

---

## ASPECTOS CINÉTICOS DE LA TINTURA POR INTEGRACIÓN CONTINUA DEL COLORANTE. <sup>Δ)</sup>

J. Cegarra <sup>\*</sup>), P. Puente <sup>\*\*</sup>), J. Valldeperas <sup>\*\*\*</sup>), M. Pepió <sup>\*\*\*\*</sup>)

### 0.1 Resumen.

Como continuación de trabajos anteriores <sup>1,2)</sup> se presenta este estudio en el que se analiza el comportamiento cinético del colorante cuando se integra continuamente en régimen isotérmico. Se describe un modelo matemático para el cálculo de la cantidad total de colorante a añadir en función de la temperatura y del agotamiento deseados.

### 0.2 Summary. *KINETIC ASPECTS OF DYEING BY CONTINUOUS INTEGRATION OF THE DYE.*

Further to previous papers <sup>1,2)</sup>, this presents the analysis of the Kinetic behaviour of the dye when integrated in a continuous way in isothermal regime. A mathematical model is described for the assessment of the total amount to be added versus the temperature and exhaustion requested.

### 0.3 Résumé. *ASPECTS CINÉTIQUES DE LA TEINTURE PAR INTÉGRATION CONTINUE DU COLORANT.*

En continuant deux travaux antérieurs <sup>1,2)</sup>, on présente cette étude où l'on analyse le comportement cinétique du colorant lorsque l'on intègre continuellement en régime isothermique. On décrit un modèle mathématique pour calculer la quantité totale du colorant à ajouter, en fonction de la température et du épuisement que l'on désire.

Δ) Trabajo publicado en J. Soc. Dyers and Colour. Vol. 105, oct. 1989, p. 349 a 355.(\*)

\*) Dr. -Ing. José Cegarra Sánchez. Profesor Emérito de la Universidad Politécnica de Catalunya.

\*\*\*) Dr. C. Quím. Publio Puente Garido. Profesor Titular de Universidad; de "Tintorería", en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa.

\*\*\*\*) Dr. Ing. Josep Valldeperas Morell. Profesor Titular de "Tintorería" de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa. Director de este Instituto y Jefe de su Laboratorio de "Tecnología Textil Química".

\*\*\*\*\*) Dra. Ing. Montserrat Pepió Viñals. Catedrática de "Estadística" de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tintura por integración es un proceso en el que el colorante y/o determinados productos químicos se añaden al sistema tintóreo, por dosificación y a temperatura constante, en lugar de añadirlos todos al principio y elevando la temperatura, como es habitual.

En dos estudios anteriores de tintura por integración, realizados por los autores <sup>1,2</sup>, se buscó por métodos experimentales el modo de efectuar el cálculo de la dosificación del colorante a la solución tintórea, a fin de obtener una absorción del mismo por la fibra, lo más parecida posible a una absorción lineal. En el primero <sup>1</sup>), se partió de cinéticas de absorción a diferentes temperaturas, sobre una fibra previamente teñida a distintas intensidades de colorante; y en el segundo <sup>2</sup>), se partió de cinéticas parciales realizadas por adición consecutiva de cantidades iguales de colorante, a intervalos constantes de tiempo. En ambos casos, y a temperatura constante, se impuso la condición de que la fibra absorbiese, al final de cada intervalo de tiempo, cantidades de colorante iguales entre sí.

Una de las observaciones efectuadas, llevaba a la conclusión de que a temperatura constante, a medida que los intervalos del tiempo de adición se hacían más pequeños, los agotamientos disminuían, y el lugar geométrico de los orígenes de las cinéticas parciales se acercaban a una línea casi recta que pasaba por el origen <sup>2</sup>). Dicha línea es la que precisamente se obtiene cuando la dosificación del colorante se hacía de un modo continuo. Ello, unido a que desde un punto de vista operativo, la adición continua es más fácil de lograr que la intermitente, llevó a la necesidad de estudiar el sistema de tintura dosificando continuamente el colorante, lo cual es el objeto principal en este estudio.

En este trabajo, se analiza el comportamiento cinético en las condiciones de adición continua de colorante indicadas, en los sistemas de tintura de lana con colorantes ácidos y fibra acrílica con colorantes catiónicos. Se presenta la forma de calcular la cantidad de colorante que hay que dosificar a temperatura constante para obtener un agotamiento prefijado; para ello, se han realizado cinéticas de absorción a diferentes temperaturas y concentraciones y a través de un modelo lineal multivariable se han hecho los cálculos correspondientes.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1 Tintura de la lana.

