

Determinación del coeficiente de difusión de colorantes directos y su relación con la concentración del electrolito

por el Dr. Ing. **José Ribé Pons**

1. Introducción

La relación del coeficiente de difusión (D) con las propiedades tintóreas de un colorante ha sido estudiada por varios autores, mereciendo especial interés los trabajos de Crank (1), Neale y Strigfellow (2), Boulton y Norton (3) y de Carvic, Griffith y Neale (4); sin embargo, no ha sido realizado en forma exhaustiva, ni en la técnica de su determinación, ni en sus relaciones con la tintura (5); además, en los trabajos de Lermín, Vickers y Vickerstaff (6) y de J. Cegarra (7) sobre la influencia de la concentración y naturaleza de los electrolitos en las propiedades migratorias de los colorantes directos, se observa la existencia de una concentración de electrolito para la cual la migración es máxima, así como una tendencia a la estabilización de esta migración a partir de cierta concentración de electrolito. Parece lógico suponer que debe existir un comportamiento semejante para el coeficiente de difusión, confirmando en parte esta hipótesis los estudios de Neale y Strigfellow sobre el Azul Cielo Clorazol (2), y sobre el Rojo Durazol 2B y Benzopurpurina 4B por otros autores; sin embargo, en estos estudios puede observarse que al aumentar la concentración de sal, el valor de D pasa por un máximo, pero no se observa una posible estabilización del coeficiente de difusión para concentraciones elevadas de electrolito.

Este trabajo consta de dos partes. La primera de ellas consiste en establecer una técnica adecuada para las determinaciones de los coeficientes de difusión, y la segunda parte es el estudio de la influencia del electrolito en el valor del coeficiente de difusión y su relación con las propiedades tintóreas.

Los colorantes ensayados han sido los siguientes: Crisonfenina G y Rojo Durazol 2B, del tipo A; Azul Cielo Clorazol FF, del tipo B y el Amarillo Durazol GR del tipo C; midiéndose los valores de D sobre lámina plana de viscosa en solución de NaCl a las concentraciones de 0, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20 y 30 gr NaCl/litro; en el Rojo Durazol 2B se utilizó, además, la concentración de 1 gr/l.

2. Fundamentos de la determinación del coeficiente de difusión

Según Vickerstaff (5) el proceso de tintura de un colorante directo sobre una fibra se desarrolla en tres etapas:

* Extracto de la Tesis Doctoral del autor.

- 1.º Difusión del colorante desde el baño hacia la superficie de la fibra.
- 2.º Absorción del colorante por las superficies miscelares de la superficie exterior de la fibra.
- 3.º Difusión del colorante en la fibra, desde la superficie hacia el centro de la misma.

En el caso de un colorante directo en solución acuosa y en lámina de viscosa la relación entre el coeficiente de difusión del baño y la materia es aproximadamente de 10.000:1, y teniendo en cuenta que la absorción es prácticamente instantánea, resulta que la última fase regirá la velocidad de tintura por ser la más lenta.

La velocidad de difusión viene dada por la expresión:

$$\frac{ds}{dt} = -D.a. \frac{dc}{dx} \quad (\text{I})$$

conocida como primera ecuación de Fick, en la que ds/dt es la masa de colorante difundida en la unidad de tiempo, a es el área, dc/dx es el gradiente de la concentración en la fibra y D es el *coeficiente de difusión*, que en el sistema C.G.S. viene dado en cm^2/s . De la ecuación (I) se deduce la segunda ley de Fick, que se expresa, en su forma más general, por:

$$\frac{dc}{dt} = D \nabla^2 c \quad (\text{II})$$

El valor de D en las anteriores expresiones se considera independiente de la concentración, sin embargo, para los colorantes directos presenta una cierta dependencia con la concentración que puede considerarse de la forma $D = D_0 \cdot c^{1/2}$, siendo D_0 una constante y c la concentración (5).

La solución de la ecuación (II) para la difusión unidireccional (caso de una lámina), viene dada por:

$$C = \frac{M}{2 (\pi D \cdot t)^{1/2}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 Dt}\right) \quad (\text{III})$$

en que M = masa de colorante total difundido en una sección unidad, durante el tiempo t y x el espesor considerado de substracto.

La aplicación de la ecuación (III) en la difusión en lámina plana, ha sido realizada por varios autores, principalmente por Cranck (1 y 9); Wilson (8) y Kilby (10). Las ecuaciones finales pueden dividirse en dos grupos: A) Baño limitado, es decir, que la concentración del baño varía conforme se difunde el colorante en la lámina de viscosa. B) Baño infinito, lo cual significa que se utiliza una relación de baño suficientemente grande para que la cantidad de colorante absorbido por la lámina no afecte, sensiblemente, a la concentración de la solución.

Con las premisas expuestas, y mediante consideraciones matemáticas, se han podido establecer las ecuaciones que rigen un proceso de difusión en lámina plana. Dichas ecuaciones se indican en la Tabla I.

Tabla I

BAÑO LIMITADO

Ecuación general

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\alpha(1+\alpha)}{1+\alpha+\alpha^2 q_n^2} e^{-q_n^2 T} \quad (IV)$$

siendo q_n las raíces de la ecuación $\text{tg } q_n = \alpha \cdot q_n$

Para valores de T pequeños

$$\frac{M_t}{M_\infty} = (1+\alpha) [1 - \exp(T/\alpha^2) \cdot \text{erfc}(T/\alpha^2)^{1/2}] \quad (V)$$

BAÑO INFINITO

Ecuación general

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - 8 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp(-T(n+1/2)^2 \pi^2)}{(2n+1)^2 \pi^2} \quad (VI)$$

Para valores de T grandes

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp(-\pi^2 \cdot T/4) \quad (VII)$$

Para valores de T pequeños

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 2\sqrt{T} \left[\pi^{-1/2} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \text{erfc} \frac{n}{\sqrt{T}} \right]$$

Para valores muy pequeños de T

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{2\sqrt{T}}{\sqrt{\pi}} \quad (IX)$$

Siendo:

$$T = \frac{D \cdot t}{l^2} \quad (\text{magnitud adimensional}) \quad (X)$$

l = espesor de la lámina de viscosa.

