

TEMAS DE DIVULGACION

LA COLORIMETRIA INSTRUMENTAL: UN AUXILIAR IMPORTANTE PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

J. Valdeperas *

0.1. Resumen

En este escrito, el autor realiza una revisión a vuelo pluma, de las bases y las posibilidades que ofrece en la actualidad, la medición instrumental del color en el sector textil, cuyas aplicaciones en la duplicación al color se hallan ampliamente difundidas, pero que también es de elevada utilidad en el control de calidad, no sólo del propio color, sino también en la valoración de las solideces, y del grado de blanco.

Palabras clave: Colorimetría, control de calidad, solideces, color y grado de blanco.

0.2. Summary. INSTRUMENTAL COLOUR MEASUREMENT: AN IMPORTANT AID IN THE TEXTILE INDUSTRY.

The author revises superficially the bases and present possibilities of instrumental colour measurement in the textile field, whose application on colour duplication is widely known. Instrumental colorimetry is, on the other hand, most useful in quality control of colour fastness and in the assessment of fastness and whiteness degree.

Key words: Colorimetry, quality control, fastness, colour and whiteness degree.

0.3 Résumé. LA COLORIMETRIE INSTRUMENTALE: UN AUXILIARE IMPORTANT POUR L'INDUSTRIE TEXTILE.

Dans cet écrit, l'auteur fait une rapide révision des bases et des possibilités qui sont actuellement offertes, dans le secteur textile, par la mesure instrumentale de la couleur dont les applications dans la duplication à la couleur sont amplement diffusées et qui sont aussi d'une grande utilité pour le contrôle

de la qualité, non seulement de la couleur même, mais aussi lors de l'évaluation des solidités et du degré de blanc.

Mots-clés: Colorimétrie, contrôle de qualité, solidités, couleur et degré de blanc.

1. INTRODUCCION

La evolución acelerada de la ciencia y la técnica, en todos los campos del conocimiento, es un fenómeno al cual las nuevas generaciones ya están habituadas, y casi lo consideran normal.

Sin embargo esta situación no era la habitual en la generación de nuestros abuelos, para los que los cambios sociales, científicos y técnicos se producían con una lentitud que les permitía su asimilación progresiva.

La tecnología textil, lógicamente, no puede soslayarse de la situación actual, y en consecuencia puede decirse que en los últimos 20 años los cambios experimentados por las industrias textiles son más profundos que los que a principios de siglo se definieron como la «Revolución Industrial».

Precisamente es el sector textil, una de las industrias que más se ha visto afectada por tecnologías no textiles, como la mecánica, la química, y en esta última década, por la física del color.

Vamos pues a desarrollar, la incidencia que la colorimetría instrumental tiene hoy día en el proceso de ennoblecimiento del color de los textiles, describiendo brevemente las posibilidades actuales de esta técnica cuya utilidad industrial ya no ofrece ninguna duda.

2. BASES DE LA COLORIMETRIA INSTRUMENTAL

La física y medida de la luz y el color es un tema que ha despertado la curiosidad humana desde la noche de los tiempos como lo demuestra las aportaciones efectuadas por los científicos tradicionales en el campo de la física, Huygens, Fresnel, etc, si bien puede considerarse que no es hasta principios del presente siglo, que se inicia el camino que transformará todos los conocimientos teóricos en las actuales posibilidades técnicas de aplicación a nivel industrial.

Como en otras tecnologías actuales el punto de referencia es el propio ser humano, en este caso

*Dr. Ing. José Valdeperas Morell, Profesor Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (UPC). Responsable de "Tintorería y Estampados" en la E.T.S.I.I.T. (UPC). Director del INTEXTER y Jefe de su Laboratorio de Tecnología Textil Química (Tecnología y Control de Calidad)

en la colorimetría instrumental se pretende reproducir numéricamente la sensación visual que en el hombre produce el color.

Dada la complejidad del propio ser humano, y el desconocimiento que todavía existe de los mecanismos cerebrales, la citada reproducción no se puede considerar perfecta, aunque su nivel de precisión y reproducibilidad sea suficiente para el uso diario a nivel industrial.

Así pues la colorimetría instrumental se basa sencillamente en conjugar los tres elementos que intervienen en la formación de la sensación del color en el cerebro:

Illuminación fuentes naturales o artificiales
Objeto substrato textil
Receptor ojo-cerebro

La iluminación generalmente blanca, sea natural o artificial, se produce a través de un fenómeno de tipo físico-químico, que es totalmente cuantificable y medible por métodos físicos, cuya precisión y reproducibilidad no presenta dificultades con las tecnologías ópticas y electrónicas actuales.

