatura del baño de tintura debe ser más elevada que para fibras de poliéster convencional.

Los colorantes de dispersión, cuyas moléculas son más pequeñas, suben mejor a una cierta temperatura y para una cierta intensidad que los colorantes de molécula grande. Un exceso de temperatura no tiene una influencia negativa sobre el poder de subida del colorante, pero favorece la migración y la difusión del colorante.

4.4.3 Influencia del *carrier*

Añadiendo un *carrier* se puede aumentar también la velocidad de difusión de los colorantes de dispersión en las fibras de poliéster y aumentar el rendimiento tintóreo, acelerar la difusión del colorante y mejorar la migración, de acuerdo con la temperatura y la dosificación.

El *carrier* debe tener las siguientes propiedades

- Fácilmente emulsionante
- Fácil a eliminar de la materia teñida
- No influenciar las solidez (en particular, las solidez a la luz).
- No ser arrastrable por el vapor de agua (formación de manchas).
- Su eficacia no debe disminuir por prolongación de la tintura
- No ser tóxico.

El *carrier* produce una relajación de la estructura de la fibra, de manera que el colorante penetra más fácilmente en el interior de la misma.

La eficiencia de los *carrier* aumenta con la cantidad utilizada, pero la cantidad óptima varía según el tipo de *carrier* y la temperatura de tintura.

Utilizando una cantidad demasiado elevada se corre el peligro de disminuir el poder de subida de los colorantes, ya que para aumentar su solubilidad, pueden permanecer en el baño de tintura, en lugar de subir sobre la fibra.

4.4.4 Tiempo de fijación mínimo

El tiempo de fijación mínimo es la duración mas corta a una temperatura determinada, después de la cual, la tonalidad de la tintura no se modifica. Esta duración óptima depende de la cantidad de colorante utilizada, de la temperatura y del sustrato.

4.4.5 Influencia de los productos aceleradores

Ciertos productos químicos favorecen la difusión del colorante en el interior de la fibra mejorando y acelerando su distribución, llamados agentes acelerantes.

Estos agentes acelerantes, además de reducir la duración de la tintura permiten suprimir el tratamiento reductor, posterior a la tintura, en los tonos claros y medios. En los tonos claros se puede considerar que una tintura esta terminada cuando no existe más colorante en el baño y en los tonos oscuros cuando el matiz no es modificado por una prolongación del tiempo. Teniendo en cuenta que normalmente el colorante de dispersión migra muy lentamente al interior de la fibra, debe procurarse evitar una tintura anular o superficial.

4.5 Factores influyentes en la tintura

Los factores que tienen mayor incidencia en el proceso de tintura son:

4.5.1 Resistencia a la hidrólisis

En la tintura a pH 6.0 o a pH más elevado (en particular a alta temperatura), algunos colorantes de dispersión son más o menos atacados, lo que significa que sus propiedades tintóreas son influenciadas negativamente.⁶

4.5.2 Sensibilidad a la reducción

Los colorantes de dispersión de tipo azoico pueden ser destruidos por reducción. El agua que contenga productos de descomposición orgánicos puede tener un efecto reductor a elevada temperatura sobre ciertos colorantes de dispersión (según su constitución) y provocar una degradación de sus propiedades tintóreas. Los colorantes pueden protegerse contra su sensibilidad a la reducción por un sistema tampón de ácido acético / acetato mediante la acidulación con ácido fórmico y sulfato de sodio a 5.0-5.5.

4.5.3 Iones metálicos

Los iones metálicos (en particular hierro y cobre) contenidos en el baño de tintura influyen sobre el poder de subida del colorante (y por lo tanto sobre la reproducibilidad) y provoca, en casos extremos precipitaciones.

4.6 Diferencia de afinidad

Las diferencias de afinidad son provocadas por:

- Diferentes tratamientos térmicos, durante la texturización o el prefijado.
- Diferencias de estiramiento durante la producción de la fibra, las diferencias de afinidad de origen físicos se denominan barrados en los artículos en pieza.

4.7 Oligómeros

Los oligómeros se depositan en la materia o en el aparato de tintura en forma de polvo blanco. Los oligómeros (existentes en pequeñas cantidades en toda la fibra de poliéster) migran a la superficie de la fibra y al baño durante la tintura, en particular a temperaturas cercanas a 130°C. Pueden depositarse en las partes más frías del aparato de tintura (por ejemplo: en los conductos, bombas, etc.) y en ciertos casos pueden llegar a bloquear los conductos.

La eliminación de oligómeros durante la tintura se favorece por

- Tintura a temperatura elevada
- La duración de la tintura
- La influencia del *carrier* (relajación de la fibra)

5. NOCIONES DE COLORIMETRÍA

El color ha sido utilizado por el hombre para expresar sus manifestaciones de interpretación de la realidad que lo rodea, su vocación artística o su sentido estético. Las tres características que determinan el color son el brillo, matiz y saturación.

Desde el punto de vista meramente físico, la producción de color requiere de tres elementos: una fuente de luz, un objeto iluminado por dicha fuente y un observador para percibir el color.

Alternativamente, el ojo puede ser reemplazado por un detector fotosensible y un equipo auxiliar que aproxime la acción de detección de la luz.

El ojo humano percibe únicamente las radiaciones de la luz comprendidas entre 380 y 750 nm (nanómetros, donde $1\text{nm}=10^{-9}$ metros). El rango de longitudes de ondas comprendido entre 400 y 700 nm se denomina espectro visible.

En 1667, Isaac Newton experimentó haciendo cruzar un haz de luz blanca a través de un prisma, encontrando que este haz se descomponía en pequeños haces de color fácilmente reconocibles.

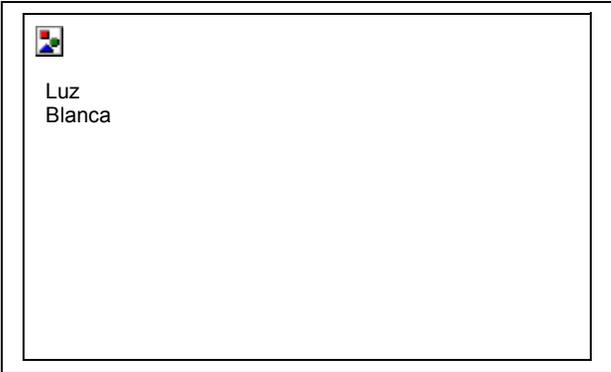
Newton encontró las correspondientes longitudes de onda en nanómetros del espectro visible.

Tabla I. Longitud de onda de cada color

COLOR	LONGITUD DE ONDA (λ)
Violeta	380-430
Azul	430-480
Verde	480-560
Amarillo	560-590
Naranja	590-630
Rojo	630-750

Fuente: Simplicol Ltda. **Nociones de colorimetría**, pág 36

Figura 9. Descomposición de luz blanca



Fuente: Simplicol Ltda. **Nociones de colorimetría**, pág 36

5.1 Fuente de la luz

La luz solar ha sido, y probablemente será por mucho tiempo, el iluminante de referencia. Son razones históricas, evolutivas y ambientales las que ligan al hombre con el Sol.