M_t = masa de colorante fijado por la fibra durante el tiempo t .

M_∞ = masa de colorante fijado por la fibra en el equilibrio.

α = parámetro que indica el grado de agotamiento del baño y viene dado por la expresión

$$\frac{\text{Masa de colorante que queda en el baño en el equilibrio}}{\text{Masa de colorante fijado por la fibra en el equilibrio}}$$

$$\operatorname{erfc} x = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-x^2} dx \text{ es el error de la función complementaria, cuyos valores están tabulados. Para } x > 2,5 \text{ el valor de } \operatorname{erfc} x \approx 0, \text{ con un error menor de } 0,001.$$

En la realización de este trabajo se utilizaron láminas de viscosa de $3,3 \cdot 10^{-3}$ centímetros de espesor y baño infinito, con lo cual las fórmulas anteriores se transforman en

A) Para baño infinito y tiempos pequeños

$$D \cdot t = 8,553 (M_t/M_\infty)^2 \cdot 10^{-5} \quad \text{cm}^2/\text{s.} \quad \text{XI}$$

B) Para tiempos grandes

$$D \cdot t = - [1,0166 \log (1 - M_t/M_\infty) + 0,09276] \cdot 10^{-5} \quad \text{cm}^2/\text{s.} \quad \text{XII}$$

La ecuación XI puede aplicarse para valores de $M_t/M_\infty \leq 0,35$, y la ecuación XII para los valores superiores.

La determinación del coeficiente de difusión se realizará hallando experimentalmente los valores de M_t/M_∞ a diferentes tiempos, y con estos datos se encuentran, mediante las ecuaciones anteriores, los valores de $D \cdot t$ para cada tiempo t , de los cuales se calculan los valores de D suficiente para poder aplicar el cálculo estadístico.

3. METODO EXPERIMENTAL

3.1. Purificación y análisis de los colorantes

Los colorantes empleados en este trabajo, fueron elegidos entre la extensa gama de colorantes directos para algodón tipo comercial, los cuales contienen sales inorgánicas que fue preciso eliminar. Se purificaron mediante las técnicas de Robinson y Mills (11) y para el Azul Cielo Clorazol FF según las indicaciones de Neale y Strigfellow (12) y de Mann (13). Posteriormente se realizaron un completo análisis de contenido en cloruros, sulfatos y otras sales.

3.2. Determinación experimental de la relación másica M_t/M_∞

Para calcular el valor del coeficiente de difusión mediante las fórmulas expuestas anteriormente, se precisa la determinación experimental de la relación entre la masa del colorante absorbida en un tiempo t y la que absorbe en el equilibrio, esta relación se puede hallar mediante un laborioso proceso de extracción y valoración. En este trabajo se han aplicado métodos espectrofotométricos, mucho más simples y precisos.

El sistema seguido ha sido el siguiente: se ha montado una lámina de viscosa, convenientemente preparada, en una cubeta de cristal donde se puede hacer circular el baño de colorante a una temperatura regulada, dicha cubeta estaba instalada en el portamuestras de un espectrofotómetro, pudiéndose determinar en cada mo-

mento la densidad óptica de la lámina, cuya coloración iba en aumento a medida que se difundía el colorante. Si se cumple la Ley de Beer las densidades ópticas encontradas deberán ser proporcionales a las concentraciones del colorante en la lámina o sea a la masa de colorante absorbido.

El cumplimiento de esta ley se comprobó mediante experiencias previas para cada colorante; en la Fig. 1 puede observarse la relación lineal que existe entre la masa de color fijada por la lámina (determinado mediante extracción con piridina y valoración) y su densidad óptica, el valor inicial de 0,08 es debido a la ligera coloración que presenta la lámina en blanco y la disolución de colorante que la rodea.

RELACION ENTRE D_c Y M_t PARA AZUL CIELO CLORAZOL FF 300 CON LAMINA DE VISCOSA

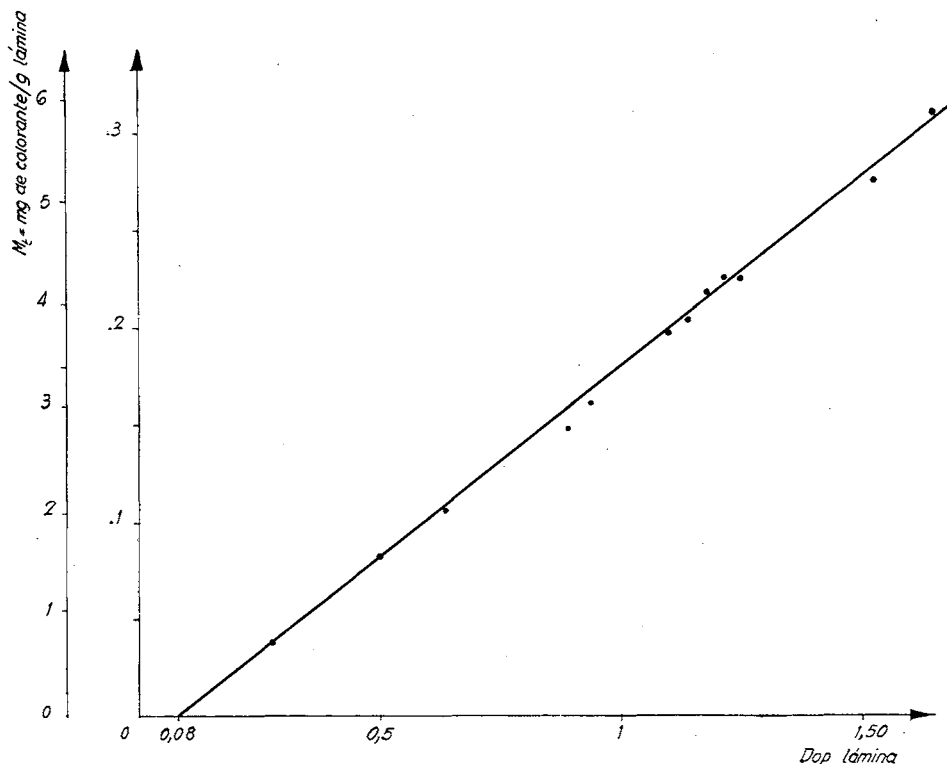


Fig. 1

Así pues, podemos sustituir la relación M_t/M_∞ en las ecuaciones IV a IX y en la ecuación XII, por la relación d_t/d_∞ , en que d_t es la densidad óptica únicamente del colorante fijado por la lámina en el tiempo t y d_∞ la del colorante fijado en el equilibrio. Sin embargo, el valor determinado es $d_t' = d_t + d_0$, siendo d_0 la densidad óptica del sistema cuando la cantidad de colorante difundida es nula. El valor de d_0 se encuentra experimentalmente usando la ecuación IX, en efecto:

$$\frac{M_t}{M_\infty} = \frac{d_t}{d_\infty} = \frac{2}{\sqrt{\pi \cdot l}} \sqrt{D \cdot t}$$

de donde

$$d_t = d_t' - d_0 = \frac{2 \cdot d_\infty \sqrt{D}}{\sqrt{\pi \cdot t}} \sqrt{t} = K \sqrt{t}$$

$$d_t' = K \sqrt{t} + d_0$$

por lo tanto, d_0 se puede obtener extrapolando los valores de d_t' , en el tiempo cero. Debe tenerse en cuenta que esta ecuación es sólo válida para tiempos muy pequeños, prácticamente se puede utilizar en los tres primeros minutos del proceso de difusión. En la Fig. 2 (curva 1), puede observarse el cumplimiento de la relación anterior para el Rojo Durazol 2B 150.

Una vez determinado el valor de d_0 puede calcularse las densidades ópticas únicamente del colorante absorbido, d_t , a partir de la determinación de d_t' .

El proceso completo consiste en hacer circular una solución del colorante con el electrólito, a una temperatura dada y regulada en $\pm 0,1^\circ\text{C}$, a través de una célula que contiene una lámina de viscosa de espesor conocido, y medir las densidades ópticas hasta conseguir un valor constante. Con estos datos, previa deducción de d_0 en la forma antes expuesta, se traza la curva de cinética de difusión (véase Fig. 2). Se eligieron de cada curva 12 valores, hallando para cada uno de ellos la relación $d_t/d_\infty = Mt/M_\infty$ y con las fórmulas expuestas al principio se calculan los coeficientes de difusión D . Con estos 12 valores se aplica el cálculo estadístico hallando la media \bar{D} , la desviación típica, el error y el coeficiente de variación.

3.3. Aparato utilizado

La Fig. 3 muestra el esquema de la instalación experimental utilizada para la determinación de la curva de cinética de la difusión en lámina plana, mediante el sistema fotocolorimétrico.

Consta de un balón «1» de 6 litros de capacidad, conteniendo la disolución de colorante con la concentración de electrólito conveniente, equipado con un refrigerante de reflujo «3». Dicho balón está sumergido en un baño termostático «2», el cual se mantiene a la temperatura prefijada regulada en $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Mediante el tubo «4» es aspirada la solución por la bomba «6», impulsándola por el circuito «9» que contiene un vaso «7» en el cual se realiza el control de la temperatura, mediante el termómetro Beckman «15», y la eliminación de burbujas, a continuación se encuentra el medidor de caudales «11» y, finalmente, la llave de doble paso «14» que, según su posición, puede hacer circular el baño a través de la célula de difusión «12» o directamente al balón «1». El circuito «9» contiene un conducto en derivación, que permite la regulación conveniente del caudal que circula por la célula mediante la llave «10».

Los detalles de la célula de difusión pueden verse en la Fig. 4, los espacios rayados a y b representan las zonas donde incide la radiación del espectrofotómetro, en b sólo existe la disolución y permite el control de su agotamiento.

Para obtener la curva de cinética de la difusión, se llena el balón con 4 litros de agua a la concentración de electrólito necesaria, y se mantiene en circulación. Una vez conseguidas las condiciones de ensayo, se invierte la posición de la llave «13» de forma que la célula quede aislada, seguidamente se introduce el colorante en forma de solución concentrada, por el embudo con llave «14», y