Se ha utilizado lana merina australiana de 22  $\mu\text{m}$ . en forma de hilado de 52 tex. Esta lana ha sido pretratada en un baño en blanco, para ajustar el pH interno de la fibra a un valor próximo a aquél en que se efectuará la tintura, las condiciones

han sido las siguientes:

- Sulfato sódico anhidro	5% s.p. f.
- Acetato sódico	5% s. p. f.
- Acido acético	variable según pH de la tintura posterior
- Relación baño	1/ 15
- Temperatura	95° C
- Tiempo	1 hora
- Aparato	Linitext

Los ensayos de tintura con adición continua de colorante sobre madejas de lana pretratada se han realizado con el colorante ácido del tipo superbatanable C. I. Rojo Acido 111. (Escarlata Sandolan Batan N-GWL 130 %).

Dichas tinturas se han efectuado en un aparato, como el de la Figura 1, ya descrito en publicaciones anteriores <sup>1)</sup>, que permite la medición continua de la absorción del colorante.

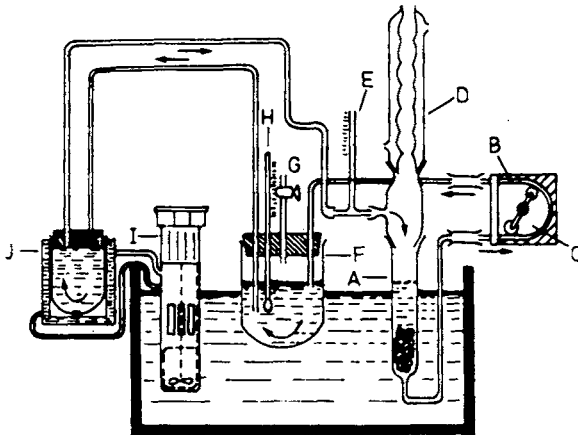


Fig. 1.- Aparato de tintura.

- A: Tubo de tintura con la materia a teñir
- B: Tubo de goma
- C: Bomba peristáltica
- D: Refrigerante de bolas
- E: Medidor de caudal
- F: Vaso de expansión
- G: Llave para regular el nivel en F
- H: Termómetro
- I: Termostato de inmersión-circulación
- J: Cubeta de espectrofotómetro con portacubetas termostatizado

Las condiciones de los ensayos han sido las siguientes:

- C.I. Rojo Acido111	0'6 - 1'2 - 2'4 % s. p. f.
- Sulfato sódico anhidro	5% s. p. f.
- Acetato amónico	5% s. p. f.
- pH (ajustado con ácido acético)	5'4 y 3
- Relación de baño	1/100
- Tiempo total de tintura	60 minutos
- Temperatura	80 - 82'5 - 85 - 87'5, 90°C

El colorante se adicionó en 60 minutos a velocidad constante; después de la tintura, las madejas se lavaron con agua y se secaron a 60° C.

## 2.2 Tintura de fibras acrílicas.

Las cinéticas con dosificación continua del colorante sobre fibras acrílicas se han llevado a cabo con un planteamiento similar al de la lana. Para realizar los ensayos se empleó peinado de Leacril 16 brillante de 5'1 dtex, el cual se lavó previamente con 0'5 g/l de Sandozina NIA y 0'5 g/l de ácido acético glacial a 60° durante 20 minutos para eliminar el posible ensimaje.

Las tinturas se realizaron con tres colorantes catiónicos: C.I. Basic Brown 13 (Pardo Amarillo Sandocryl B-RLE), C.I. Basic Red 14 (Rojo Sandocryl B-2 GLE) y C.I. Basic Blue 73 (Azul Sandocryl B-2 GL). El aparato de tintura indicado anteriormente se modificó de modo que en ningún momento la solución tintórea circulante estuviese en contacto con tubos de goma para evitar que estos absorbieran colorante.

Las condiciones de tintura fueron las siguientes:

- Colorante	variable según ensayos
- Sulfato sódico anhidro	10% s. p. f.
- Acetato sódico	1'5 % s. p. f.
- Acido acético hasta	pH4'5
- Relación de baño	1/100
- Tiempo total de tintura	60, minutos
- Temperatura	80, 82, 84, 86, 89, 91, 93 y 95 °C.

Cantidad total de colorante dosificado a velocidad constante en 60 minutos.

Tintura individuales:	
C. I. Basic Brow 13	0'1; 0'25; 0'5 y 1% s. p. f.
C. I. Red 14	0'2; 0'5; 1 y 2% s. p. f.
C.I. Blue 73	0'4; 1; 2 y 4% s. p. f.

A partir de las cinéticas de absorción de los colorantes en las condiciones indicadas, se han determinado las leyes de absorción, tal como se describe a continuación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION.

#### 3.1 Cinética de tintura con añadida constante

En principio, comentemos algunos resultados experimentales, representativos de este tipo de procesos, los cuales se resumen en la Fig. 2. Se observa que cuando la adición del colorante al baño de tintura se realiza de forma continua y a velocidad constante ( $\Delta c_f / \Delta t = \text{constante}$ ), la absorción es casi lineal para temperaturas que producen agotamientos suficientemente elevados. Para temperaturas que producen agotamientos bajos, las gráficas se curvan levemente hacia el eje de las abscisas, sobre todo a concentraciones elevadas de colorante como el caso de la Fig. 2.

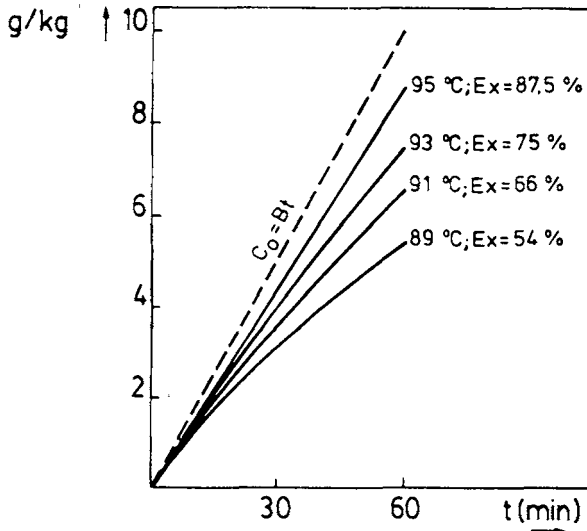


Fig. 2.- Cinéticas de absorción del colorante C. I. Basic Brown 13 (10 g/kg ) a distintas temperaturas, sobre Leacril 16.

----- Colorante total añadido en función del tiempo  
 Ex, Agotamiento a los 60. min.

La interpretación de este comportamiento en la absorción del colorante puede basarse en el aumento de la concentración de éste en la superficie de la fibra, producida por el aumento de la concentración en la solución a lo largo del proceso de tintura por integración. J. Crank <sup>3)</sup> comenta en su obra "Mathematics of the Diiffusion" , entre otros casos, dos situaciones que pueden servir de base para

nuestra interpretación. En una de ellas, indica que cuando la concentración superficial de colorante en una lámina en medio semi infinito, aumenta directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, la cinética sigue una ley lineal. En el otro caso, se indica que cuando la concentración superficial del colorante en un cilindro aumenta exponencialmente hacia un valor estacionario, la cinética del proceso es aproximadamente lineal en las primeras etapas, tendiendo a curvarse hacia el eje de los tiempos conforme el proceso tiende hacia el equilibrio. Aunque no disponemos de los valores que nos indiquen cual es la variación de la concentración superficial del colorante en los sistemas tintóreos que estamos estudiando, no es aventurado plantear el supuesto de que nos encontremos en un caso similar a los propuestos por Crank e indicados anteriormente <sup>3)</sup>.

Del mismo modo que en las tinturas con adición lineal, cuando la afinidad instantánea del sistema permite una absorción ligeramente inferior al suministro del colorante a la solución, la absorción sigue aproximadamente la ley de adición del colorante a la solución, tal como puede apreciarse en los resultados experimentales de la Fig. 3, en la que se muestran dos ejemplos con dosificación parabólica.

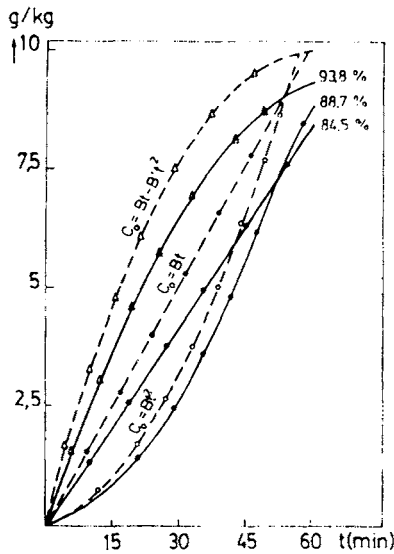


Fig. 3.- Absorción del colorante C. I. Acid Red 111 por la lana en función de la ley de adición.

- lineal  $C_0 = B t$
- parabólica tipo ,  $C_0 = B t^2$
- parabólica tipo ,  $C_0 = B t - B' t^2$

----- Colorante total añadido en función del tiempo  
 \_\_\_\_\_ Colorante total absorbido en función del tiempo

Si nos planteamos el caso de una adición constante en cada unidad de tiempo, tal situación puede expresarse de la siguiente forma.

$$C_o = B t \quad (1)$$

en donde  $C_o$  es la concentración de colorante en g/Kg. de solución tintórea,  $t$  es el tiempo de tintura y  $B$  es la constante de proporcionalidad o velocidad de adición.

La velocidad de absorción del colorante por parte de la fibra puede plantearse como

$$\frac{d C_t}{d t} = b_1 + b_2 t \quad (2)$$

Siendo  $C_t$  la concentración de colorante en fibra en g/g de fibra.  $b_1$  y  $b_2$  las constantes empíricas representativas del fenómeno cinético comentado:  $b_1$  representa la velocidad constante en las primeras etapas de la tintura y  $b_2$  el retardo o aceleración, según su signo.

Integrando la anterior ecuación diferencial resulta

$$C_t = b_1 t + \frac{b_2}{2} t^2 \quad (3)$$

Dividiendo la ec (3) por la (1) y designando por  $K_1$  y  $K_2$  a las constantes  $b_1/B$  y  $b_2 / 2B$ , respectivamente, resulta

$$\frac{C_t}{C_o} = K_1 + K_2 t \quad (4)$$

o bien

$$Ag_t = K_1 + K_2 t$$

donde  $Ag_t$  representa el agotamiento del colorante en tanto por uno, en el instante  $t$ .

Cuando  $K_2$  es igual a cero el agotamiento es constante durante todo el proceso de adición y la cantidad de colorante absorbido por la fibra es proporcional al tiempo. Es decir, en este caso la velocidad es constante y sigue exactamente la misma ley que la adición. En los demás casos, el agotamiento está relacionado con el tiempo a través de una recta, ec. <sup>5)</sup>. La verificación de esta última hipótesis en la tintura por integración continua y a velocidad constante puede observarse en la

Fig. 4, entresacada de la parte experimental en este estudio.

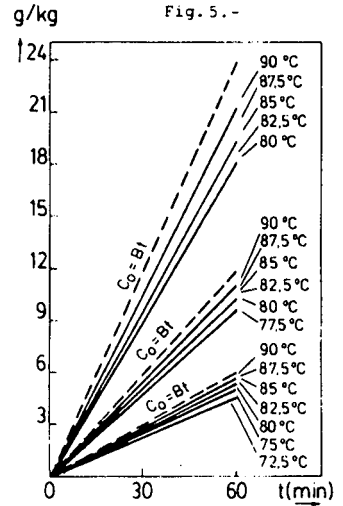
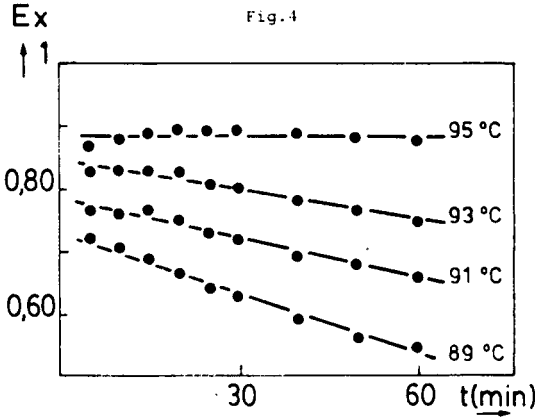


Fig. 4.- Agotamientos (Ex) en función del tiempo, a diferentes temperaturas, para el C.I. Basic Brown 13 sobre Leacril 16.

En el caso de las tinturas realizadas sobre lana con colorantes ácidos la absorción es del mismo tipo que la obtenida sobre fibras acrílicas con colorantes catiónicos tal como puede verse en la Fig. 5.

Fig. 5.- Cinéticas de absorción del colorante C. I. Acid Red 111 sobre lana a distintas temperaturas y concentraciones 6, 12, 24 g/ kg.

----- Colorante total añadido en función del tiempo.

### 3.2 Influencia de la temperatura

Las cinéticas de absorción con adición continua de colorante dependen de la temperatura del mismo modo que las cinéticas convencionales. Cuanto mayor es la temperatura más rápida es la velocidad de tintura y en consecuencia mayores son los agotamientos, tal como puede observarse en las Figs. 5 y 6 correspondientes a las tinturas de fibra acrílica con el C. I. Basic Brown 13, y fibra de lana con el C. I. Acid Red 111.



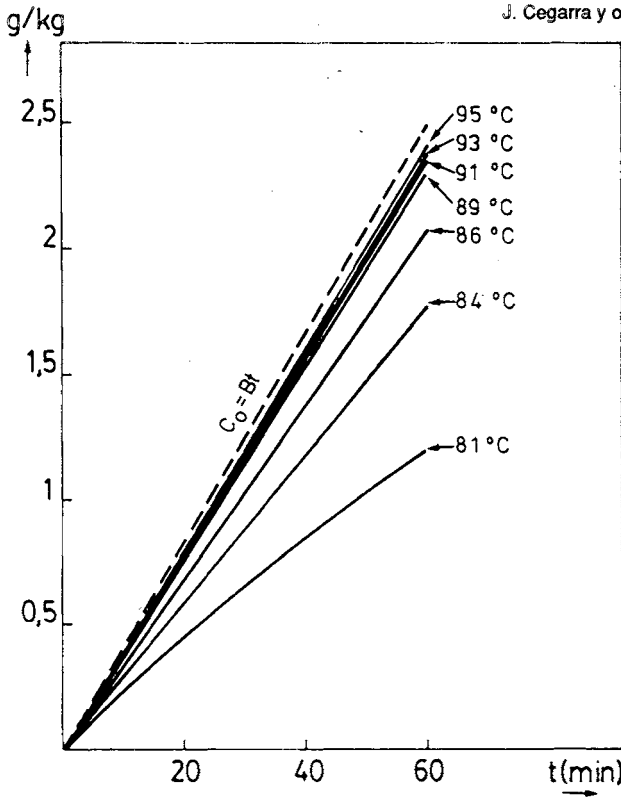


Fig. 6.- Cinéticas de absorción del colorante C. I. Basic Brown 13 ( 2'5 g/kg) a diferentes temperaturas sobre Leacril 16.

----- Colorante total añadido en función del tiempo

Estas cinéticas tienen una particularidad digna de mención; cuando los agotamientos son bajos, la separación de las gráficas para el mismo intervalo de temperatura es muy acusada, debido a que el proceso está gobernado por la difusión del colorante, que en el caso de fibras acrílicas es muy sensible a los cambios de temperatura. Por el contrario, las gráficas correspondientes a los agotamientos elevados están muy próximos entre sí y apenas dependen de la temperatura. Este fenómeno se puede explicar por el hecho de que a temperaturas elevadas la velocidad de absorción es más rápida que la adición de colorante a la solución tintórea. Resulta, pues, un proceso de absorción dinámico en el que, en cada momento se alcanza un pseudo-equilibrio instantáneo entre el colorante de la solución y el de la fibra. Si la adición de colorante fuese extremadamente lenta y la temperatura muy elevada, el sistema estaría muy próximo al equilibrio, pudiéndose invertir el efecto de la temperatura, esto es, a medida que aumenta la temperatura podría disminuir el agotamiento como ocurre con los equilibrios.

Esto puede verse más claramente en la Fig. 7, en la que se han representado los logaritmos neperianos de las constantes de velocidad  $K_1$  en función del inverso

de la temperatura absoluta. El tramo de la gráfica, correspondiente a bajas temperaturas y agotamientos bajos, sigue la ley de Arrhenius, con las salvedades propias de las fibras acrílicas. El tramo de la curva correspondiente a temperaturas y agotamientos elevados es casi paralelo al eje de las temperaturas, y si se siguiese elevando la temperatura, como indicábamos anteriormente, creemos que llegaría a invertirse su efecto encontrándose un factor energético negativo.

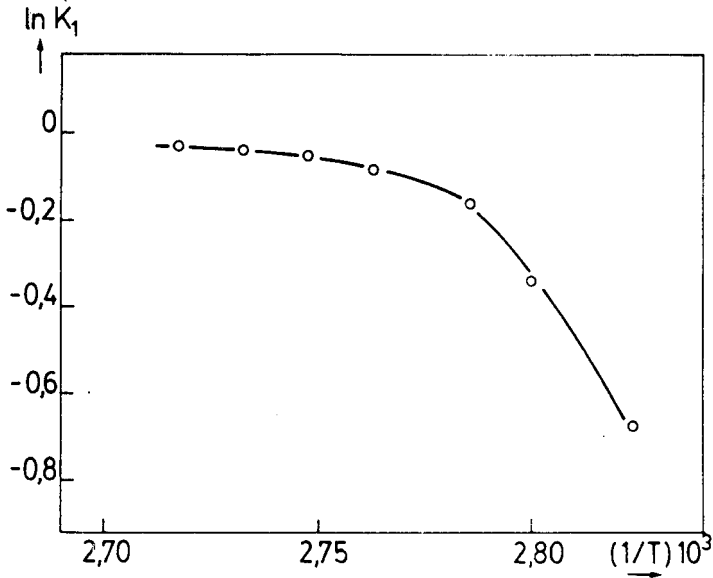


Fig. 7.- Influencia de la temperatura en las constantes de velocidad del C. I. Basic Brown 13 (2'5 g/kg) sobre Leacril 16.

Debemos advertir que para calcular las energías de activación que se obtendrían a partir del tramo de bajas temperaturas de la gráfica de la Figura 7 habría que demostrar la proporcionalidad entre las constantes calculadas  $K_1$ , y los coeficientes de difusión del colorante.

En el caso de la tintura por integración sobre fibra de lana con colorantes ácidos superbatanables, dentro del campo experimental estudiado, los resultados siguen la misma tendencia que los encontrados con fibras acrílicas, como puede observarse en la Fig. 8. Es de destacar que para la concentración mas baja ( $C_0 = 6$  g/kg), también se llega a una situación a las temperaturas más elevadas, en que la absorción es practicamente independiente de la temperatura es decir, el proceso evoluciona muy próximo al estado de pseudoequilibrio.

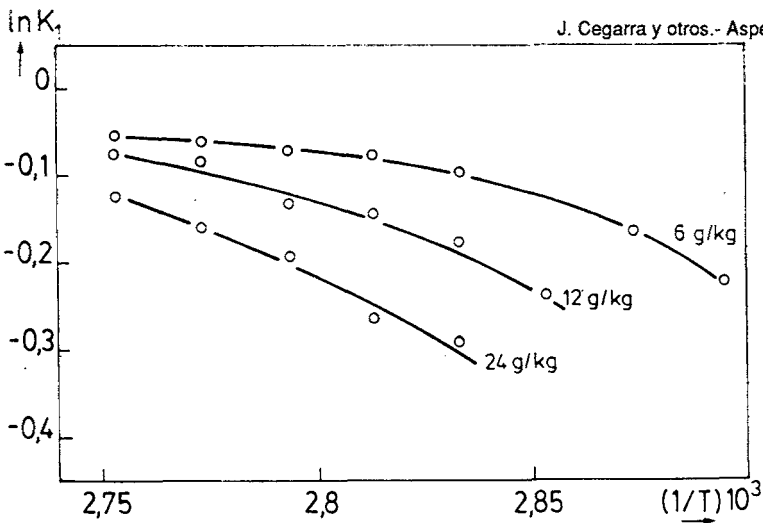


Fig. 8.- Influencia de la temperatura en las constantes de velocidad del C. I. Acid Red 111, sobre lana, a distintas concentraciones.

#### 4. CONSIDERACIONES TECNOLÓGICAS

Una vez analizadas de forma resumida alguno de los aspectos cinéticos de estos sistemas tintóreos, pasaremos a exponer la sistemática global que puede guiarnos a planificar adecuadamente la cantidad de colorante que podemos introducir en una fibra, de acuerdo con un método de tintura isotérmico por integración continua y lineal.

Bajo el supuesto de trabajar con sistemas tintóreos cuyos agotamientos permanezcan prácticamente constantes a lo largo del periodo de adición de colorante, dichos agotamientos se convierten en parámetros característicos del sistema tintéreo, siendo necesario conocer su relación con las variables del proceso; temperatura y velocidad de adición del colorante, para poder determinar las condiciones de tintura que den lugar al resultado deseado. En el caso de que los agotamientos disminuyesen con el tiempo de adición, como ocurre a temperaturas bajas, entonces para fines prácticos se tomarían los agotamientos al cabo de los 60 minutos.

El modelo cinético desarrollado (ec. 5) indica que  $Ag = K1$  cuando el segundo término se elimina; entonces a los agotamientos se les puede aplicar la ley de Arrhenius modificada con un término cuadrático, para ajustarse mejor a los puntos experimentales, resultando

$$\log Ag = Z_1 + Z_2 \frac{1}{T} + Z_3 \frac{1}{T^2} \quad (6)$$

en donde las Z son constantes, Ag agotamiento a los 60 min y T temperaturas absolutas.

Sin embargo para tener una descripción completa del sistema de adiciones estudiado, es necesario introducir la variable cantidad total de colorante a añadir.

El modelo lineal multivariable que auna la acción de la temperatura y la cantidad total de colorante añadido en 60 min sobre el agotamiento, y que mejor se ajusta al fenómeno experimental, entre los varios estudiados, es del tipo:

$$\ln(1 - Ag) = B_1 + B_2 \ln C + B_3 \frac{1}{T} + B_4 \frac{1}{T^2} + B_5 \frac{\ln C}{T} \quad (7)$$

Donde Ag y C son respectivamente el agotamiento y la cantidad total del colorante añadido al cabo de 60 minutos de tintura y T la temperatura absoluta.

En este modelo, los términos  $B_3 \frac{1}{T}$  y  $B_4 \frac{1}{T^2}$  hacen las funciones de una ley de tipo Arrhenius, mientras que  $B_2 \ln C$  y  $B_5 \frac{\ln C}{T}$  contemplan la influencia de la concentración y la interacción de ésta con la temperatura.

La estimación de los parámetros del modelo lineal, (ec. 7) para los dos sistemas experimentales estudiados pueden verse en la Tabla 1, en donde además figura el valor del coeficiente de determinación del ajuste ( $r_2$ ), cuyo valor nos da, en cada caso, idea de la alta significación del mismo.

**TABLA 1**

Valores de los coeficientes de ajuste, (ec. 7), calculados para los dos sistemas tintóreos estudiados.

FIBRA COLORANTE	ACRÍLICA C.I.BASIC BROWN 13	LANA C.I.Acid Red 111
B <sub>1</sub>	448'575	204'437
B <sub>2</sub>	2'196	-5'314
B <sub>3</sub>	-355230'592	-153135'157
B <sub>4</sub>	69369237'4	28112955
B <sub>5</sub>	-391'980	2152'288
r <sup>2</sup>	0'968	0'984

En las Figs. 9 y 10 puede observarse la adecuación de los puntos experimentales al modelo establecido. En la primera de estas figuras se han dibujado

también los puntos experimentales correspondientes a los colorantes C.I. Basic Red 14 y C.I. Basic Blue 73, que siguen la misma tendencia que el C.I. Basic Brown 13. Este comportamiento era previsible, por ser todos ellos de igual índice de concentración <sup>4</sup>.

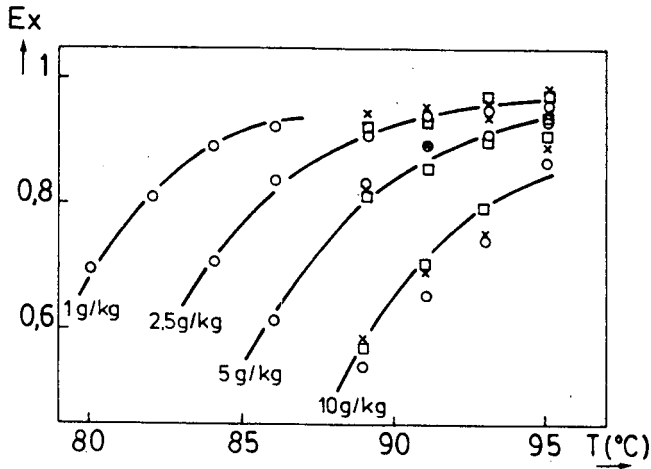


Fig. 9.- Ajuste de la ecuación (6) para colorantes catiónicos sobre Leacril 16. (Ex = Agotamiento a los 60 min).

- C.I. Basic Brown 13 \*
- C.I. Basic Red 14 \*\*
- C.I. Basic Blue 73 \*\*

- \* A las concentraciones que se citan en la figura.
- \*\* A las concentraciones equivalentes al C.I. Basic Brown 13.

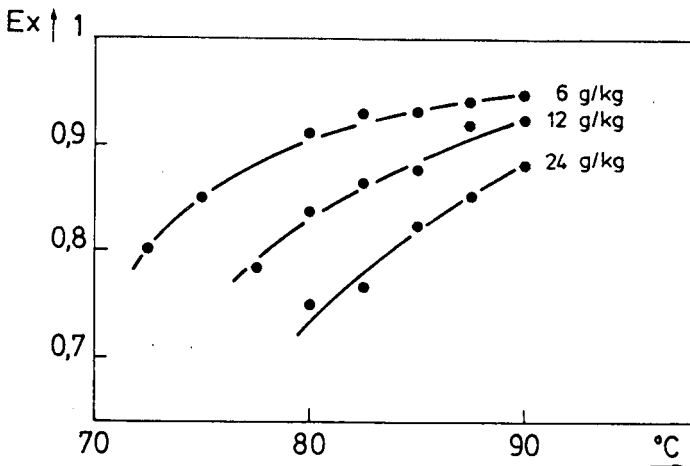


Fig. 10.- Ajuste de la ecuación (6) para el colorante C.I. Acid Red 111 sobre lana (Ex = agotamiento a los 60 min).

El conocimiento de los parámetros de la ec. (6), B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, y B<sub>5</sub>, nos permite expresar C, como

$$C = \text{EXP} \frac{\ln (1-A_g) - B_1 - B_3/T - B_4/T^2}{B_2 + B_5/T} \quad (8)$$

A partir de la ecuación (7) y conocido el valor de A<sub>g</sub>, para cada temperatura, puede calcularse el correspondiente valor de C. Las posibilidades de este cálculo puede apreciarse en las Figs. 11 y 12. En ellas, para cada valor de la cantidad de colorante añadida en forma continua durante 60 minutos (C) según sea la temperatura de trabajo elegida, se puede determinar el % A<sub>g</sub>. y la cantidad de colorante que absorbe la fibra de forma controlada, es decir, con absorción lineal, ó ligeramente parabólica.

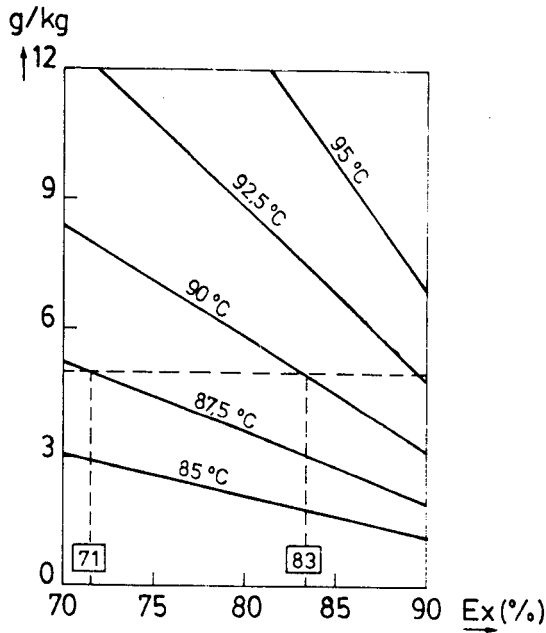


Fig. 11.- Determinación de la temperatura, en régimen isotérmico para controlar el % de agotamiento (Ex) en una tintura por integración de colorante de intensidad prefijada en g/kg; C.I. Basic Brown 13 sobre Leacríl 16.

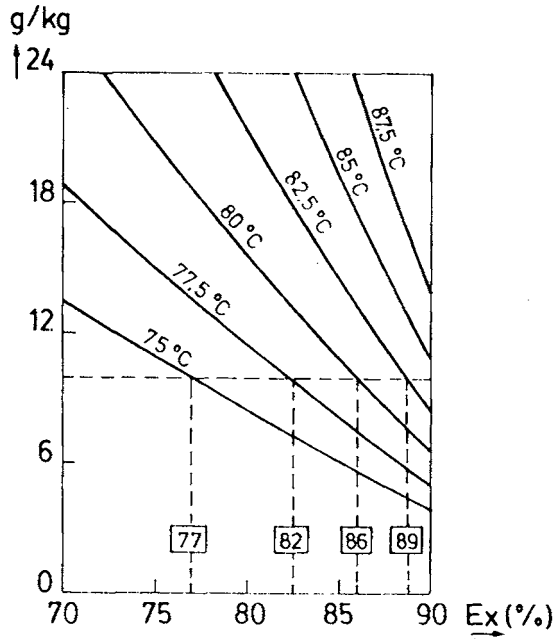


Fig. 12.- Determinación de la temperatura, en régimen isotérmico para controlar el % de agotamiento (Ex) en una tintura por integración de colorante de intensidad prefijada en g/kg; Acid Red 111 sobre lana.

Siguiendo esta metodología para cada colorante o grupos de colorante de cada sistema tintóreo, se pueden obtener los datos necesarios para planificar adecuadamente los programas de tintura, a fin de suministrar los valores adecuados, bien en forma de tablas o gráficas para su aplicación industrial. El modelo presentado ha sido elaborado bajo unas condiciones determinadas tales como adición lineal del colorante con el tiempo y en régimen isotérmico, pero pueden elegirse otras condiciones diferentes, que llevaría el establecimiento de otros modelos matemáticos de ajuste.

## 5. CONCLUSIONES

Las que se infieren de este estudio son las siguientes:

**5.1** En el método de tintura por integración continua de colorante, en régimen isotérmico, la absorción de éste por la fibra sigue la ley de integración elegida, cuando los agotamientos son elevados.

**5.2** Tanto en el caso de tintura de la lana como en las fibras acrílicas y cuando los

agotamientos inferiores al 80 % las constantes de velocidad cumplen la ley de Arrhenius. En agotamientos elevados, las constantes de velocidad son casi independientes de la temperatura.

**5.3** Mediante los resultados experimentales se puede deducir un sistema de cálculo que relacione el agotamiento, la temperatura, y la cantidad total de colorante integrado. Ello permite determinar la cantidad de colorante que puede ser absorbido por la fibra en función de la temperatura y agotamientos escogidos, para un tiempo dado.

## **6. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Wool Foundation y a la C.A.Y.C.I.T. la ayuda económica para efectuar este estudio, así como a D.J. Navarro y Dña B. Castro por la labor experimental desarrollada.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

- (1) J. Cegarra, P. Puente, J. Valdeperas, M. Pepió, B. Escribano y J. Carbonell, Boletín Intextar 86 (1984) 9.
- (2) J. Cegarra, P. Puente, J. Valdeperas y M. Pepió, Actas del 13 Congreso de la FIAQCT, Londres, Septiembre (1984). Textile Res. J. 58 (1988) 645-653.
- (3) J. Crand The Mathematics of diffusion, Oxford (1957) pag. 31 y 67.
- (4) Muestrario de colorantes Sandocryl (Sandoz).

Trabajo recibido en 1990.03.28 - Aceptado en 1990.10.17.