Por esta razón, cuando el CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) estableció una serie de patrones de iluminación para usar en colorimetría tuvo en cuenta la necesidad de reproducir con medios artificiales la luz solar, al menos aproximadamente.⁷

Se definieron entonces, en 1931, los iluminantes A, B y C, así:

Iluminante A : corresponde a la luz emitida por una lámpara de filamento de tungsteno a la temperatura de color de 2857 ° K. Para pasar de la luz emitida por una lámpara incandescente a la luz solar o su equivalente , el CIE recomendó los iluminantes B y C que se obtienen mediante el filtrado de la luz del iluminante A.

Iluminante B: corresponde a la luz solar del medio día, cuya temperatura de color es de 4870 ° K aproximadamente. El iluminante C, corresponde a la luz solar media diurna para un cielo completamente cubierto con temperatura de color aproximada a 6770° K.

Iluminante D65: en 1967, el CIE recomendó el iluminante D 6500 o D65, correspondiente a una radiación solar de 6500 ° K , y equivalente a una irradiación directa diurna, siendo la que más se aproxima a la luz del día.

5.2 El objeto

Un objeto se ve coloreado porque refleja ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre él y absorbe otras.

El objeto se verá negro si absorbe la totalidad de la luz incidente. Se observará blanco, si refleja la totalidad de esa incidencia sin absorber nada. Se verá amarillo, si absorbe la luz de longitudes de onda diferentes al amarillo y refleja la correspondiente a ésta.

5.3 Detectores de la luz reflejada

El sistema de detección de color es el compuesto por el ojo, el sistema nervioso y el cerebro. Es esencial conocer en detalle como el ojo y el cerebro trabajan para conocer el color. Es suficiente decir que el ojo actúa como una cámara con los lentes formando una imagen de la escena en la retina fotosensible. Los detectores de luz del ojo humano se denominan conos o bastoncillos y están localizados en la córnea región central de la retina.

En los espectrofotómetros, existen dos tipos de detectores de luz

Tubos fotomultiplicadores: en los cuales la energía radiante incidente, o sea la luz reflejada por el color, provoca la emisión de electrones de una superficie sensibilizada (cátodo) que se encuentra en una envoltura evacuada o llena de gas; los fotoelectrones primarios inciden contra una segunda superficie y causan la emisión de electrones secundarios y así sucesivamente para dar una corriente final amplificada.

Fotodiodo de silicón: es más durable, menos sensible a la temperatura a la humedad y a los choques, pero también menos sensibles a colores oscuros. Este lo están empleando los espectrofotómetros de más reciente fabricación.

5.4 Medición del color

Uno de los principios fundamentales de la colorimetría fue enunciado por Newton en 1672, y comprobado en la práctica por los experimentadores. Afirma que cualquier color puede ser igualado por la suma de tres colores primarios convenientemente elegidos. De ahí que cualquier sistema que pretenda evaluar el color, trabajará con base en tres variables que lo descomponen.

5.5 Valores triestímulos

La CIE definió en 1931, y confirmó en 1959, la adopción de tres valores triestímulos, en correspondencia a los pigmentos fotosensibles del ojo humano.

Estos valores son

X: Triestímulo rojo

Y: Triestímulo verde

Z: Triestímulo azul

En donde $X+Y+Z = 1$

En consecuencia, sólo son necesarias y suficientes dos coordenadas para representar la cromaticidad de un color, entendiéndose este concepto como la variación de tono y saturación para una muestra de igual luminosidad.

5.6 Sistema CIELAB

En 1973 el CIE adoptó lo que hoy se denomina unidad CIELAB de diferencia de color en donde:

L : luminosidad

5.6.1 Valor de saturación rojo-verde (a)

Ejes rojo-verde

Si $a > 0$, mayor saturación de rojo o menor saturación de verde.

Si $a < 0$, mayor saturación de verde o menor saturación de rojo.

5.6.2 Valor de saturación amarillo-azul (b)

Ejes amarillo-azul

Si $b > 0$, mayor saturación de amarillo o menor saturación de azul.

Si $b < 0$, mayor saturación de azul o menor saturación de amarillo.

Este sistema es muy práctico para evaluar diferencias de color. Al respecto se han definido los siguientes parámetros

DL: diferencia de luminosidad o de intensidad de la muestra contra el patrón establecido

DA: diferencia en eje rojo-verde

DB: diferencia en el eje amarillo-azul

DC: diferencia de cromaticidad

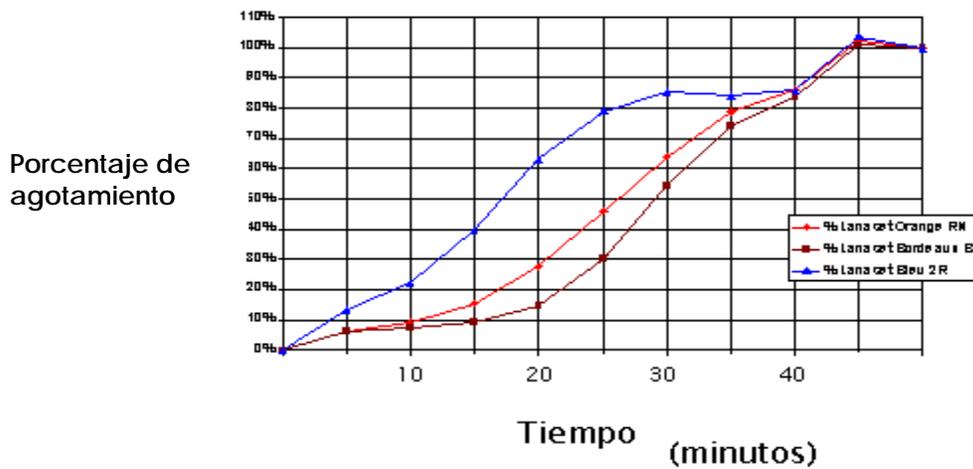
DE: diferencia total de energía.

$$DE = DL^2 + DA^2 + DB^2$$

6.CURVAS DE AGOTAMIENTO

Las curvas de agotamiento son gráficas que describen el agotamiento del colorante en el tiempo de tintura. Cada colorante tiene una curva característica que lo describe.

Figura 10. Curvas de agotamiento de los colorantes



Fuente: Norma Hollen, **Manual de los textiles**, pág 1090

7. METODOLOGÍA

7.1 Recursos humanos

Investigadora responsable : Gabriela Lucía Arriaga De León

Investigador asesor: Miguel Ángel Durán Ambrosy

7.2 Material y equipo

- Tela poliéster 100% (Polyester Yarn, USA)
- Máquina de tintura Rapid, modelo 12
- Balanza analítica Ohaus Adventurer ($\pm 0.005g$)
- Pipeta electrónica Rainin (10 ml $\pm 0.05ml$)
- Espectrofotómetro Minolta CM-508d
- Medidor de color prisma data color versión 1.9

7.3 Reactivos

- Colorantes dispersos
 - Amarillo Dianix SE-G
 - Amarillo Dianix luminoso 10G
 - Amarillo pardo Dianix S-2R 150%
 - Amarillo Dianix S-4G
 - Rubina Dianix S-2G 150%
 - Rojo Dianix luminoso G
 - Rojo Dianix CC-R

Negro Dianix CC-R
Negro Terasil WW-KS
Azul royal Dianix S-BG
Azul marino Dianix S-2G
Turqueza Dianix S-BG
Naranja Dianix S-G 200%

- Ácido acético industrial 99.85% puro
- Dispersante aniónico Avolan IS-CB (Bayer)

7.4 Elaboración de las curvas de agotamiento

- Cortar 20 pedazos de tela de 5 gramos.
- Preparar 10 *beackers* de la máquina de tintura con 2 pedazos de tela cada uno, añadir el colorante y los químicos auxiliares, para una relación de baño 1:6.

Tabla II. Reactivos

Reactivo	Cantidad
Ácido Acético	0.5 g/L
Dispersante	1.5 g/L

El colorante se trabajará a una concentración 0.5 %.

- Cargar la máquina de tintura con los *beackers*.

- d. Programar la máquina con una temperatura inicial de 40°C, luego de 10 minutos, descargar un *beacker* de la máquina, y continuar con el proceso. Aumentado la temperatura 10°C y descargando cada 10 minutos hasta llegar a una temperatura de 130°C donde el tiempo de duración es de media hora.
- e. En cada descarga se extraen del *beacker* los dos pedazos de tela. Por medio de éstos se observará el agotamiento, y la fijación del colorante.
- f. Agotamiento: lavar la tela, luego secarla.
- g. Fijación: no lavar la tela, sólo exprimirla suavemente, y secarla.
- h. Cada pedazo de tela, previamente identificado se lee con el espectrofotómetro, para poder realizar las curvas de agotamiento por medio del software prisma.

7.5 Determinación de tricromías

- a. Se definirá un color determinado como estándar.
- b. Éste se formulará por medio de colorantes que tengan curvas de agotamiento similares.
- c. Se formulará el mismo color con tricromías ya existentes, en donde no se consideran las curvas de agotamiento.

- d. Se compararán los colores desarrollados por ambos métodos por medio del espectrofotómetro.
- e. Los resultados se analizarán por medio del dE, de variación entre el estándar, y los colores realizados.

Figura 11. Elaboración de las curvas de agotamiento

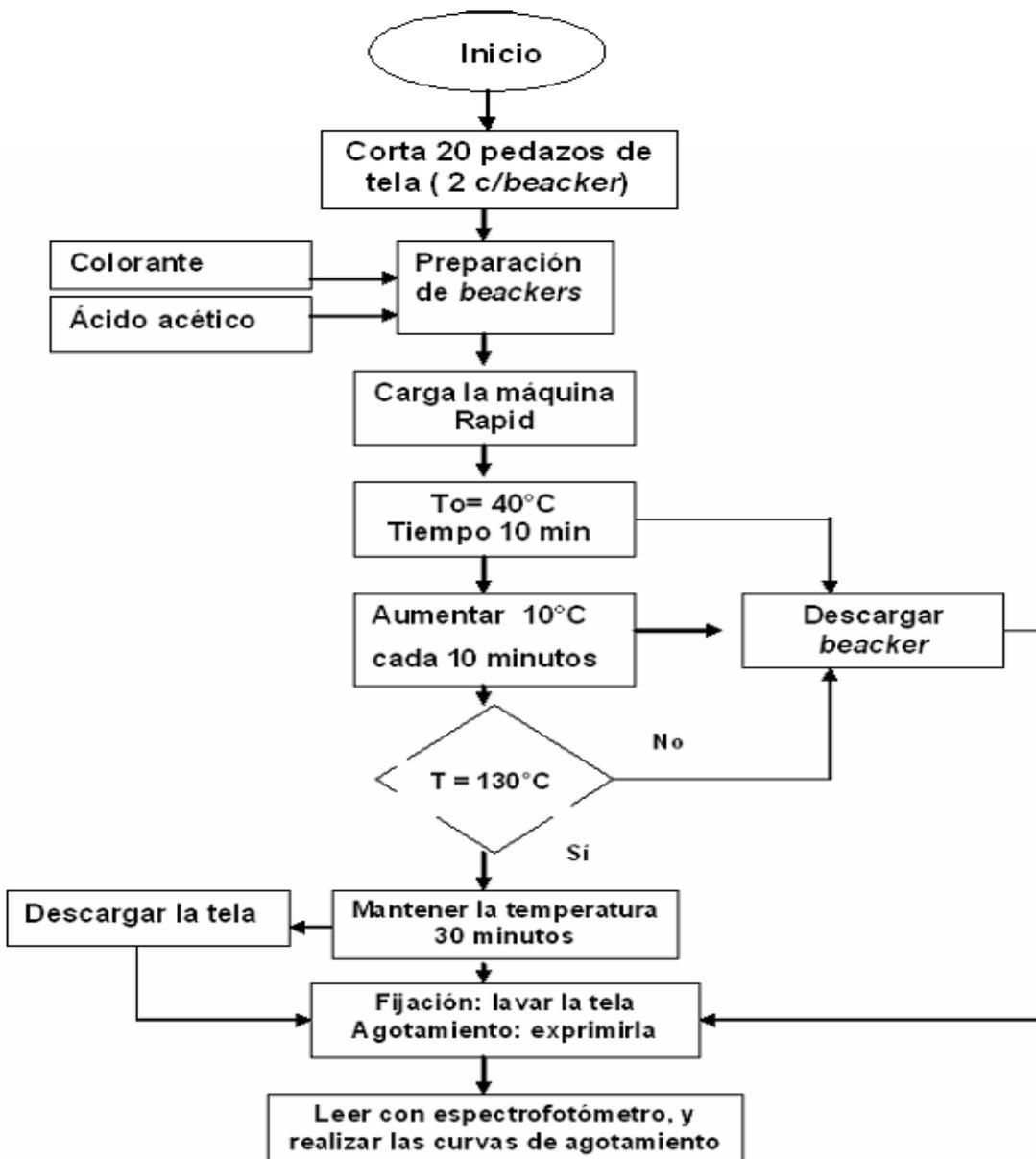
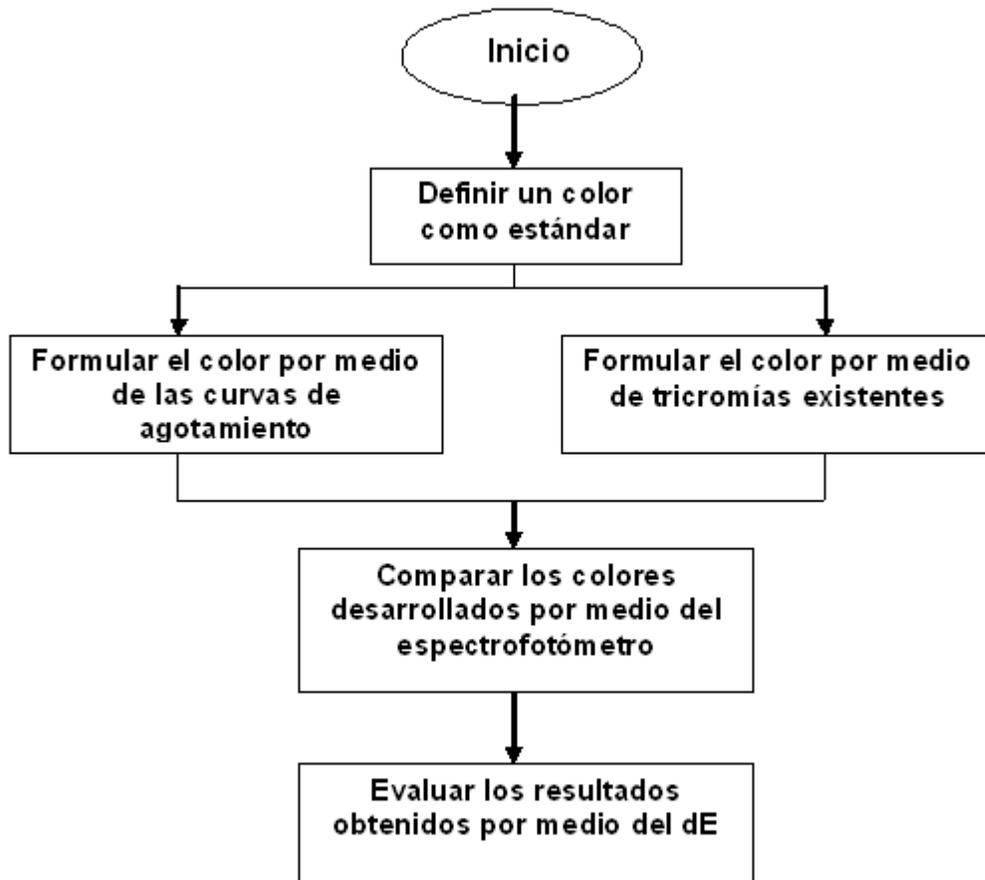


Figura 12. Determinación de tricromías



8. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la fase experimental.

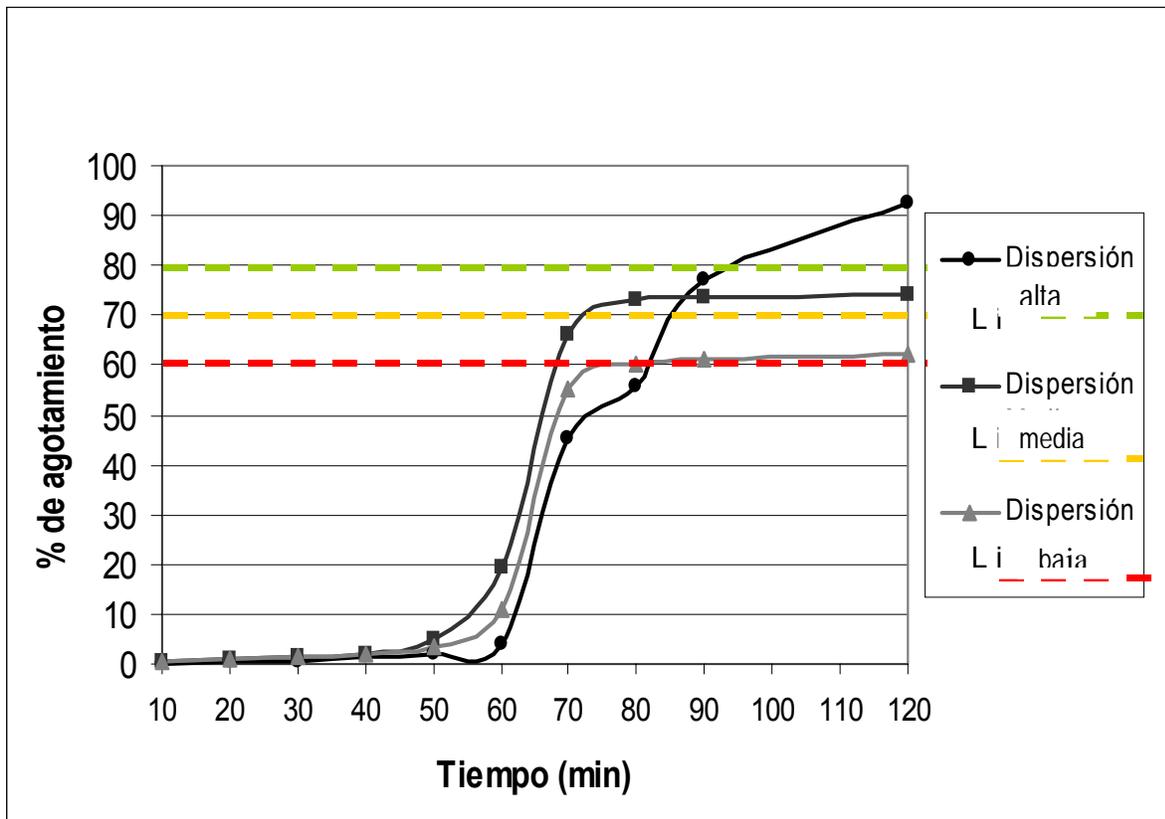
Tabla III. Grupos de colorantes dispersos para formar tricromías de color

Grupo 1 Colorantes de dispersión baja	Grupo 2 Colorantes de dispersión media	Grupo 3 Colorantes de dispersión alta
Naranja Dianix S-G 200% Negro Dianix CC-R Rojo Dianix luminoso G Turquesa Dianix S-BG	Azul marino S-2G Amarillo pardo Dianix S-2R Amarillo Dianix S-4G Amarillo luminoso 10G Negro Terasil WW-KS Rojo Dianix CC-R Rubina Dianix S-2G Azul royal Dianix S-BG	Amarillo SE-G

Tabla IV. Comparación dE

Color	dE tricromía actual	dE tricromía basada en curvas de agotamiento
Verde	1.01	0.71
Rojo	1.90	0.64
Azul	1.34	0.06

Figura 13. Curvas de agotamiento de colorantes dispersos



9. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Entre las muchas variables de importancia que pueden afectar la reproducibilidad del color durante el proceso de tintura, se encuentra la selección adecuada de los colorantes en las tricromías de color.

Las curvas de agotamiento de los colorantes dispersos evaluados, describen tres curvas características. (Figura 13)

La primera, muestra el alto porcentaje de agotamiento del colorante, por su buena dispersión, el porcentaje de colorante disuelto en el baño es menor.

La segunda curva caracteriza un colorante de dispersión media, en el cual puede observarse como después de 80 minutos de duración, cuando la temperatura es igual a 110°C, el porcentaje de agotamiento se mantiene casi constante, lo mismo sucede con la tercera curva, con la diferencia que la dispersión del colorante en la fibra es más baja.

La baja dispersión de las dos últimas curvas permitiría reducir el tiempo de tintura, ahorrando así costos de energía y tiempo de proceso.

Los colorantes utilizados, presentan tres mecanismos distintos de dispersión durante el proceso de tintura, lo cual permite combinarlos.

Se definieron tres diferentes grupos para poder utilizarlos en la formulación de color de una manera correcta. (Tabla III)

Los resultados obtenidos de las lecturas del espectrofotómetro dE. (ver tabla III) muestran como los colores desarrollados con tricromías basadas en curvas de agotamiento tienen un menor dE, que los colores obtenidos sin considerar éstas. Se obtuvo una mejor igualación de color.

CONCLUSIONES

1. Por medio de las curvas de agotamiento se determinó que el agotamiento de los colorantes dispersos se inicia a la temperatura de 90°C, y tiempo de 60 minutos. Por debajo de estas condiciones, el agotamiento del colorante es menos del 10%.
2. Los colores desarrollados tomando en cuenta las curvas de agotamiento de cada uno de los colorantes dispersos utilizados, permiten en la etapa de manufactura el desarrollo y la igualación de colores con menor dE con respecto a la muestra patrón.
3. De acuerdo a los datos obtenidos se determinó que es posible lograr ahorro de energía al disminuir el tiempo de tintura, de acuerdo a la reactividad del colorante, en función de la curva de agotamiento y de la temperatura, a la cual alcanza su máxima reactividad.
4. Las curvas de agotamiento de colorantes dispersos, permiten clasificar los colorantes en tres grupos básicos de alta, media y baja dispersión, en función del agotamiento máximo a tiempo máximo.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar las tricromías propuestas obtenidas a partir de las curvas de agotamiento en función de tiempo y temperatura, ya que comparadas con la formulación actual, permiten obtener una mejor reproducibilidad.
2. Analizar las diferencias que pueden tener las curvas de agotamiento a diferentes tipos y concentraciones de colorante.
3. Monitorear las curvas de fijación y el porcentaje de colorante en el baño, para un mejor control de la calidad.
4. Realizar varias corridas para determinar las curvas de agotamiento, en las mismas condiciones, verificando si existen fluctuaciones entre corridas, y así definir curvas de agotamiento exactas.

REFERENCIAS

1. José Cegarra y Puente. **Fundamento científico aplicado a tintura de materiales textiles.** (Universidad Politécnica de Barcelona, 1989) pp.146-165.
2. Pedro Bigorra Llobet. **Tensioactivos y auxiliares en preparación y tintura.** (Asociación Española de Químicos y Coloristas Textiles, 1984) pp.210-226.
3. James Kent. **Química industrial.** (2ª. Edición; México: Editorial Continental, 1994) pp 712-738.
4. Steven Browne. ***Dyeing & finishing technology.*** (Universidad de Carolina del Norte, 2001) pp 59-63.
5. Rodolfo Crespo. **Química de los colorantes.** (4^{ta}.Edición; Colombia: Editorial Universitaria, 1999) pp. 387-402.
6. Pablo Martínez. **Química y física de las fibras textiles.** (3^{era}. Edición; México: Editorial Mexicana, 1988) pp. 34-46.
7. Simplicol Ltda. **Nociones de colorimetría.** (España, 1997) pp. 715-720

BIBLIOGRAFÍA

- 1. BASF. Tintura de acabados de fibras de poliéster solas o en mezclas con otras fibras.** 2000 pp. 250.
- 2. Características importantes de los tejidos de poliéster y mezclados.** Instituto Técnico Español Textil. Colombia, 1996. pp 235.
- 3. El proceso textil, las fibras y sus tejidos, generalidades sobre el tejido de punto.** Compañía Colombiana de Tejidos. Medellín, Colombia 1996. pp. 560.
- 4. Norma Hollen. Manual de los textiles.** (Volumen I) Santo Domingo: Editorial Limusa, 1990. pp 300.

APÉNDICE 1

Curvas de agotamiento de colorantes de dispersión baja en función del tiempo y para incrementos de temperatura de 10°C
 $\text{pH} = 5.25 \pm 0.25$

Figura 14. Curva de agotamiento naranja Dianix SG-200%

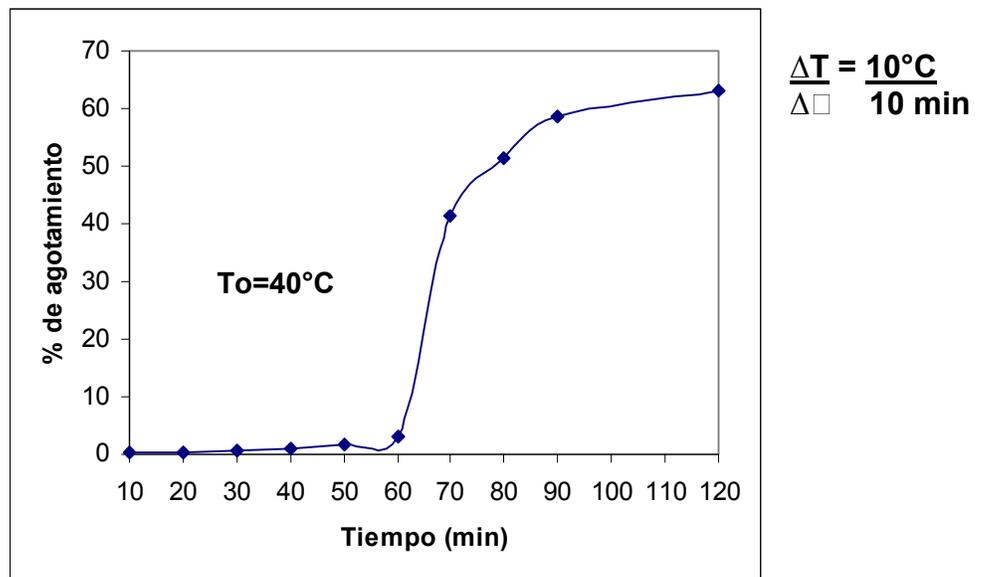


Figura 15. Curva de agotamiento negro Dianix CC-R

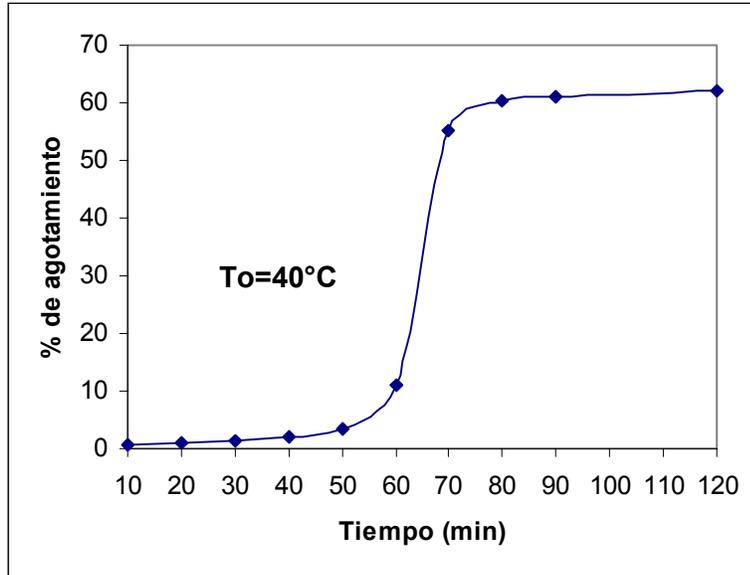


Figura 16. Curva de agotamiento rojo Dianix luminoso G

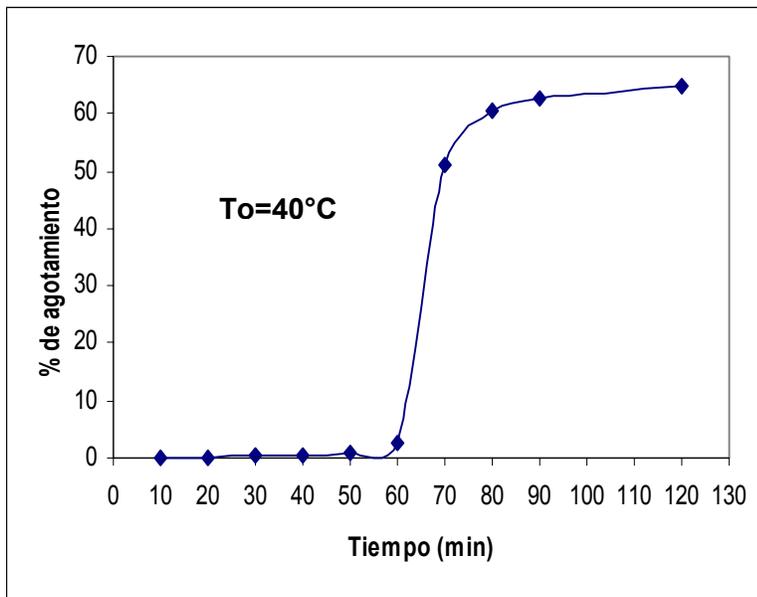
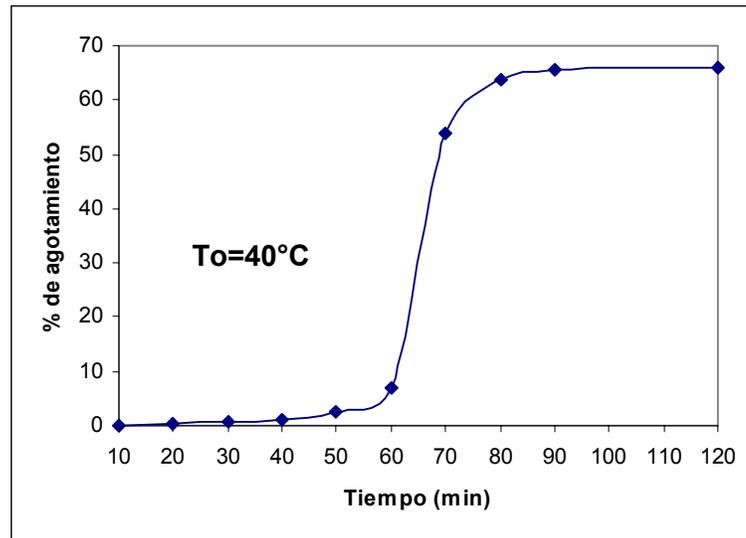


Figura 17. Curva de agotamiento turquesa Dianix S-BG



Curvas de agotamiento de colorantes de dispersión media en función del tiempo y para incrementos de temperatura de 10°C
pH = 5.25 ± 0.25

Figura 18. Curva de agotamiento azul marino Dianix S-2G

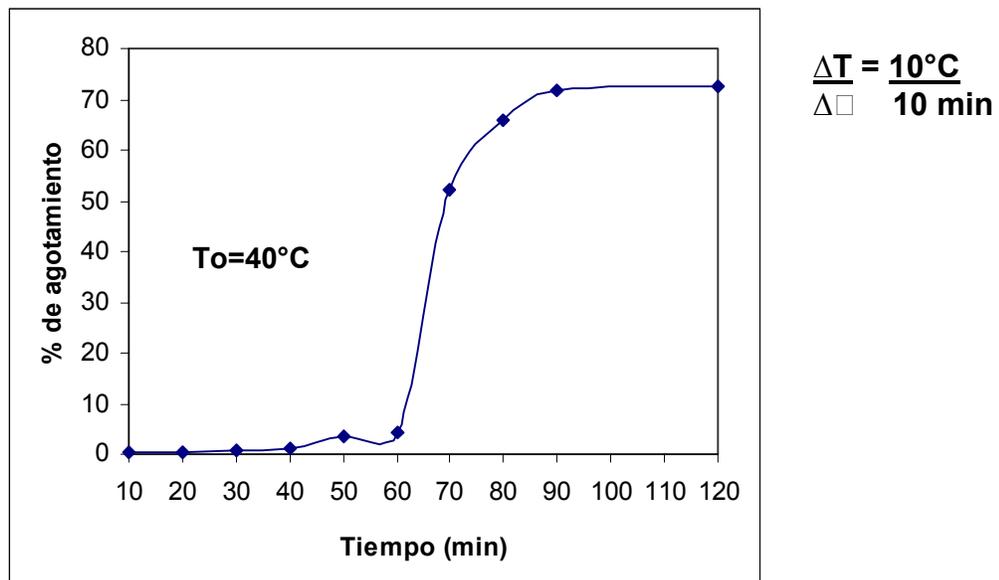


Figura 19. Curva de agotamiento amarillo pardo Dianix S-2R 150%

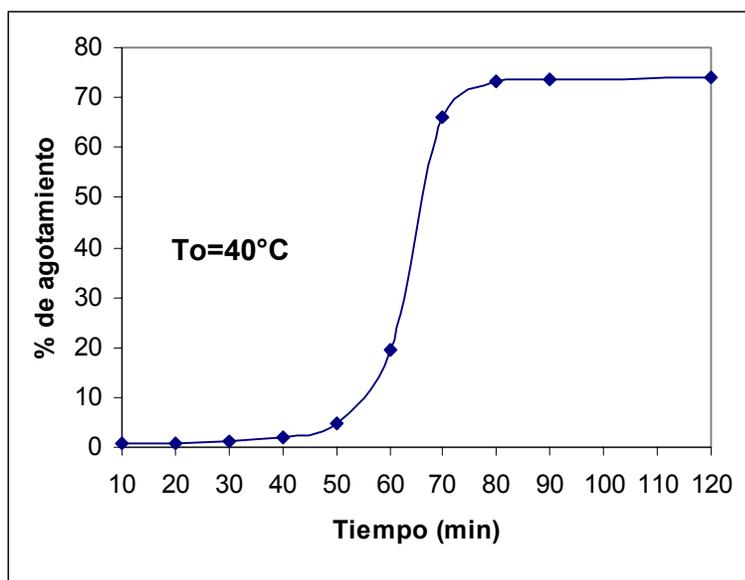


Figura 20. Curva de agotamiento amarillo Dianix S-4G

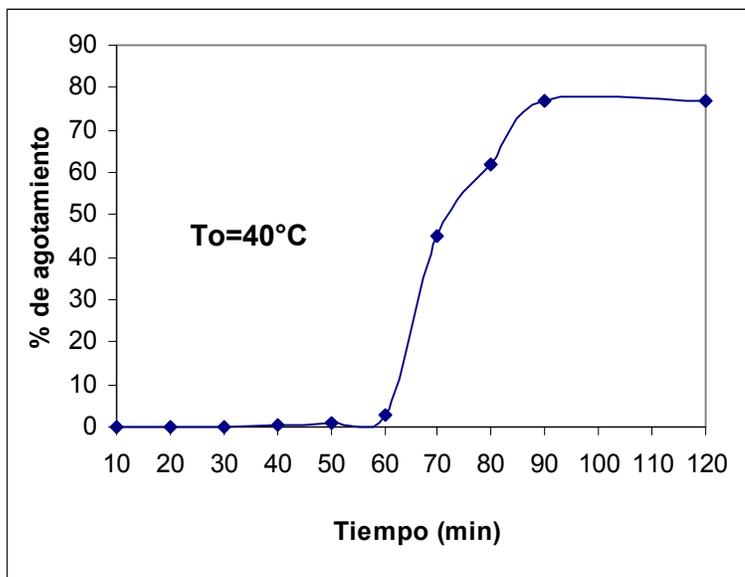


Figura 21. Curva de agotamiento amarillo Dianix luminoso 10G

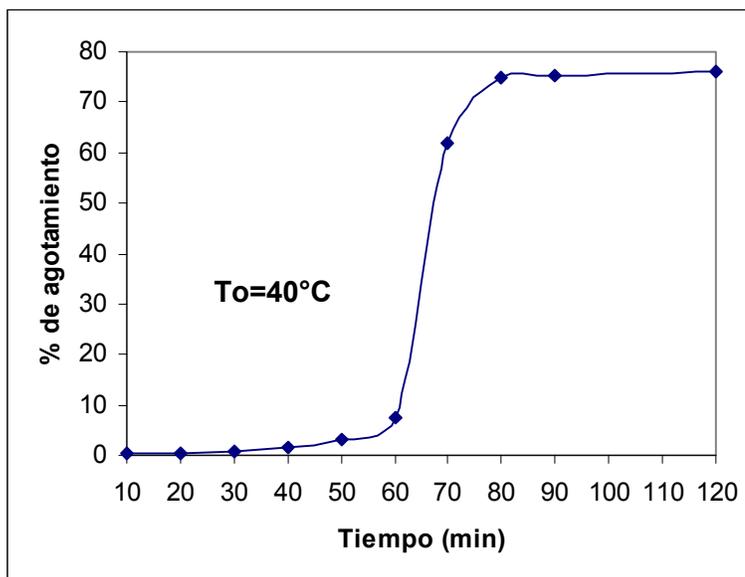


Figura 22. Curva de agotamiento negro Terasil WW-KS

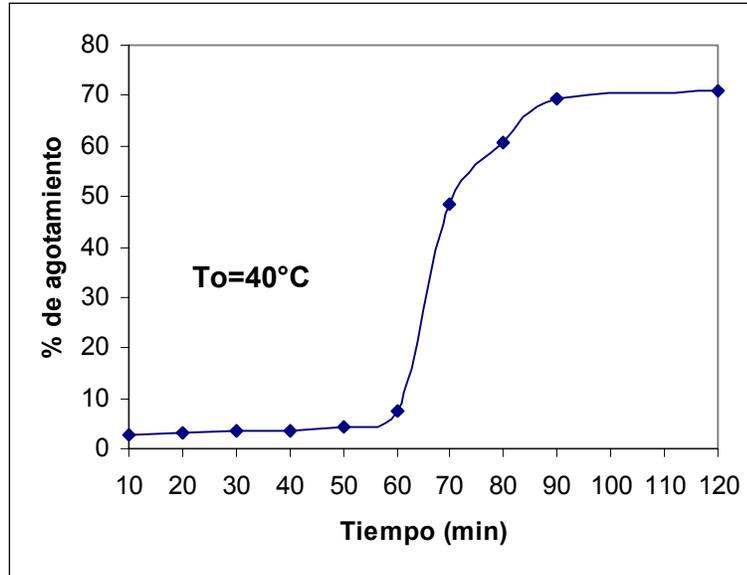


Figura 23. Curva de agotamiento rojo Dianix CC-R

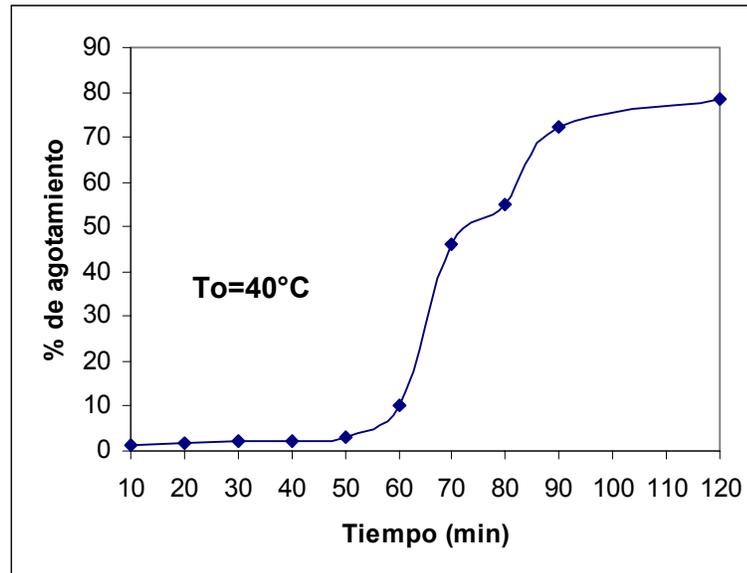


Figura 24. Curva de agotamiento rubina Dianix S-2G 150%

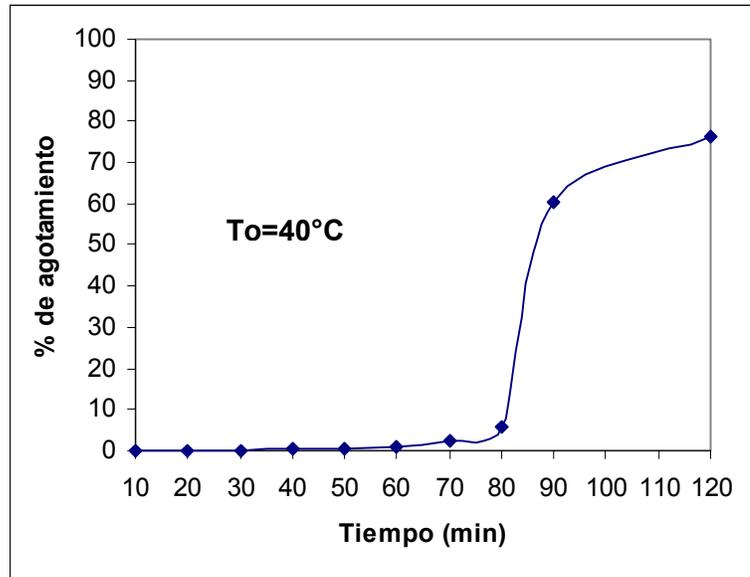
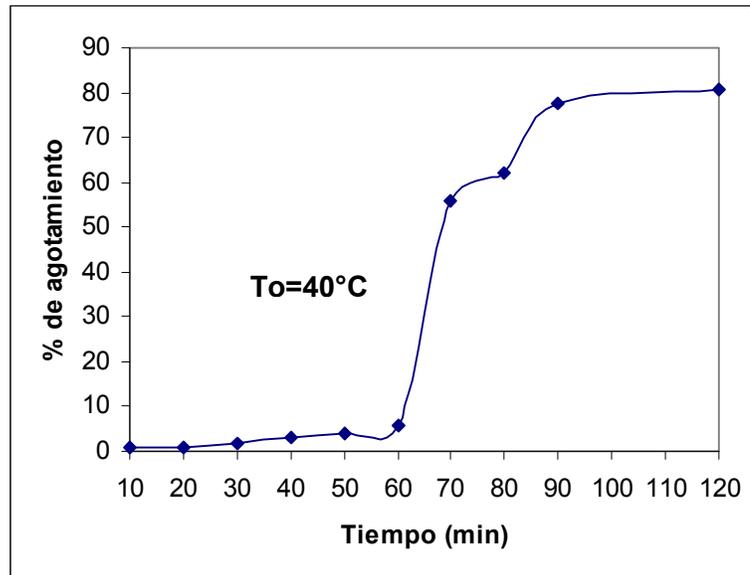
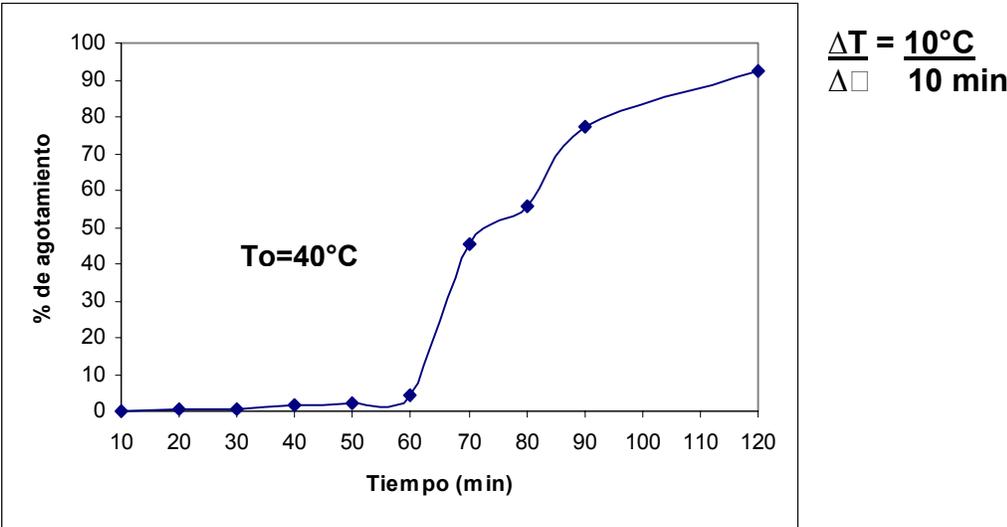


Figura 25. Curva de agotamiento azul royal Dianix S-BG



Curvas de agotamiento de colorantes de alta dispersión en función del tiempo y para incrementos de temperatura de 10°C
pH = 5.25 ± 0.25

Figura 26. Curva de agotamiento amarillo Dianix SE-G



APÉNDICE 2

LECTURAS DEL ESPECTROFOTÓMETRO

Figura 27. Lectura dE verde

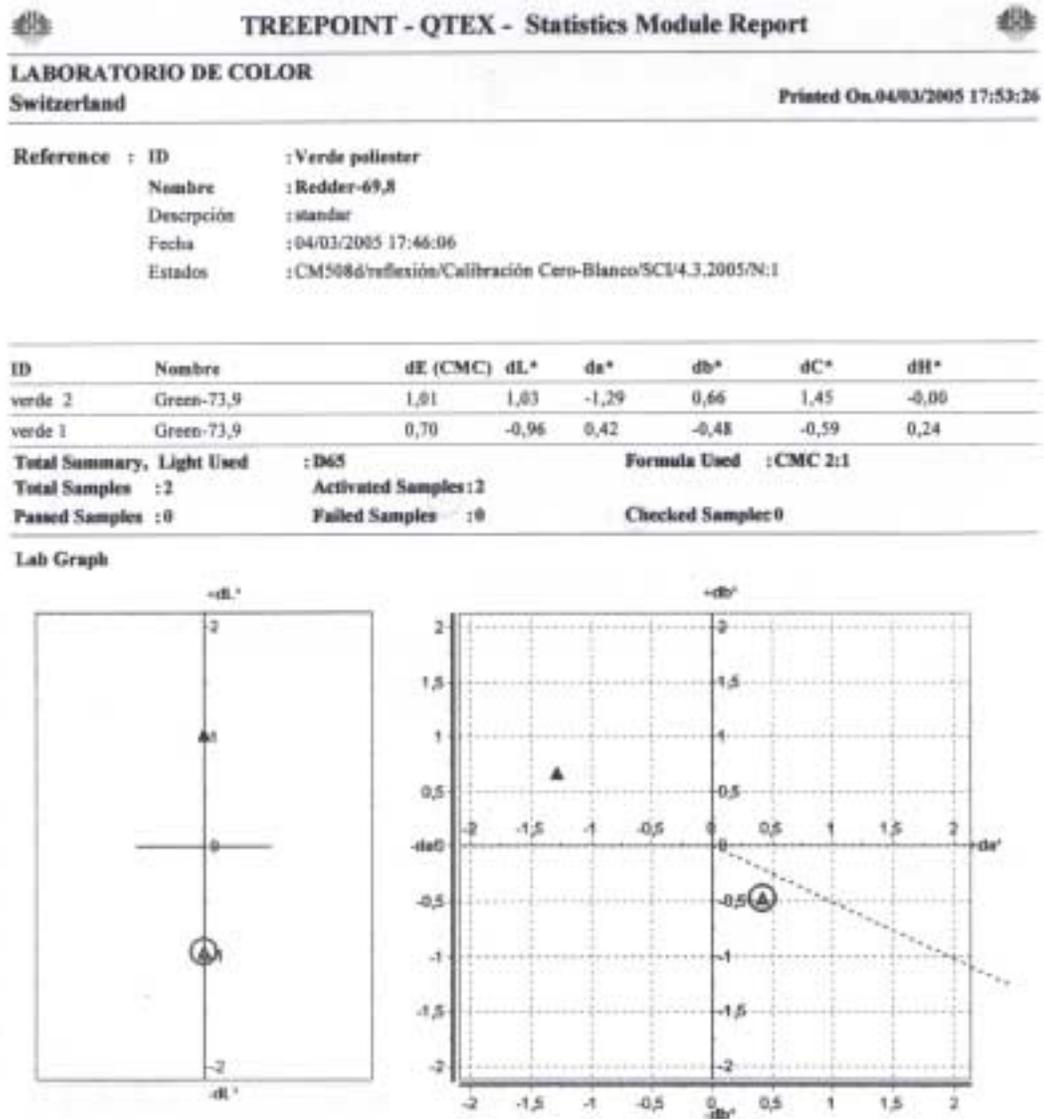


Figura 28. Lectura dE rojo