**ROJO DURAZOL 2 B 150
PRUEBA 1**

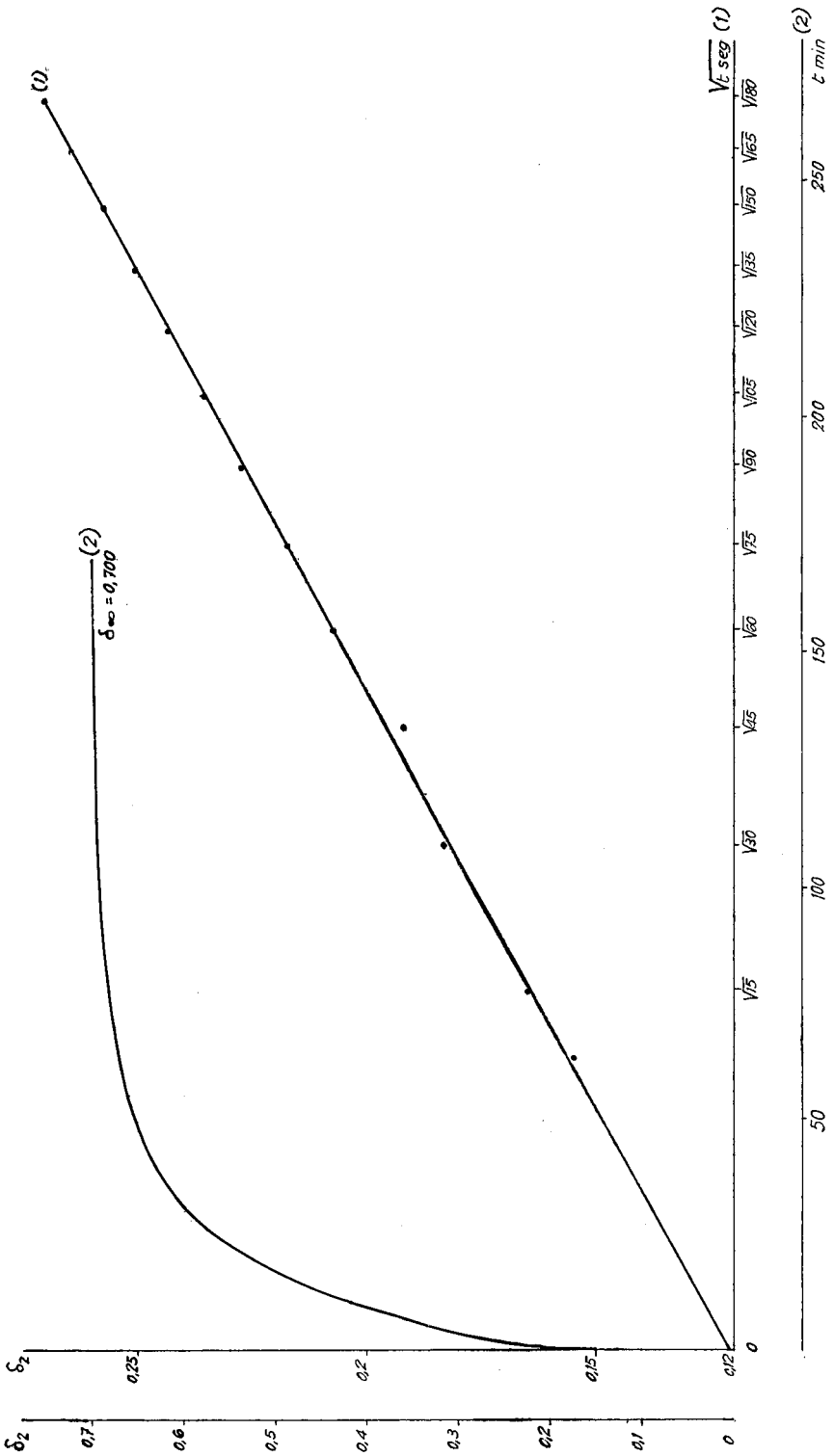


Fig. 2

Esquema general

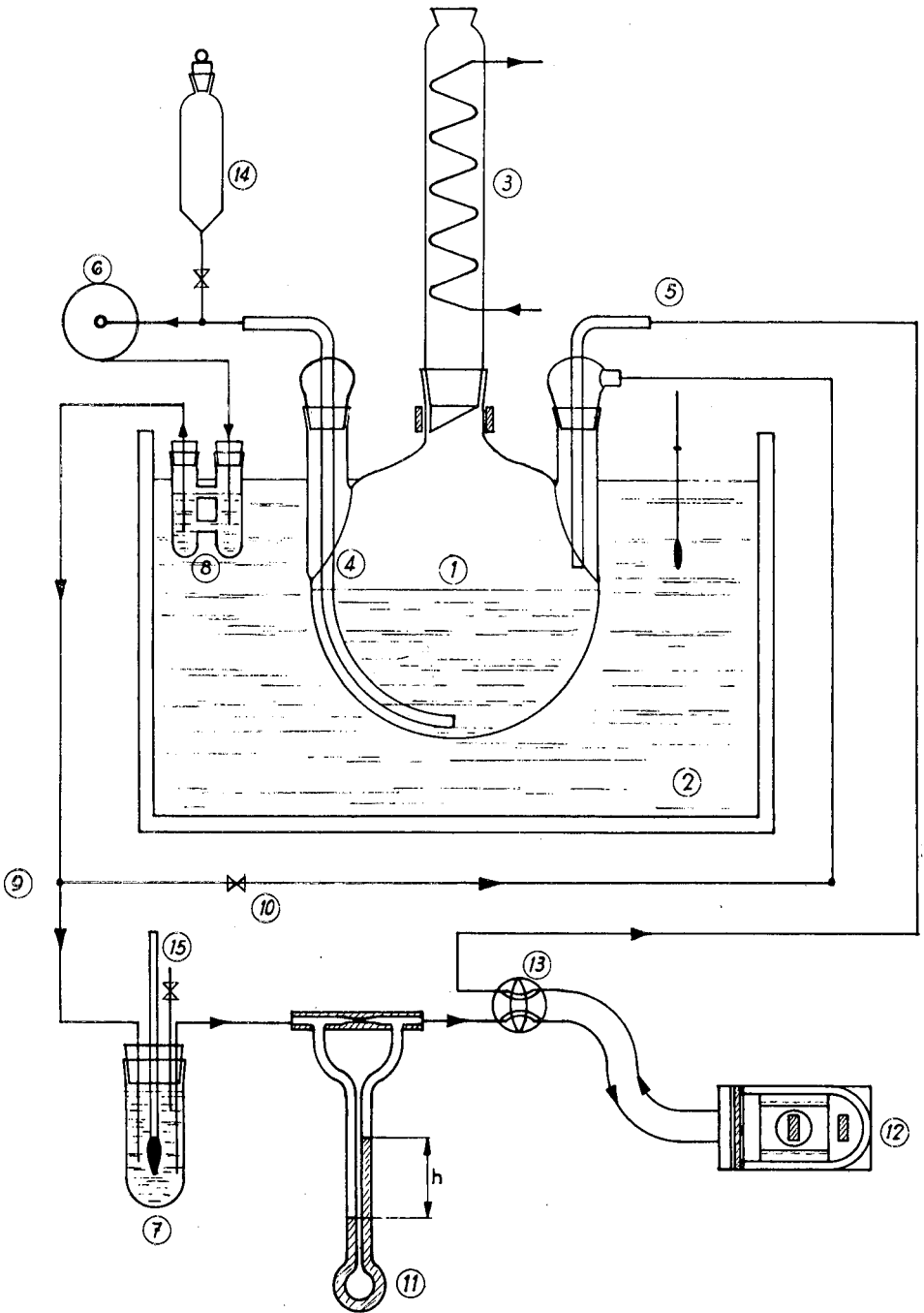


Fig. 3

cuando se restablezca la temperatura fijada se gira la llave de paso para que la solución circule por la célula de medida contándose desde este momento el tiempo, iniciándose las lecturas de las densidades ópticas de la lámina de viscosa, hasta llegar al equilibrio.

CELULA DE DIFUSION

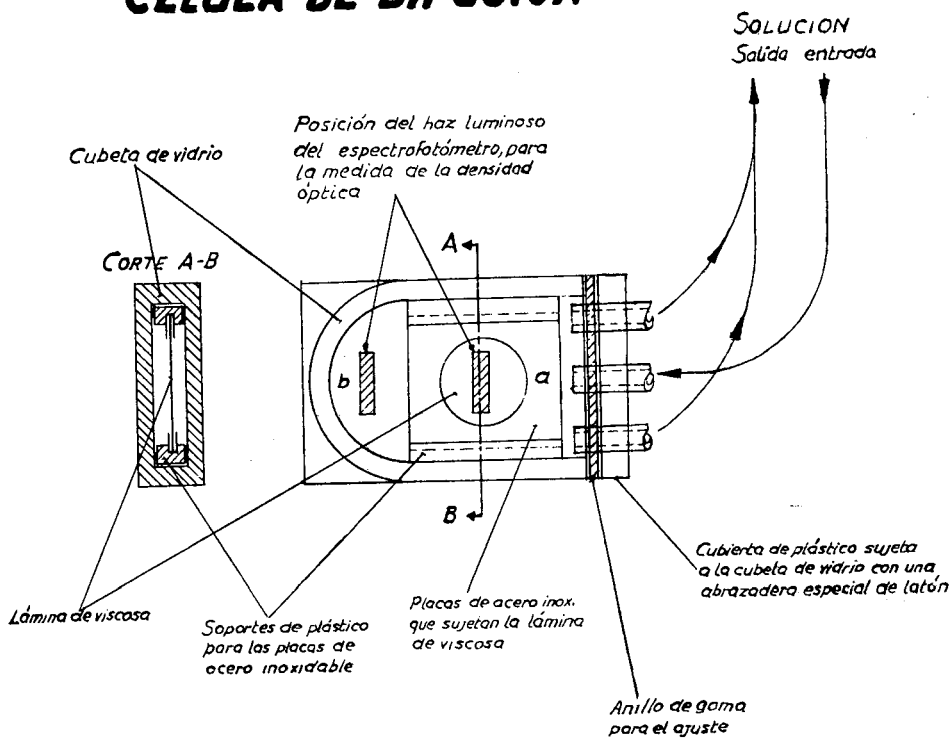


Fig. 4

3.4. Condiciones fijadas

Las condiciones establecidas para los colorantes ensayados han sido las siguientes:

Temperatura en la célula: $75 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Concentración del colorante: $3,125 \pm 0,001$ gr/l.

Flujo del baño: 500 ± 5 ml/minuto.

Concentración de NaCl: 0 a 30 g/l según se indicó anteriormente.

Lámina de ensayo: Viscosa 300 de $3,3 \cdot 10^{-3}$ cm de espesor en húmedo.

Las longitudes de onda establecidas para las determinaciones de las densidades ópticas, fueron las que correspondían al valor máximo del espectro de absorción para cada colorante.

4. RESULTADOS

Los valores del coeficiente de difusión obtenidos experimentalmente, mediante la técnica expuesta, están indicados en la Tabla II. La Fig. 5 muestra la gráfica de los valores de \bar{D} en función de las concentraciones de NaCl.

TABLA II

$\bar{D} \times 10^{10} \text{ cm}^2/\text{s.}$				
Concentración NaCl en g/l	Crisofenina G 250	Rojo Durazol 2B 150	Azul Cielo Clorazol FF 330	Amarillo Durazol GR 200
0	0	6,6±0,2	0	0,26±0,09
1	—	33,8±0,5	—	—
2,5	80,3±1,6	39,7±0,5	4,75±0,03	0,84±0,03
5	86,4±1,2	39,3±0,6	5,33±0,04	3,23±0,06
7,5	82,1±0,4	37,2±0,4	4,92±0,07	3,35±0,03
10	75,5±0,9	35,2±0,3	4,24±0,02	2,94±0,05
15	73,7±0,5	28,1±0,4	3,69±0,05	2,58±0,06
20	61,3±0,9	27,2±0,3	—	2,45±0,04
30	52,1±1	22,1±0,3	2,51±0,02	2,27±0,03
Masa molecular del colorante	680	675	992	946
Núm. grupos sulfónicos	2	2	4	3
Grupo a que pertenecen, según C.I.	A	A	B	C

5. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Atendiendo a los resultados obtenidos, representados en las gráficas de la Fig. 5, podemos establecer las siguientes consideraciones.

1.º En los cuatro colorantes se observa un aumento de D a bajas concentraciones de electrólito, pasa por un máximo que se encuentra alrededor de los 5 g de NaCl/l, para disminuir progresivamente, observándose una tendencia a estabilizarse a un valor constante.

2.º Los colorantes del grupo A, que presentan muy buen poder de igualación, tienen valores de D muy superiores al colorante del grupo B de mediano poder de igualación y del grupo C de mala capacidad igualatoria. Si bien no pueden darse normas generales con solo el estudio de cuatro colorantes, estos resultados están totalmente de acuerdo con los estudios realizados con la migración (17).

El estudio fisicoquímico de este comportamiento puede ser de utilidad para aclarar el mecanismo de difusión de los colorantes directos sobre una materia de

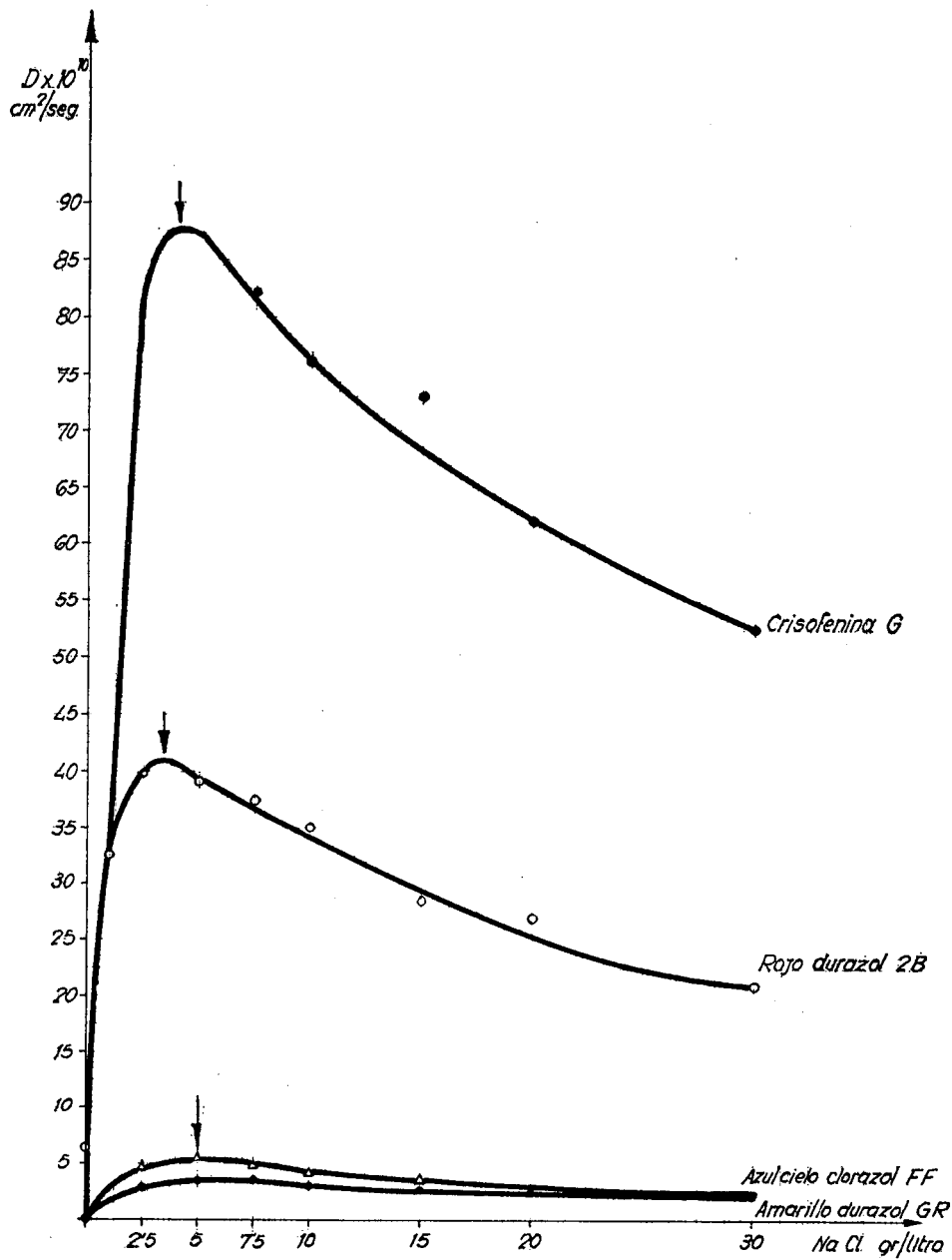


Fig. 5

tipo celulósico, y a la vez, puede predecirse el comportamiento tintóreo de un colorante de este tipo.

La fijación de un colorante en la lámina de viscosa, se realiza, fundamentalmente, mediante puentes de hidrógeno en los poros del substacto (3) (págs. 180 y siguientes), el calor de tintura, que es de unos 12 a 14 Kcal/mol, justifica la presencia de dos de estos enlaces como mínimo, es decir, que el colorante tiende a pasar desde el baño a los poros del material, difundirse en ellos y ser adsorbido en las paredes de estos poros. En este proceso deberá tenerse en cuenta que el colorante se encuentra en forma de anión y que, además, coexisten iones sodio, procedentes del colorante y del electrolito, y aniones cloro. La adsorción y desorción de estos iones fue estudiado por Willis, Warwicker, Standing y Urquhart (14), pudiéndose establecer el siguiente proceso; el colorante en forma de ion negativo con un número de cargas $-z$, igual al de grupos sulfónicos, al ser absorbido por la materia la cargará negativamente, entonces, ésta tiende a atraer los cationes sodio y a repeler los iones cloro y los iones de colorante, pero estos últimos continuarán fijándose ya que a distancias pequeñas de la pared del poro aparecen fuerzas de enlace muy enérgicas.

Un estudio termodinámico fundamentado en los potenciales químicos de los iones, conduce al resultado de que se crea un potencial eléctrico Ψ que varía desde la zona de adsorción en el poro hasta el baño de colorante, este gradiente de potencial determina unas superficies equipotenciales. Existen dos teorías sobre la forma de distribución de estas líneas equipotenciales. Un primer modelo es el establecido por Standing, Werwicker y Willis (15), en el que se establece que las superficies parten del fondo de los poros siguiendo paralelamente a la superficie del sólido (Fig. 6), y la difusión del colorante se realiza desde el centro de dichos

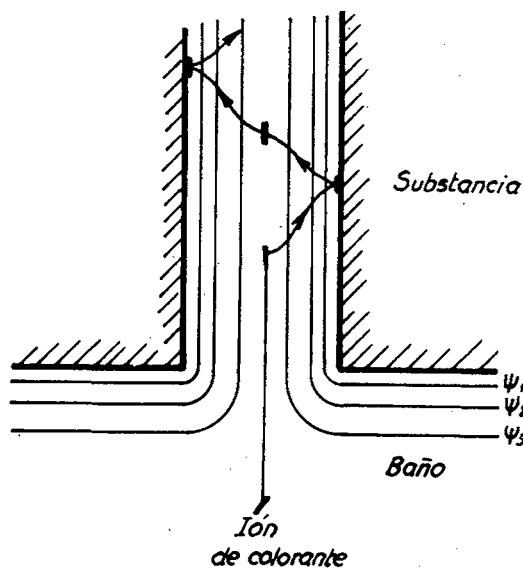


Fig. 6

MODELO DE SUPERFICIE EQUIPOTENCIAL

poros, cuyo potencial será prácticamente el mismo que el de la disolución, hasta la superficie de la materia a través de los gradientes de potencial. El segundo modelo es el propuesto por Crank (16), en el cual se supone que la materia se comporta como un volumen equipotencial; la Fig. 7 muestra esta distribución.

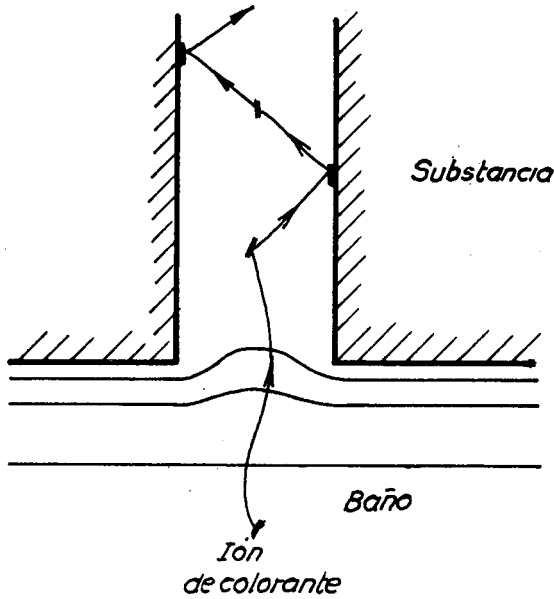


Fig. 7
MODELO DE VOLUMEN EQUIPOTENCIAL

La aplicación de los principios fisicoquímicos a un proceso de esta naturaleza, para cualquier distribución del potencial Ψ , permiten llegar a la siguiente ecuación:

$$\frac{[R^{z-}]_b}{[R^{z-}]_s} = \left[\frac{[R^{z-}]_b}{[Na^+]_s} \left[\frac{z}{2} + \left(\frac{z^2}{4} + A \right)^{1/2} \right] \right]^{\frac{z}{z+1}} \cdot \exp. \left(\frac{\Delta G}{RT(z+1)} \right) \quad \text{XIII}$$

el valor de A viene dado por la fórmula

$$A = V^2 \frac{[Na^+]_b \cdot [Cl^-]_b}{[R^{z-}]_s^2}$$

siendo:

- $[Na^+]$ concentración de los iones sodio.
- $[R^{z-}]$ concentración de los iones colorante.
- $[Cl^-]$ concentración de los iones cloruro.

V	Volumen de los poros en litros/Kg de sólido.
z	Carga de los iones del colorante.
ΔG	Variación de la energía libre en el proceso de tintura en cal/mol.
T	Temperatura absoluta.
R	Constante de los gases en cal/mol. °K.
b	Subíndice que indica fase acuosa.
s	Subíndice que indica fase sólida;

las concentraciones vendrán dadas en iones-gramo/litro si se refiere a la fase acuosa y en iones-gramo/Kg si corresponden al sólido.

Representando gráficamente el valor de $[R^{z-}]_b : [R^{z-}]_s$ como función de $[Na^+]_b$ según la ecuación XIII, obtendremos una curva continua y decreciente (semejante a una hipérbola equilátera), que para valores elevados de la concentración de NaCl tiende a un valor constante dado por la expresión

$$\frac{[R^{z-}]_b}{[R^{z-}]_s} = K' \cdot V^z$$

en la que K' es una constante específica para cada colorante y para una temperatura determinada, este valor representaría la asíntota paralela al eje X. Z^2

Para valores pequeños de concentración de iones sodio, se cumple que $A \ll \dots$ deduciéndose que 4

$$\frac{[R^{z-}]_b}{[R^{z-}]_s} = K'' [Na^+]_b^{-\frac{z}{z+1}}$$

con estas premisas vamos a ver la aplicación a cada uno de los modelos de distribución de curvas equipotenciales.

1.º *Modelo de superficies equipotenciales paralelas a las paredes del poro*

Standing y col., dedujeron para este caso, que el coeficiente de difusión venía dado por

$$D_a = D_0 \frac{d[R^{z-}]_b}{d[R^{z-}]_s}$$

siendo:

- D_a el coeficiente de difusión observado,
- D_0 valor constante.

Según esta ecuación y las conclusiones deducidas de la fórmula XIII, el coeficiente de difusión debería disminuir progresivamente a medida que aumentase la concentración de electrolito, por lo tanto, no se puede justificar, a través de esta teoría, la presencia del máximo que se ha encontrado experimentalmente.

2.º Modelo de volumen equipotencial

Crank, basándose en que la fracción de iones coloreados que puede franquear la barrera de potencial, viene determinada estadísticamente y aplicando el equilibrio de Donnan, encontró la ecuación siguiente:

$$D_a = D_0 \lambda^x \frac{[R^{z-}]_b}{[R^{z-}]_s}$$

en la que λ es el coeficiente de Donnan, cuyos valores varían entre 0 y 1, conforme aumenta la concentración de sal, es importante hacer resaltar que este coeficiente aumenta muy rápidamente hasta los 5 g/l de NaCl, para aumentar muy suavemente a concentraciones muy elevadas. Conforme con esta teoría y la ecuación XIII, el coeficiente de difusión debería tener un valor muy pequeño o nulo para procesos sin electrólitos, aumentar rápidamente, alcanzando un valor máximo alrededor de los 5 g de sal/l, para ir disminuyendo tendiendo a un valor constante. Esto es, exactamente, lo que se ha encontrado en la experimentación; queda, pues, bien concretada la forma de distribución de las líneas equipotenciales en este tipo de tinturas. Esta conclusión puede tener interés en los estudios de la cinética de la tintura.

5. CONCLUSIONES

De lo expuesto se deducen las siguientes conclusiones:

- 1.º Se ha establecido un procedimiento de determinación del coeficiente de difusión que evita tener que realizar engorrosas extracciones de colorantes, que es continuo, tiene muy buena reproductibilidad y los errores son pequeños.
- 2.º Se ha podido constatar que el modelo más adecuado para el estudio de la difusión es el de volumen equipotencial y queda descartado, al menos para bajas concentraciones de electrólito, el modelo de superficies equipotenciales paralelas a las paredes del poro. Un punto muy importante es la tendencia a estabilizarse el valor del coeficiente de difusión de los colorantes directos estudiados, a elevadas concentraciones de electrólito, confirmándose plenamente mediante la teoría.
- 3.º Se ha podido comprobar la notable influencia de la masa molecular del ion colorante en el coeficiente de difusión, disminuyendo éste a medida que aumenta dicha masa molecular. El aumento del número de grupos sulfónicos parece ser favorable en el aumento de la difusión.
- 4.º Las curvas del coeficiente de difusión presentan un máximo a una determinada concentración de NaCl. Estando relacionada la migración con el coeficiente de difusión, el valor en el cual aparece el máximo deberá ser también el de máxima migración, este aspecto ha podido ser comprobado experimentalmente mediante medidas de migración (17). De ello se deduce que existe una concentración óptima de electrólito en la cual se obtiene la mejor migración y, en consecuencia, tinturas más igualadas. Parece ser que la concentración en la que obtenemos un coeficiente de difusión máximo aumenta desde los colorantes del grupo A a los del grupo C, así en la Crisofenina G y el

Rojo Durazol 2B tienen el máximo entre 3,5 y 4 g de NaCl/litro; en el Azul Cielo Clorazol FF se presenta a 5 g/l y en el Amarillo Durazol GR a 7,5 g/l. Estos aspectos anteriores tienen un notable interés de índole práctica, dado que antes se consideraba perjudicial al añadir electrólito en una tintura de colorantes directos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Crank: *The Mathematics of diffusion*, Oxford (1957).
- (2) Neale y Stringfellow: *Trans. Faraday Soc.*, **29**, 1167 (1933).
- (3) Boulton, J. y Norton, T. H.: *J.S.D.C.*, **56**, 145 (1940).
- (4) Garvie, W. M., Griffiths, L. H. y Neale, S. M.: *Trans. Faraday Soc.*, **271** (1934).
- (5) Vickerstaff, T.: *The Physical Chemistry of Dyeing*, Oliver & Boyd (1954).
- (6) Lerming, D. R., Vickers, E. J. y Vickerstaff, T.: *J. S. D. C.*, **145** (1946).
- (7) Cegarra, J.: *J. S. D. C.*, **73**, 375 (1957).
- (8) Wilson, A. H.: *Phil. Mag.*, **39**, 48 (1948).
- (9) Crank: *J. S. D. C.*, **66**, 366 (1950).
- (10) Kilby, W. F.: *J. S. D. C.*, **76**, 479 (1960).
- (11) Robinson y Mills: *Proc. Roy. Soc.* **131 A**, 576 (1931).
- (12) Neale, S. M. y Stringfellow, W. A.: *Trans. Fard. Soc.*, **29**, 1.167 (1933).
- (13) Mann, H. B.: *Tex. Research Labor., Booking R.*, 3598 internal. (1951).
- (14) Willis, Warwicker, Standing y Urquhart.: *Trans. Faraday Soc.*, **41**, 506 (1945)
- (15) Standing, Warwicker y Willis: *J. Text. Inst.* **38**, T-335 (1947).
- (16) Crank, J.: *J. S. D. C.*, **62**, 412 (1947).
- (17) Cegarra, J. y Ribé, J.: Trabajo no publicado.

Exactamente . . .

... podrá usted ahora disponer
de toda una gama de

colorantes Setarón y Setacil P que permite
efectuar múltiples combinaciones

Sus solidesces satisfacen elevadas exigencias

Colorantes Setarón y [®]Setacil P

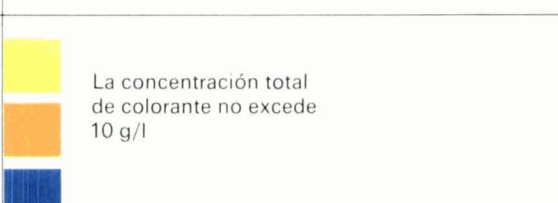



para teñir y estampar
las fibras de poliéster



Colorantes® Setarón y® Setacil P

Para fibras de poliéster y sus mezclas con fibras celulósicas
 Para la tintura a la continua con arreglo al procedimiento termosol
 Estos colorantes se combinan muy bien entre sí

Este cuadro sinóptico indica su campo de aplicación y la temperatura óptima para el tratamiento termosol

Grupos	Temperatura óptima para el tratamiento termosol °C	Fibras de poliéster-algodón 67/33
Grupo 1 Tinturas claras	200–205	 <p>La concentración total de colorante no excede 10 g/l</p> <ul style="list-style-type: none"> Amarillo Setacil P-GSL líquido 60% Anaranjado Setarón brillante 2RL líquido 70% Azul Setacil P-RS líquido 80%
Grupo 2 Tinturas medias oscuros	220–225	 <ul style="list-style-type: none"> Amarillo oro Setarón RL líquido 80% Rojo Setarón BL líquido 90% Azul marino Setarón BGL líquido Azul Setarón RFL líquido 50%
Grupo 3 Tinturas amarillos, anaranjados, carlatas rojos	210–220	 <ul style="list-style-type: none"> Amarillo Setarón T-3GL líquido Amarillo oro Setarón RL líquido 80% Anaranjado Setarón brillante 2RL líquido 70% Rojo Setarón brillante 4G Rojo Setarón BL líquido 90%
Grupo 4 Tinturas verdes y azules verdosos	210–220	 <ul style="list-style-type: none"> Amarillo Setarón T-3GL líquido Azul Setarón RFL líquido 50%
Grupo 5 Negro y tracita	220 210	 <ul style="list-style-type: none"> Amarillo oro Setarón RL líquido 80% Negro Setarón T-2GL líquido