La luz blanca debe incidir sobre un objeto en el que se produce una absorción diferencial de la energía luminosa a través de un fenómeno físico-químico que también es medible y cuantificable físicamente al igual que el anterior.

La luz reflejada debe llegar al ojo, y es precisamente en este sensor, del que dispone el cuerpo humano, en donde se produce la primera aportación de tipo fisiológico cuyo mecanismo ha sido establecido cualitativamente, pero cuya cuantificación se ha realizado a través de un estudio estadístico, que ha permitido obtener las denominadas «curvas de sensibilidad cromática», mediante las cuales se produce una partición del espectro de la luz reflejada en tres zonas.

Estos tres valores caracterizan un color y se denominan «valores triestímulo», representándose por X, Y, Z.

Hasta este punto parece pues que el color sea totalmente cuantificable, incluyendo incluso la forma en que el ojo realiza la percepción del mismo; sin embargo lo que es prácticamente desconocido es la forma en que el cerebro interpreta las señales nerviosas procedentes del ojo en lo que sería un fenómeno psicofisiológico, en parte intuitivo o instintivo y en parte objeto de aprendizaje, pero en ningún caso medible y cuantificable, más que a través de correlaciones entre las predicciones instrumentales y la realidad visual.

A pesar de esta última limitación, se ha conseguido sacar fruto de los valores triestímulo antes citados, ya que definen, matemáticamente hablando, de forma unívoca cada color posible y por lo tanto se puede hablar del espacio de color, como algo numéricamente cuantificable, aunque este espacio de color, o el definido por las coordenadas

cromáticas, x, y, e Y, no sea un espacio euclidiano. Este último espacio de color es el denominado CIE 1931, y ha servido de base para el posterior desarrollo de toda la colorimetría instrumental textil.

Lógicamente para la utilización práctica de la colorimetría ha sido necesario definir con precisión los elementos que intervienen y la forma de realizar la medición.

Así se ha definido una serie de iluminantes teóricos, de los que actualmente se utilizan:

Illuminante A: Como luz incandescente artificial.
Illuminante D65: Como reproducción de la luz natural.
Illuminante F: Como luz fluorescente artificial.

y otros, propuestos y utilizados por entidades o empresas específicas para definir sus propias especificaciones del color.

También el ojo (es decir la forma práctica de definir las curvas de sensibilidad espectral) se ha normalizado, existiendo 2 observadores patrón.

Observador patrón 2º
Observador patrón 10º

según el ángulo sólido que abarca la imagen en la retina del ojo (2º ó 10º) y por lo tanto cambiando la proporción de conos y bastones excitados por la luz.

Actualmente las condiciones básicas son:

Illuminante D65 Observador 10º

La superficie u objeto iluminado, cuyo color se pretende medir debe situarse de forma adecuada en un entorno de luz difusa pues precisamente las superficies textiles presentan múltiples ángulos de reflexión al no ser superficies lisas y por ello se utiliza la denominada esfera integradora o esfera de Ulbricht, siendo el sistema más usual la iluminación difusa y la observación prácticamente a 0º, esto es perpendicular a la muestra (generalmente es a 8º), indicándose la geometría de medición como d/8º.

3. APLICACIONES TEXTILES DE LA COLORIMETRIA

A pesar de todas las limitaciones señaladas, la colorimetría instrumental ofrece un amplio abanico de posibilidades como ayuda al técnico textil, que hacen más fácil su trabajo, con un notable incremento de la reproducibilidad del color del producto así como un apoyo muy útil en el control de calidad.

Veamos algunos de los aspectos en los cuales esta técnica ofrece resultados válidos.

-Duplicación instrumental del color

Mediante una sencilla relación entre la concentración de colorante en el textil y su curva de reflectancia como datos de base, es posible por cálculo establecer las concentraciones necesarias de distintos colorantes para obtener un determinado espectro y por ende un determinado color.

La función que relaciona la concentración y la reflectancia (R) más usual es la establecida por Kubelka y Munk

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

siendo: K: coeficiente de absorción
S: coeficiente de dispersión

Como S es una constante que depende sólo del sistema físico de medición y no de la concentración de colorante, y por otra parte, según la ley de Beer, existe una relación lineal entre K y concentración se puede escribir

$$\frac{K}{S} = M.C. \quad (2)$$

$$M.C. = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (3)$$

siendo: M: constante de proporcionalidad
C: concentración de colorante

Como el propio sustrato textil no coincide con el blanco teórico (lo cual es lo más usual), debería escribirse

$$\frac{K_n + K_m}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4)$$

(n corresponde al sustrato textil y m a la muestra coloreada)

Aplicando la relación de Kubelka y Munk al blanco del sustrato se obtiene

$$\frac{K_n}{S} = \frac{(1-R_n)^2}{2R_n} \quad (5)$$

por lo que finalmente quedaría

$$A.c = \frac{(1-R)^2}{2R} - \frac{(1-R_n)^2}{2R_n} = DF(R) \quad (6)$$

siendo: A: constante de proporcionalidad
c: concentración de colorante
DF(R): variación de la función de reflectancia debida al colorante

fórmula que permite relacionar la concentración de colorante con la reflectancia de la muestra coloreada, excluyendo la incidencia de uno u otro sustrato.

Esta ecuación se aplica a la serie de longitudes de onda que constituye el espectro visible, (400nm a 700nm), dividiéndose normalmente en intervalos de 20nm, con lo que hay que aplicarla 16 veces, o sea salen 16 ecuaciones, para los varios colorantes que intervendrán en el color final.

$$DF_1 = a_{1,1}C_1 + a_{1,2}C_2 + a_{1,3}C_3 + \dots$$

$$DF_2 = a_{2,1}C_1 + a_{2,2}C_2 + a_{2,3}C_3 + \dots \quad (7)$$

$$DF_{16} = a_{16,1}C_1 + a_{16,2}C_2 + a_{16,3}C_3 + \dots$$

Las posibilidades actuales de los sistemas informatizados convierten el cálculo de las concentraciones de colorante en un juego de niños con una rapidez elevada, lo cual permite obtener diversas soluciones, frente a las que el técnico textil puede tomar la decisión más adecuada, tanto desde el punto de vista de proceso como económico.

Generalmente la formulación instrumental da como resultado una serie de recetas de tintura posibles indicando además la metamería, es decir la diferencia de color entre la muestra que se pretende reproducir y la calculada, al cambiar el iluminante, además del precio, diferencia de color esperado con el iluminante del cálculo (normalmente D65), etc.

Esta técnica permite obtener excelentes resultados en colores claros y medios para tinturas de fibra unitaria, pero presenta ciertas limitaciones en los colores oscuros, y en algunos casos en mezclas de fibras no independientes, es decir cuando los colorantes de una de ellas son absorbidos parcialmente por la otra, lo cual puede conducir a resultados incorrectos.

No cabe duda que, para obtener la precisión máxima es imprescindible que los datos de partida de cada colorante sean totalmente fiables y reproducibles, es decir, la curva de calibración de cada colorante sea totalmente correcta, para lo cual el moderno instrumental incluye sistemas de comprobación por cálculo, además de ser recomendable obtener los datos por duplicado a nivel de laboratorio.

-Control pass-fail

El control de la diferencia de color (DE) de una forma objetiva es una de las posibilidades de la colorimetría instrumental, que todavía está sujeta a una fuerte discusión de carácter técnico, debido a lo

señalado en el apartado 2, de que el espacio de color no es euclidiano y por lo tanto una misma distancia numérica entre dos puntos no da lugar a la misma sensación de diferencia de color, sino que depende del tono del mismo (amarillo, verde, azul, etc.)

Por ello es en este aspecto donde en los últimos quince años se han producido más cambios, ya que han sido múltiples las propuestas de fórmulas matemáticas.

Así se ha pasado de la fórmula ANLab, a la CIElab, y últimamente ha sido adoptada por el ISO/TC38/SC1. Solideces y Medida del Color (París 1992) la fórmula CMC(2:1), como la más adecuada para el cálculo de pequeñas diferencias de color por ajustarse mejor a la sensación visual, en el control de aceptación o rechazo de las reproducciones de un determinado color, es decir crea un espacio de color más uniforme que los anteriores.

Fórmula CMC (1:c)

$$DE_{cmc} = \left[\left(\frac{DL^*}{1 \cdot S_L} \right)^2 + \left(\frac{DC^*_{ab}}{S_C} \right)^2 + \left(\frac{DH^*_{ab}}{S_H} \right)^2 \right]^{0.5} \quad 1=2, c=1 \quad (8)$$

$$S_L = \frac{0.040975 \cdot L^*}{1 + 0.01765 \cdot L^*}; \text{cuando } L^* < 16, \text{ tomar } S_L = 0.511$$

$$S_C = \frac{0.040975 \cdot C^*_{ab}}{1 + 0.0131 \cdot C^*_{ab}} + 0.638$$

$$S_H = (F_T + 1 - F) \cdot S_C$$

$$\text{siendo: } F = \left(\frac{(C^*_{ab})^4}{(C^*_{ab})^4 + 1990} \right)^{0.5}$$

$$C^*_{ab} = (C^*{}^2 + b^*{}^2)^{0.5}$$

$$h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$$

$$T = 0.36 + \text{abs} [0.4 \cos (35 + h_{ab})]$$

si... $164^\circ < h < 365^\circ$, ... $T = 0.56 + \text{abs} [0.2 \cos (168 + h_{ab})]$

Sin embargo la diferencia total de color DE es generalmente insuficiente para tomar decisiones acertadas por lo que lo más recomendable es siempre comparar las diferencias de coordenadas, DL, DC y DH (ó Da y Db) mediante los denominados elipsoides de tolerancia cuyo tamaño depende del matiz concreto que se está considerando.

-Control de la solidez del color

La valoración de la solidez del color que tradicionalmente se ha realizado visualmente por comparación con las escalas de grises de

degradación y de descarga puede realizarse actualmente por medición colorimétrica y posterior cálculo del índice correspondiente de la escala de grises.

Descarga (SSR) (9)

Valoración instrumental de la descarga

Indices 1 a 4 SSR=6,1-1nDE_{GS}
Indices 4 a 5 SSR=5-0,23DE_{GS}

$$\text{siendo } DE_{GS} = DE - 0.4 \sqrt{(DE^2 - DL^2)}$$

DL y DE obtenidos según la fórmula CIElab.

Degradación (10)

Valoración instrumental de la degradación

$$DE_F = [(DL^*)^2 + (DC_F)^2 + (DH^*)]^0.5$$

$$DC_F = DC^* / \left[1 + (C_m / 50)^2 \right]$$

DC* = Diferencia de Cromaticidad = C_t - C_o

C_m = Cromaticidad media = (C_t + C_o)/2

C_t = Cromaticidad de la muestra sometida al ensayo de solidez

C_o = Cromaticidad de la muestra original

DL* = Diferencia de luminosidad

DH* = Diferencia de tono

Indices de la EGF, según el valor de DE_F

DE _F	Valor de la EG de degradación
0-0,4	5
0,4-1,25	4-5
1,25-2,1	4
2,1-2,95	3-4
2,95-4,1	3
4,1-5,8	2-3
5,8-8,2	2
8,2-11,6	1-2
>11,6	1

Los resultados obtenidos a nivel mundial y las experiencias acumuladas demuestran la validez del método colorimétrico si bien es recomendable realizar un repaso visual posterior puesto que en algunos casos la falta de regularidad de las muestras puede dar lugar a errores, solo subsanables mediante valoración visual.

Grado de Blanco

Poco a poco va siendo aceptada la denominada fórmula ISO o CIE, para valoración del blanco de los textiles que posiblemente acabará con

la dispersión de fórmulas usadas la pasada década, cada una con ciertas ventajas pero ninguna especialmente apta para el blanco textil normalmente con blanqueador óptico.

Medición del Grado de Blanco (11)

Método CIE (fórmula de GANTZ)

$$W = Y + 800(x_0 - x) + 1700(y_0 - y)$$

$$T_w = 900(x_0 - x) - 650(y_0 - y)$$

$$5Y - 28 > W > 40$$

$$+3 > T_w > -3$$

- W: Grado de blanco
- T_w : Nivel de coloración
- Y: Valor triestímulo
- x_0, y_0 : Coordenadas cromáticas del blanco teórico
- x, y: Coordenadas cromáticas de la muestra

Los aparatos existentes actualmente en el mercado incluyen casi en su totalidad las posibilidades señaladas, en algún caso como programa integrado, pero en general como programas separados, que cada usuario potencial escoge de acuerdo con sus necesidades.

4. BIBLIOGRAFIA

1. Colour Physics for industry Ed. R. McDonald Ed. Society of Dyers and Colourists 1987 (Gran Bretaña) (1987)
2. El Color y su medición R. D. Lozano. Ed. Americalee 1978 (Argentina)
3. Instrumental Colour formulation. A practical guide J. Park. Ed. Society of Dyers and Colourists (Gran Bretaña) (1993)
4. Instrumental colour measurements and computer aided colour matching for textiles. H.S. Shah and R.S. Gandhi. Ed. Mahajan Book Distributors and Authors (India) (1990)
5. Curso de medición del color J. