Tintura por integración

J. Cegarra (1)
P. Puente (2)
J. Valldeperas (3)
M. Pepió (4)
B. Escribano (5)
J. Carbonell (6)

RESUMEN

En este trabajo, primero de una serie dentro de su modalidad, denominamos tintura por integración al método fundamentado en la adición dosificada durante la tintura, según una ley preestablecida, bien del colorante, los electrolitos o los productos auxiliares, a fin de conseguir una mejor optimización del proceso tintóreo. Los estudios experimentales de la tintura por integración se han relizado sobre fibra acrílica con colorantes básicos y sobre lana, con colorantes ácidos de mala igualación. Los ensayos efectuados, se pueden dividir en cuatro grupos: 1.- Cinéticas de tintura a temperatura constante sobre Leacril 16, y dosificación discontínua de colorante. 2.- Cinéticas a temperatura constante sobre lana teñida a distintas concentraciones. 3.- Cinéticas con dosificación continua, a temperatura constante; influencia de la temperatura. 4.- Por último se ha realizado un grupo de experiencias en planta piloto, sobre bobina cruzada de lana, y con un proceso de subida de temperatura y dosificación continua en distintos tiempos. Los resultados parecen indicar que en procesos prácticos de tintura existe un tiempo óptimo de dosificación, en el que la igualación es máxima, disminuyendo tanto si se incrementa como si se disminuye la velocidad de dosificación del colorante.

SUMMARY

Integration dyeing is a method based on the dosed addition on dyeing either of the dye, electrolites or auxiliary products in order to reach a better optimization of the dyeing process. Experimental studies have been performed on acrylic fibres

(1) J. Cegarra. Director del Instituto. Catedrático de "Tintorería" de la E.T.S.I.I. de Terrassa.

(2) P. Puente. Dr. Ciencias Químicas. Profesor Titular de Tintorería de la E.T.S.I.I. de Terrassa.

(3) J. Valldeperas. Dr. Ing. José Valldeperas Morell. Jefe de los Laboratorios de Tecnología Textil Química de este Instituto. Profesor Titular de "Tintorería" de la E.T.S.I.I. de Terrassa.

(4) M. Pepió. Dra. Ing. Montserrat Pepió Viñals. Profesor Titular de "Estadística" de la E.T.S.I.I. de Terrassa.

(5) B. Escribano. Ing. Tecn. Beatriz Escribano Rodríguez de Robles. Becaria en este Instituto.

(6) J. Carbonell. Dr. Ing. de Industrias Textiles. José Carbonell Costa.

with basic dyes and on wool with acid dyes. Tests carried out include: a) Dyeing Kinetics, at constant temperature on Leacril 16 and non-continuous dose of the dye; b) Kinetics at constant temperature on wool dyed at different concentrations; c) Kinetics with continuous dosing, at constant temperature; influence of temperature; and d) Experiments in small scale plant on wool crosswound package. First results indicate that there is an optimum time of dosing in which levelling is maximum whereas the above time will decrease or increase if the dosing rate of the dye decreases.

RESUME

Dans ce travail, le premier d'une série dans sa modalité, nous appelons teinture par intégration, la méthode basée sur l'addition dosée pendant la teinture, selon une loi préétablie, soit du colorant, des électrolytes ou des produits auxiliaires, afin de parvenir à une meilleure optimisation du processus de teinture. Les études expérimentales de la teinture par intégration on été réalisées sur fibre acrylique, avec des colorants basiques, ainsi que sur la laine, avec des colorants acides à mauvaise égalisation. Les essais peuvent être divisés en quatre groupes: 1.- Cinétiques de teinture à température constante sur du Léacril 16, et dosage discontinu de colorant. 2.- Cinétiques à température constante sur de la laine teinte à différentes concentrations. 3.- Cinétiques à dosage continu, à température constante, l'influence de la température. 4.- Enfin, on a réalisé un groupe d'expériences dans une instalation pilote, sur bobine croisée de laine, et avec un processus de montée de la température, et de dosage continu, à temps différents. Les résultats paraissent indiquer que dans de processus de teinture practiques, il existe un temps de dosage optimal, dans lequel l'égalisation est maximale, celle-ci diminuant indistinctement si l'on augmente ou si l'on diminue la vitesse de dosage du colorant.

INTRODUCCION

Denominamos tintura por "integración" a un método que consiste en efectuar una adición gradual del colorante o los productos auxiliares o ambos a la vez durante parte del proceso de tintura y que actualmente suele emplearse cuando el mecanismo tintóreo se presenta con gran afinidad y puede dar lugar a absorciones rápidas e irregulares que produzcan desigualdades iniciales fuertes, de muy difícil solución, sobre todo cuando la migración es practicamente nula. Se pueden citar como ejemplos, la adición por partes del colorante en la tintura en jigger, en la tintura de la seda natural con colorantes ácidos, la variación del pH en la tintura de la lana a través de sales amónicas, la adición gradual del cloruro sódico en la tintura con colorantes directos de mala igualación, etc. Este sistema de tintura fué utilizado por Drijvers (1) para la tintura de coronas de rayon y bobinas de algodón por el método de semipigmentación. Más recientemente, Bayer en la patente de la R.F.A. 29.14.111 de prioridad 7/4 1979 y en la patente europea 80.101.555.3 de fecha de prioridad 25/3/80 (2) indican un procedimiento para la tintura de colorantes reactivos sobre celulosa en el cual se efectúa una adición contínua del colorante solo o colorante y alcali conjuntamente durante un tiempo comprendido entre ½ y 3 horas. Basado en estas patentes la firma Thies presentó en la ITMA de 1983 en Milán un autoclave de tintura equipado con una bomba de pistón para la integración y dosificación del colorante.

Por otra parte, en tintura por agotamiento se tiende a la utilización de aparatos de baja relación de baño, como consecuencia de las economías de agua, energía y productos químicos. Sin embargo en estos sistemas aparecen ciertas limitaciones de igualación de tintura consecuencia de las mayores concentraciones de colorante

que se producen al disminuir el volumen de solución, con lo que se alcanzan o sobrepasan los límites de solubilidad de los colorantes y se producen absorciones irregulares por el efecto de filtro de los empaquetados. Para obviar dicho inconveniente parece interesante y recomendable efectuar la adición del colorante y productos químicos en forma gradual por el método de integración, ya que por una parte disminuye la concentración de colorante presente en el baño y por otra, al adicionarse muchos productos auxiliares y químicos en función de dicha concentración de colorante, se podría reducir el costo de la tintura al ser necesarias inferiores cantidades de los mismos.

Estos métodos, desarrollados y utilizados en general de una forma empírica, han despertado nuestra atención ya que se comprende fácilmente que la cinética de absorción del colorante por la fibra en estas condiciones tiene que ser diferente a la que se produce en los sistemas convencionales cuando todo el colorante y los demás productos se adicionan de una sola vez al principio de la tintura.

Evidentemente, dicha cinética vendrá condicionada por la ley que regule la adición del colorante, electrolitos y auxiliares, pudiendo existir varios modelos, algunos de los cuales se han desarrollado en este estudio. A dicha cinética se le puede imponer una determinada ley de absorción, como puede ser, por ejemplo, la proporcional al tiempo que en su día denominamos isorreactiva (3) o la absorción según una función exponencial del tiempo como la propuesta por Brooks (4), como más adecuadas para obtener tinturas igualadas.

El estudio de la tintura por integración será desarrollado en varias etapas. En las primeras se pretende obtener un modelo teórico que permita conocer la ley que regula la adición del colorante de acuerdo con la ley deseada de absorción del mismo por la fibra, isorreactiva u otras; estudios similares se pretenden efectuar con los productos auxiliares. En una segunda etapa se analizarán para algunos sistemas tintóreos, la validez de las leyes de adición de colorantes y productos auxiliares para conseguir la igualación de los empaquetados textiles en aparatos con circulación de baño. Finalmente, se intentará la optimización de los procesos y su comparación con los procesos optimizados actuales para conocer la situación del método de tintura por integración en relación a los procedimientos actualmente en uso.

En este trabajo se estudia uno de los modelos teóricos planteados y la concordancia con los resultados experimentales conseguidos para un sistema de tintura por integración de colorantes ácidos de tipo batanable sobre fibra de lana.

MODELO TEORICO

En este estudio analizaremos solamente la "integración" del colorante, esto es su adición por partes al baño de tintura, persiguiendo como fin el conseguir una absorción de colorante proporcional al tiempo de tintura, denominada "isorreactiva", cuya influencia sobre la igualación de tintura ha sido comentada ya en otras publicaciones. Para lograr dichos objetivos será necesario determinar la ley que rige la adición de colorante al baño.

Si se plantea como ejemplo, de momento, un caso con adiciones discretas, a temperatura constante, y lo comparamos con la adición usual de todo el colorante al principio, es fácilmente comprensible que las curvas de absorción presentarán claras diferencias, ya que mientras en el segundo caso es de tipo exponencial, en el primero, prescindiendo de otros factores, se convertirá en una sucesión de tramos exponenciales, tal como se muestra en las curvas C_b y C'_b de la Fig. 1.

Fig. 1.- Representación de una cinética en régimen isotérmico para una tintura con-

vencional y una tintura por integración, en la cual se desea una absorción proporcional al tiempo de tintura.

Imponiendo la condición lineal y para una concentración inicial C_{b1} se observa que transcurrido un tiempo t_1 deberá realizarse una nueva adición C'_{b1} para que al cabo de otro $\triangle t$ la nueva cinética corte a la recta. Si lo que se fija a priori es el valor de $\triangle t$, se comprende que sólo existe una única concentración en cada caso, designada en la figura con el subíndice 1 que cumpla la condición impuesta. Continuando con este proceso se conseguirá, que la cantidad de colorante aborbido sobre la fibra, C_t, esté relacionado con el tiempo t, a través de la ley proporcional

$$C_t = M \cdot t \quad [1]$$

siendo M la cantidad de colorante que debe absorber la fibra en la unidad de tiempo. Realmente, en el ejemplo expuesto, esta ley se cumpliría solamente en los puntos de corte, esto es t_1, t_2, ...t_n aunque es obvio que cuanto menores sean los $\triangle t$ más próximo será el comportamiento a la ley expuesta.

Otro aspecto a tener en cuenta y que diferencia las curbas C_b de las C'_b es que mientras las primeras se desarrollan igual que las isotermas convencionales, por iniciarse el proceso sobre fibra blanca, las segundas y siguientes se efectúan sobre una fibra que ya ha absorbido una cantidad de colorante, igual a M. $\triangle t$, siguiendo la isoterma. Es de esperar que esta cantidad de colorante en fibra, que denominamos pretintura, influya sobre la constante de velocidad y el agotamiento de cada tramo.

Estas consideraciones nos llevan a la necesidad de conocer las leyes que relacionan la constante de velocidad K y el agotamiento A, con la cantidad inicial de colorante en solución C_b y en fibra preteñida, X. Una vez determinadas experimentalmente estas leyes, junto con la ley de absorción impuesta (isorreactiva) y fijado el tiempo de cada añadida, se podrá determinar la cantidad de colorante que hay que adicionar en cada momento para seguir los tramos de isoterma destacados en esta figura.

Como ecuación para el cálculo de las constantes de velocidad K de las isotermas parciales se ha empleado la de Cegarra-Puente con el factor exponencial "a" (5) que adopta la forma

$$\ln \left[- \ln \left[1 - \frac{C_t^2}{C^2} \right] \right] = a \ln K + a \ln t \quad [2]$$

Esta ecuación se simplifica en los casos en que a = 1, adoptando la forma

$$\ln \left[1 - \frac{C_t^2}{C_\infty^2} \right] = -K.t \quad [3]$$

Si en la ecuación [2] se substituye C_∞ por su equivalente $A.C_b$ y se despeja C_t, se tiene

$$C_t = A \cdot C_b \cdot \sqrt{1 - e^{-(Kt)^a}} \quad [4]$$

Si se considera que las adiciones de colorante se efectúan cada intervalo de tiempo $\triangle t$, la cantidad de colorante absorbido por las fibras en este intervalo, $C_{\triangle t}$ para el tiempo posterior a t, Fig. 2, viene dada por la expresión

$$C_{\Delta t} = A_2 \cdot C_b\,(t) \sqrt{1 - e^{-(K_2 \cdot \Delta t)^a}} \quad [5]$$

Por otra parte, al imponerse la condición de absorción de colorante proporcional al tiempo

$$C_{\triangle t} = M \cdot \Delta t \qquad [6],$$

y ser, por ello, ambas $C_{\triangle t}$ iguales se obtiene

$$A_2 \cdot C_b(t) \sqrt{1 - e^{-(K_2 \cdot \Delta t)^{a_2}}} = M \cdot \Delta t \qquad [7]$$

La cantidad de colorante en la solución que cumple con la condición impuesta C_b es

$$C_b = \frac{M \cdot \Delta t}{A_2 \sqrt{1 - e^{-(K_2 \Delta t)^{a_2}}}} \qquad [8]$$

La cantidad de colorante a adicionar S(t) en cada intervalo de tiempo $\triangle t$, será:

$S(t) = C_b$ - |Colorante residual en baño, de la añadida ant.

$$s(t) = \frac{M \cdot t}{A_2 \sqrt{1-e^{-(K t)^{a_2}}}} - \left[\frac{M \cdot t}{A_1 \sqrt{1-e^{-(K t)^{a_1}}}} - M \cdot t \right] \qquad [9]$$

Análogas substituciones pueden efectuarse cuando "a" es igual a 1, resultando expresiones matemáticas más simples.

Fig. 2.— Representación gráfica de la variación del contenido de colorante sobre la fibra, en función del tiempo en un sistema de tintura por integración con absorción de colorante proporcional al tiempo.

Para la resolución de la ecuación [9] en cada adición se necesita determinar los valores de las constantes de velocidad, K, y de los factores exponenciales "a" de las isotermas parciales, así como los agotamientos (A) que se producen al final de cada intervalo de adición, para diferentes concentraciones iniciales de colorante en solución (C_b) y de pretintura en la fibra (X), bajo condiciones de temperatura, pH, relación de baño, etc., constantes.

La distribución del colorante en la fibra preteñida puede considerarse de dos formas: colorante distribuido uniformemente en la sección transversal, como correspondería a una pretintura en un estado de equilibrio, o bien presentar una distribución anular, por hallarse todavía en una fase cinética. Ambas situaciones darán lugar a dos modelos de tintura por integración distintos: el primero de ellos es el que se analiza en este primer trabajo.

EXPERIMENTAL

Los valores experimentales necesarios para el cálculo, se han obtenido en los ensayos de tintura que se indican a continuación:

Materia ..... hilado de LANA
Colorantes ..... C.I. Rojo Acido 111
C.I. Azul Acido 80
(Ambos de tipo superbatanable)

Pretintura en baño neutro:

Colorante	0,0.5,1,1.5 y 2 % s.p.f.
Sulfato Sódico	5 % s.p.f.
Acetato Amónico	5 % s.p.f.
Relación de baño	1/100

La tintura se inició a 50° C, elevando la temperatura a 1° C/min. hasta 95°C y manteniendo esta temperatura durante 60 min. Estas tinturas se efectuaron en un aparato Linitest.

Las cinéticas sobre fibra preteñida se realizaron en el aparato cuyo esquema se ilustra en la Fig.3.

Fig. 3.- Dispositivo empleado para realizar las cinéticas sobre fibra preteñida.

Los ensayos cinéticos se han desarrollado en las condiciones que se indican a continuación:

Colorante	
Fibra blanca	0.6, 0.8, 1 % s.p.f.
Fibra preteñida	0.2, 0.4, 0.6, 0.8, y 1 % s.p.f.
Sulfato Sódico	5 % s.p.f.
Acetato Amónico	5 % s.p.f.
Relación de baño	1/100
Temperatura	77.5° C
Tiempo	120 minutos
pH	C.I. Azul Acido 80: 5 C.I. Rojo Acido 111: 6

Tal como se observa, la planificación experimental se centra en el análisis de las dos únicas variables que interesan desde el punto de vista de Integración del colorante:

Concentración de colorante sobre fibra preteñida

Concentración de colorante en el baño.

RESULTADOS

En la Fig.4 se muestran los resultados obtenidos con uno de los colorantes (C.I. Rojo Acido 111), siendo similares en el otro colorante ensayado.

Fig. 4.- Cinéticas sobre fibra sin teñir y preteñida para diferentes concentraciones del colorante C.I. Rojo Acido 111 en el baño de tintura.

En esta Fig. 4. se puede observar que las cinéticas a las distintas concentraciones en baño, sobre la fibra preteñida a concentraciones crecientes, se entrecruzan en algunos casos.

CALCULO DE PARAMETROS Y DISCUSION

Los parámetros a deducir por cálculo son las constantes de velocidad y los agotamientos, a fin de establecer su ley de variación en función de la pretintura y la concentración de colorante en el baño.

Tal como se ha indicado en el modelo teórico, se ha utilizado la ecuación de Cegarra-Puente modificada [2]. Dicha ecuación ha sido seleccionada, entre las varias que se han propuesto por diferentes autores, por el hecho de que se ajusta prácticamente a la totalidad del proceso cinético, ya que para el desarrollo numérico posterior es preciso partir de una expresión matemática que describa, con el máximo ajuste posible, el recorrido experimental de cada cinética, a fin de reducir al mínimo posible los errores de cálculo por desvios entre la descripción matemática y el fenómeno real, aún a costa de la necesidad de operar con dos parámetros "a" y K que hacen algo más compleja esta ecuación en comparación con otras que sólo dependen de un parámetro cinético, K, constante de velocidad. Para el cálculo se ha utilizado un ordenador HP Modelo 9830 A.

Se observa que en ambos colorantes, dentro de los márgenes experimentales estudiados, la constante de velocidad y el Agotamiento son prácticamente independientes de la concentración de colorante inicial en baño para cada una de las concentraciones de pretintura; las pequeñas diferencias encontradas no marcan ninguna tendencia estadísticamente significativa y se hallan dentro del margen de error experimental.

Si se analiza la evolución de "K", "a" y "Ag" en función de la concentración de colorante en la pretintura y se buscan las leyes de ajuste, se obtienen los resultados de la Tabla I y la representación gráfica de la Fig. 5.

TABLA I

PARAMETROS CINETICOS Y AGOTAMIENTO

$$K = K_0 + K_1 x$$

$$A = A_0 + A_1 x + A_2 x^2$$

$$a = a_0 + a_1 x$$

	K_0	K_1	A_0	A_1	A_2	a_0	a_1
ROJO	0'03769	$-7'947.10^{-5}$	0'8763	$-1'064.10^{-4}$	$-2'28.10^{-6}$	1	--
AZUL	0'03341	$-5'076.10^{-5}$	0'8848	$-4'24.10^{-4}$	--	1'2204	$6'58.10^{-4}$

Fig. 5.- Evolución de los parámetros "Ag", a "K" en función de la cantidad de colorante sobre fibra en la pretintura.

De acuerdo con estos resultados se puede indicar que: los agotamientos para ambos colorantes presentan una tendencia decreciente al aumentar la concentración de colorante de la pretintura, tendencia totalmente conforme con el comportamiento usual de los colores, de que a mayor intensidad de color menor rendimiento. El parámetro "a", sin embargo, es distinto para cada colorante, mientras en el Rojo es prácticamente independiente de la concentración de pretintura, e igual a la unidad, en el Azul es creciente y de valor superior a la unidad. Por último, la constante de velocidad es decreciente y da valores análogos en ambos colorantes, lo cual no implica una cinética parecida en los mismos al ser el valor de "a" (parámetro cinético) distinto para cada colorante.

De acuerdo con lo indicado en el modelo teórico y disponiendo de los parámetros anteriores, estamos en condiciones de determinar la ley que rige la adición de

colorante con un valor de $\triangle t$ elegido, para conseguir una absorción proporcional al tiempo, de pendiente prefijada M. Para ello, aplicando reiterativamente la ec. [9], para el colorante C.I. Rojo Acido 111. se obtienen los valores de la tabla II. En ella, la columna titulada "t INICIAL" se refiere al tiempo, en minutos, transcurrido desde el inicio de la tintura y que corresponde al instante en que se debe proceder a efectuar la adición. La columna "C_b INICIAL" contiene los valores de C_b necesarios, en cada tiempo, para obtener una absorción lineal. Los valores de las añadidas necesarias para conseguir los citados C_b figuran en la columna "ADICION".

Las dos últimas columnas "C_f FINAL" y "C_b RESIDUAL" reflejan respectivamente, los valores de colorante en fibra y residual en baño al finalizar la etapa de tintura indicada en "t INICIAL" y cuya duración es $\triangle t$. Todas las concentraciones de colorante están expresadas en mg/L.

TABLA II

Ejemplo de cálculo de adición para obtener una absorción lineal con pendiente, M, igual a 4 efectuando las adiciones cada 12 min., para un tiempo total de tintura de 60 min.

t INICIAL	C_b INICIAL	ADICION	C_f FINAL	C_b RESIDUAL
0	55'08	55'08	20	35'08
5	56'36	21'29	40	36'36
10	57'89	21'49	60	37'86
15	59'58	21'72	80	39'58
20	61'56	21'98	100	41'56
25	63'84	22'27	120	43'84
30	66'45	22'61	140	46'45
35	69'44	23'00	160	49'44
40	72'89	23'45	180	52'89
45	76'87	23'98	200	56'87
50	81'50	24'62	220	61'50
55	86'90	25'40	240	66'90

Las Figs. 6 y 7 muestran la evolución de la concentración de colorante en función del tiempo de tintura y $\triangle t = 5$ y 1 min.

Fig. 6.- Evolución de la concentración del C.I. Azul Acido 80 en función del tiempo de tintura y $\triangle t = 5$ y 1 min.

Fig. 7.- Evolución de la concentración del C.I. Rojo Acido 111 en función del tiempo de tintura y $\triangle t = 5$ y 1 min.

En estas gráficas se incluyen los valores siguientes:

1) Colorante inicial en baño: valor que indica la cantidad de colorante que existe en el baño inmediatamente después de la adición.
2) Colorante residual en baño: cantidad de colorante que queda después de transcurrido el intervalo de tiempo entre la adición anterior y la que se efectúe después.
3) Adición: cantidad de colorante que debe añadirse en cada uno de los tiempos establecidos, y que es la diferencia entre los dos valores anteriores.
4) Colorante en fibra: es el valor acumulado de colorante absorbido por la fibra, cuya absorción es constante en cada intervalo de tiempo entre adiciones.
5) Colorante total adicionado: Es el valor acumulado de la adición y cuya diferencia en cada instante con el colorante en fibra nos indica el agotamiento que se produce.

Por los límites del dibujo, alguno de estos valores caen fuera de los márgenes del mismo.

Al final de los 60 minutos, si se prolonga la tintura, ya sin sdición de colorante, en lo que se conoce como etapa de fijación, puede producirse todavía una ligera absorción.

Del exámen de los valores de la Tabla II y de las Figs. 6 y 7, se pueden deducir algunos aspectos importantes para obtener una absorción de colorante proporcional al tiempo en una tintura por integración que resumirémos de la forma siguiente:

a.- La primera adición de colorante, t = O, es una adición mucho más elevada que las siguientes, bajando en la segunda a valores comprendidos entre 1/3 - 1/8 de la adición inicial.

b.- La cantidad de colorante añadido en cada adición aumenta a medida que transcurre la tintura. Este aumento parece lógico ya que conforme avanza la tintura la fibra necesita mayor cantidad de colorante en el baño para mantener la misma velocidad de absorción. Ello también puede apreciarse en las gráficas correspondientes al colorante inicial y residual en el baño.

c.- La cantidad de colorante adicionado en la primera y posteriores adiciones depende del intervaló de adición escogido, $\triangle$ t, siendo menor a medida que se reduce dicho intervalo. En los casos estudiados y para $\triangle$ t = 1 min. las adiciones posteriores a la primera pueden considerarse como casi constantes en todo el intervalo de la tintura.

d.- El valor de $\triangle$ t influye en el agotamiento final, de tal forma que al irse reduciendo aumenta éste, tal como puede apreciarse en la Tabla III.

T A B L A III

TINTURA CON COLORANTE C.I. ROJO ACIDO 111; 2'4 % spf (240 mg/l)

Tiempo entre añadidas t (min)	Cantidad total colorante introducido mg/l	Agotamiento %
5	306'90	78'2
2	288'48	83'2
1	276'34	86'8
0'1	252'47	95'1
0'05	248'90	96'4

COMPROBACION EXPERIMENTAL

De acuerdo con este sistema de cálculo de las adiciones, se ha realizado la comprobación experimental bajo la condición de adición lo más próxima posible a la contínua. Para ello, al montaje para mediciones cinéticas indicado en la Fig. 3, se acopló una bomba de émbolo de precisión Beckmann Accu-Flow, que produce adiciones discretas pero a un ritmo de una embolada cada 2 seg. y un caudal de 15 ml/hora, con lo cual se asemeja lo más posible a las condiciones de adición contínua. Los resultados obtenidos se muestran en las Figs. 8 y 9 correspondientes a los dos colorantes estudiados, bajo las condiciones que se indican en dichas Figs.

Fig. 8.- Absorción del C.I. Rojo Acido 111 al 2'4 s.p.f.

Fig. 9.- Absorción de C.I. Azul Acido 80 al 2'4 s.p.f.

Como puede apreciarse en ambas Figs., las adiciones programadas según el modelo teórico producen una absorción del colorante por la fibra que es proporcional al tiempo de tintura tal como se deseaba. No obstante, hay que señalar que la absorción experimental obtenida en ambos casos, es inferior a la prevista, lo cual hace pensar que si bien el modelo teórico propuesto es correcto, puesto que se cumple la linealidad de la absorción del colorante por la fibra, los valores de la constante "K" son inferiores a los existentes en el proceso de tintura, a consecuencia de haber sido deducidos con pretinturas que habían sido teñidas para conseguir una distribución uniforme del colorante en el interior de la fibra, lo cual no ocurre en el proceso real de tintura por integración, en el cual las adiciones sucesivas se van efectuando en una solución en la que la fibra tiene el colorante distribuido anularmente. Este aspecto será comprobado en un próximo estudio.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo son las siguientes:

— Se ha obtenido un modelo matemático que permite calcular las adiciones de colorante para efectuar una tintura por integración, en régimen isotérmico, en la cual el colorante sea absorvido por la fibra de forma proporcional al tiempo de tintura.

— En el sistema ensayado, las constantes de velocidad y los agotamientos de las cinéticas parciales obtenidas en cada adición son independientes de la concentración de colorante en fibra preteñida de tal forma que a medida que éste aumenta, la constante de velocidad y el agotamiento son inferiores.

— Para conseguir una absorción de colorante proporcional al tiempo en régimen isotérmico, se requiere que la primera adición sea muy superior a las adiciones sucesivas, las cuales van aumentando ligeramente la cantidad de colorante a añadir a medida que transcurre la tintura.

— El intervalo de tiempo escogido para efectuar las adiciones influye sobre la cantidad de colorante a dosificar en cada adición y sobre el agotamiento de la tintura. A medida que se hace más pequeño el intervalo de adición, la cantidad de colorantes a dosificar en cada adición se hace constante y el agotamiento aumenta.

— Los resultados experimentales obtenidos por la aplicación del modelo teórico al cálculo de las adiciones, muestran una excelente relación lineal entre el tiempo de tintura y la absorción del colorante por la fibra, si bien la pendiente de la recta es inferior a la teóricamente esperada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este estudio manifiestan su agradecimiento a la Wool Foundation y a la Comisión Asesora del Ministerio de Educación y Ciencia por la ayuda recibida para poder efectuar este estudio.

BIBLIOGRAFIA

(1) Drijvers, S.V.F. 1955, cuaderno 5, pag. 242.
(2) Patente R.F.A. 29.14.11 y Patente Europea 80.101.555.3
(3) Cegarra, J., Puente,P., Valldeperas,J. J.S.D.C. Sept. 1976, pag. 327
(4) Brooks, J.K. J.S.D.C. Dec. 1975, pag. 394
(5) Cegarra,J., Puente,P. An. Scient. Text. Belges Nº 1 Jun 1976

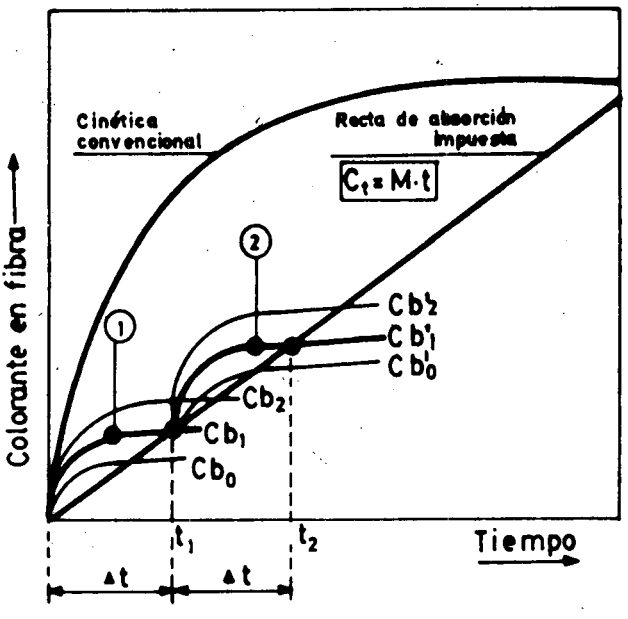

Fig.1.- Representación de una cinética en régimen isotérmico para una tintura convencional y una tintura por integración, en la cual se desea una absorción proporcional al tiempo de tintura.

C_b: Colorante en baño.

C_t: Colorante en fibra.

M: Velocidad de absorción impuesta.

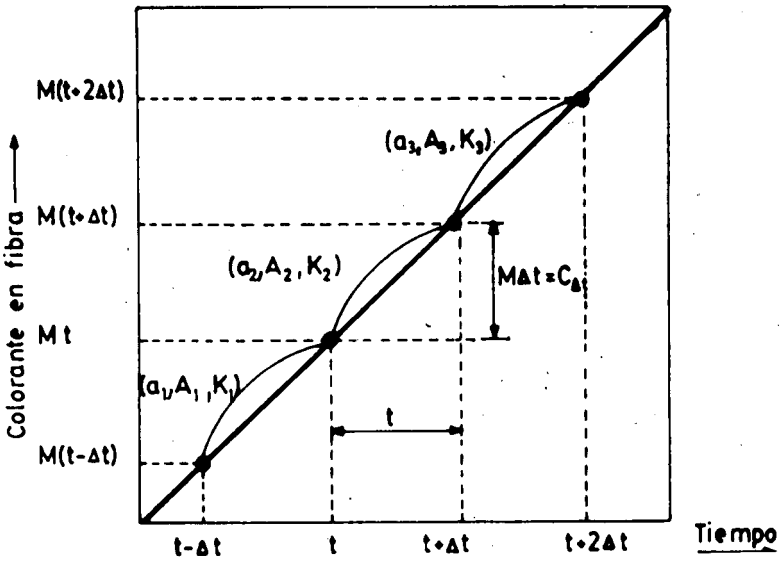

Fig. 2.- Representación gráfica de la variación del contenido de colorante sobre la fibra, en función del tiempo en un sistema de tintura por integración con absorción de colorante proporcional al tiempo.

M Velocidad de absorción impuesta.

a,K; Parámetros cinéticos.

A Agotamiento.

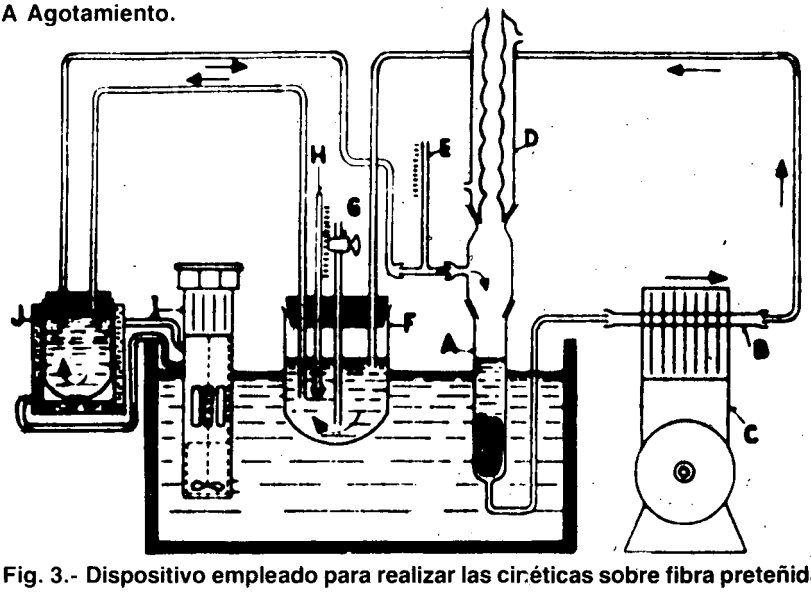

Fig. 3.- Dispositivo empleado para realizar las cinéticas sobre fibra preteñida.

A : Tubo de tintura con la materia a teñir
B : Tubo de goma de la bomba
C : Bomba peristáltica (Multifix)
D : Refrigerante de bolas
E : Medidor de caudal
F : Vaso de expansión
G : Llave para regular el nivel en F
H : Termómetro de 0 a 100°C.
I : Termostato de inmersión-circulación
J : Cubeta del espectrofometro con portacubetas termostalizado

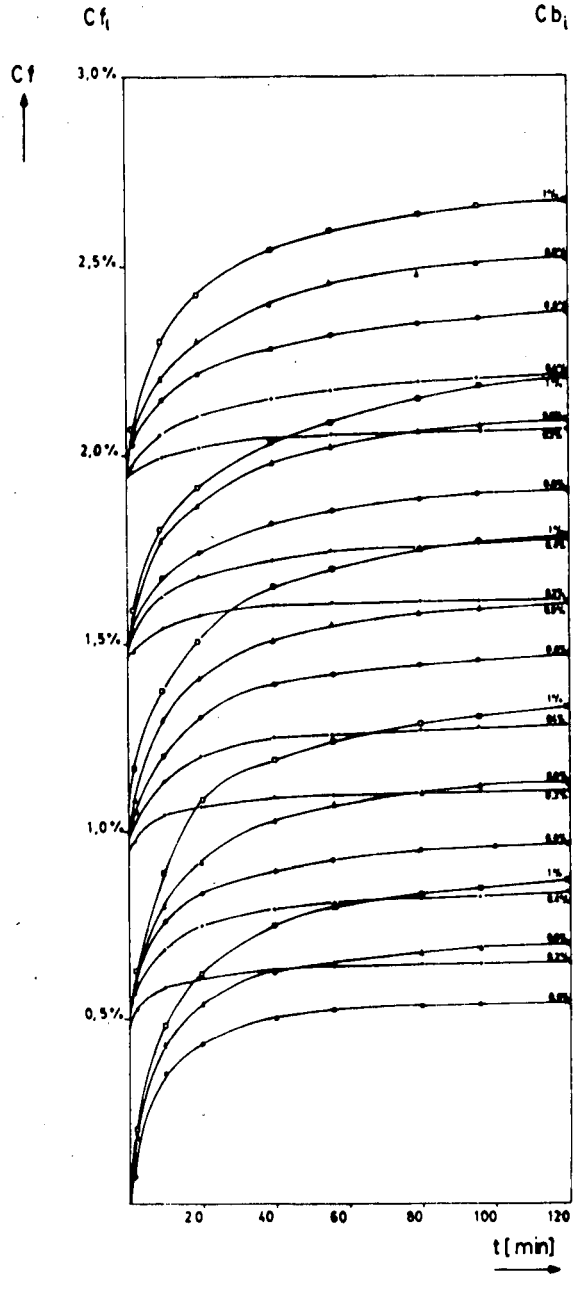

Fig. 4.- Cinéticas sobre fibra sin teñir y preteñida para diferentes concentraciones del colorante C.I. Rojo Acido 111 en el baño de tintura.

C_{fi} Colorante en fibra al inicio de la tintura.

C_{bi} Colorante en baño al inicio de la tintura.

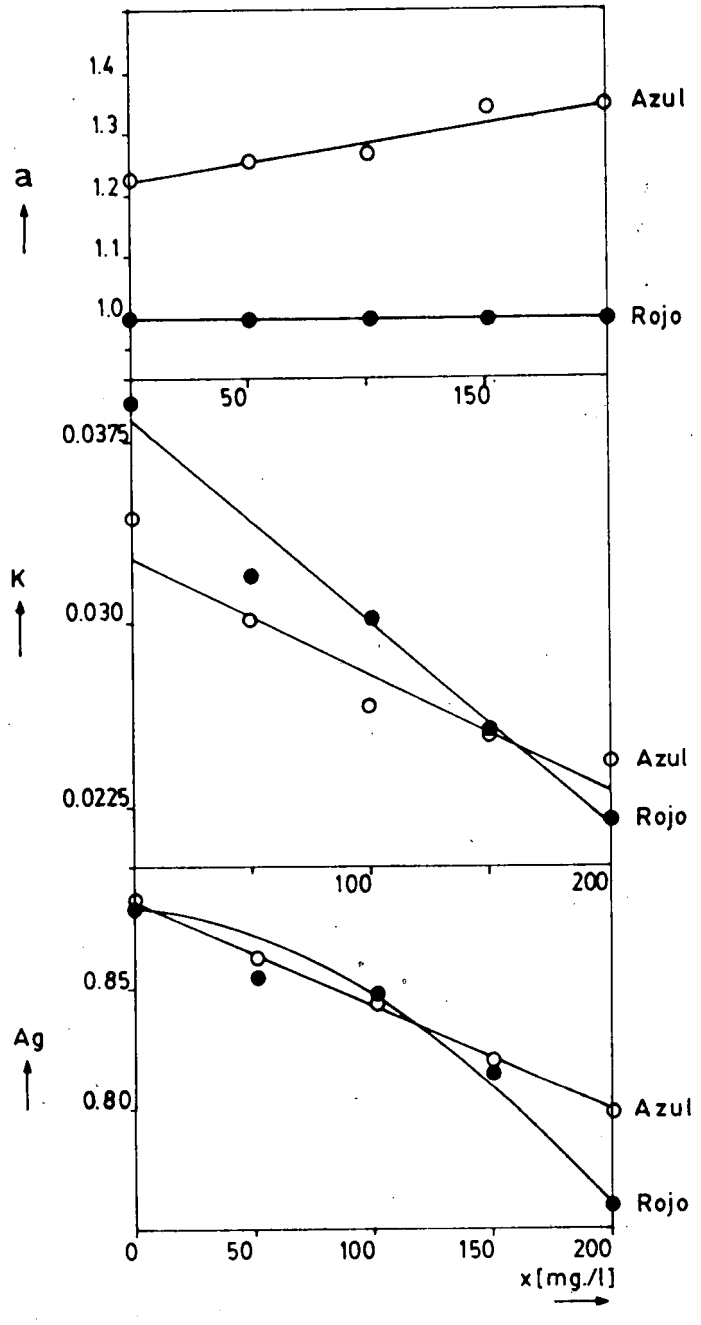

Fig. 5.- Evolución de los parámetros "Ag", "a" y "K" en función de la cantidad de colorante sobre fibra en la pretintura.

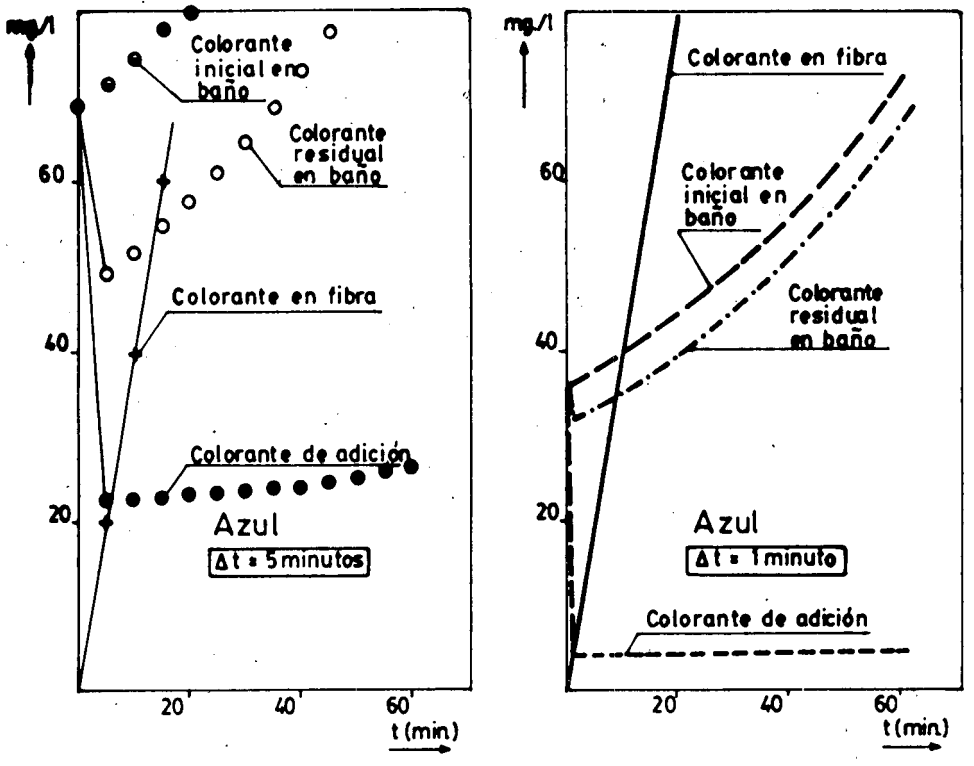

Fig. 6.- Evolución de la concentración del C.I. Azul Acido 80 en función del tiempo de tintura y $\triangle t$ = 5 y 1 min.

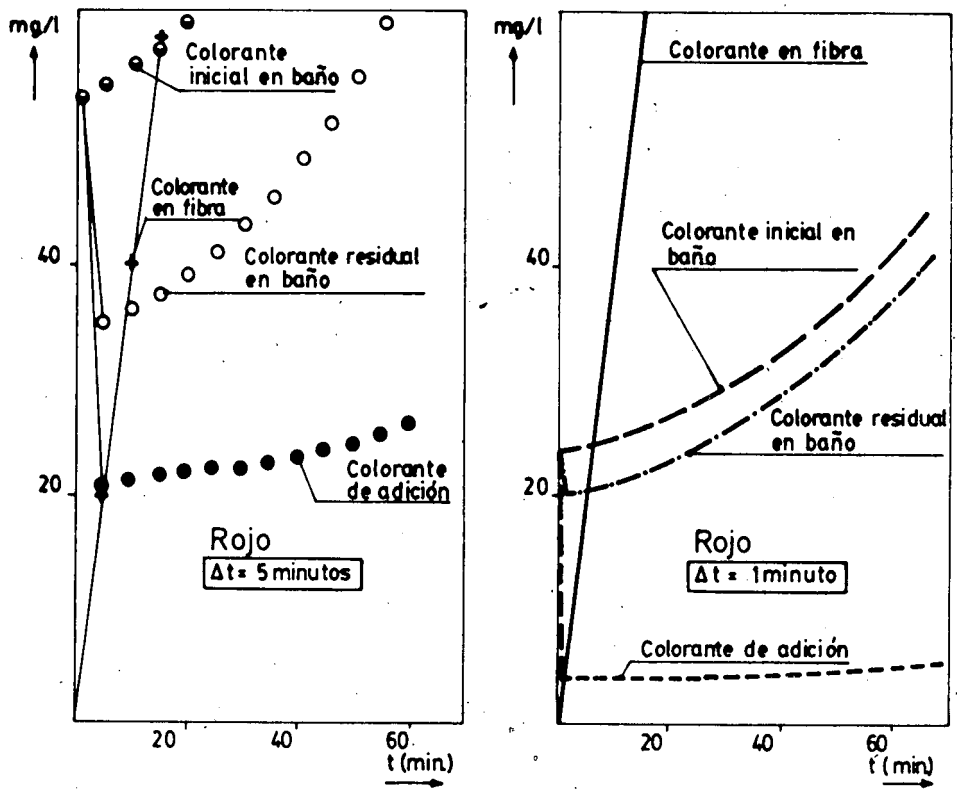

Fig. 7.- Evolución de la concentración del C.I. Rojo Acido 111 en función del tiempo de tintura y $\triangle t$ = 5 y 11 min.

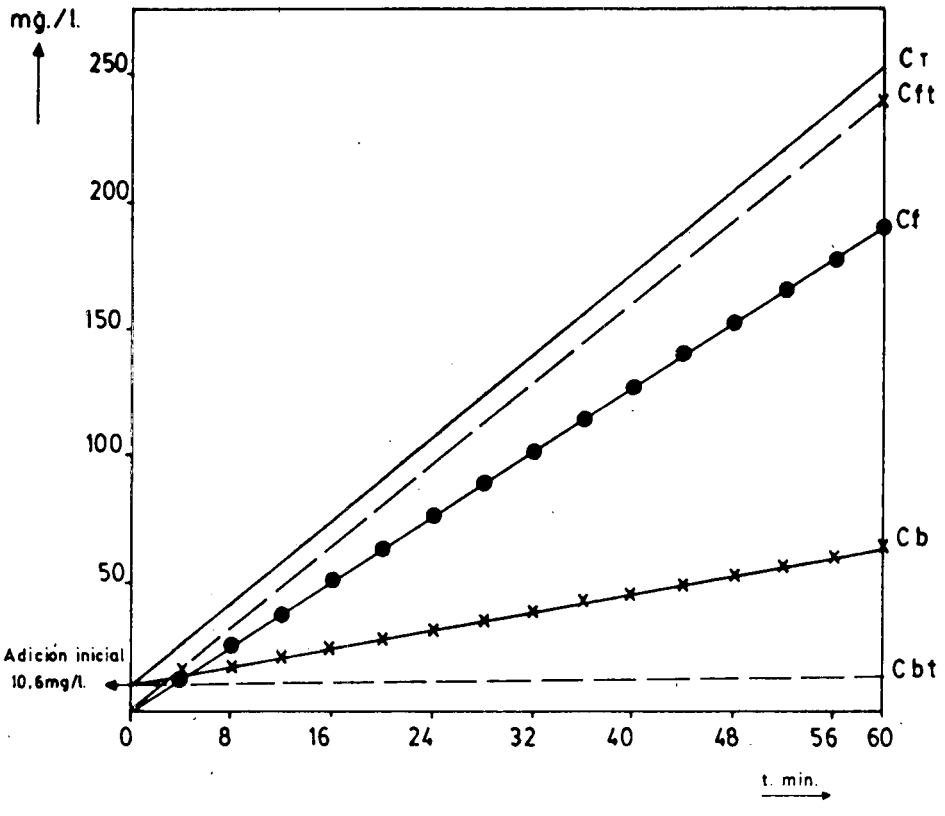

Fig. 8.- Tintura por adición continua (cada 2 seg) con el colorante C.I. Rojo Acido 111

(. . . . .) Valores experimentales
(----------) Valores teóricos calculados

C_t: Adición total al baño 253'6 mg/1
C_{ft}: Absorción teórica fibra 240 mg/1 (94'6 % Ag)
C_f: Absorción real fibra 189'3 mg/1 (74'6 % Ag)
C_b: Col. Residual en baño 64'3 mg/1
C_{bt}: Residuo teórico en baño 13'6 mg/1

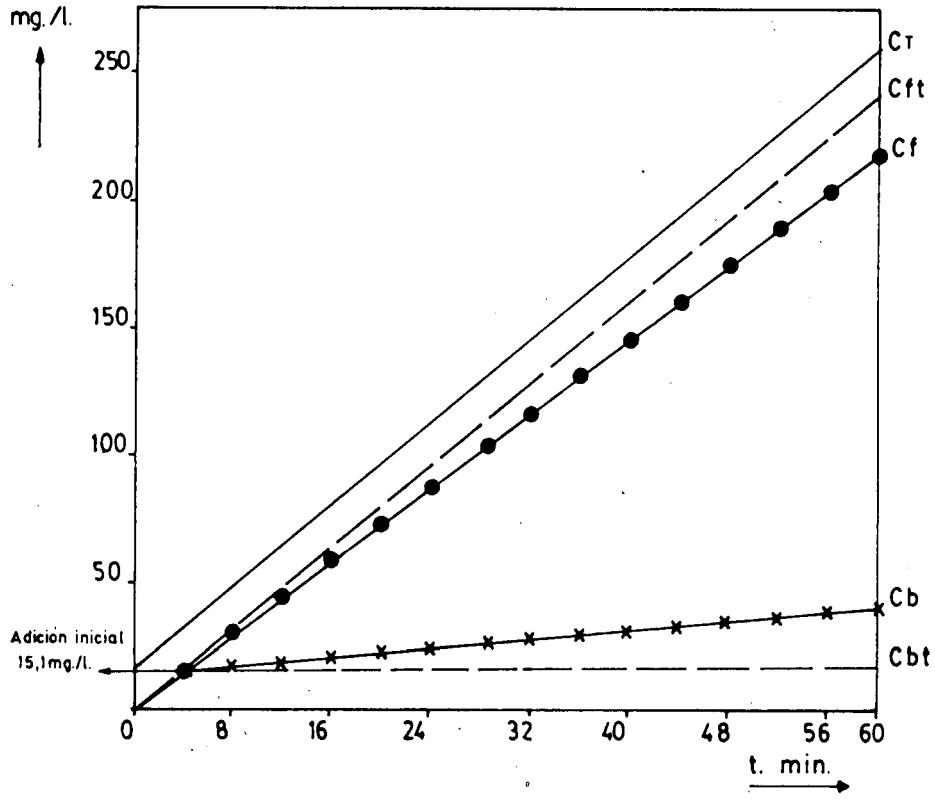

Fig. 9.- Tintura por adición continua (cada 2 seg.) con el colorante C.I. Azul Acido 80

(_.____) Valores experimentales
(-------) Valores teóricos calculados

C_t: Adición total al baño 258'2 mg/1
C_{ft}Absorción teórica fibra 240 mg/1 (93 % Ag)
C_f: Absorción real fibra 217'2 mg/1 (84'1 % Ag)
C_b: Col. Residual en baño 41 mg/1
C_{bt}: Residuo teórico en baño 18'2 mg/1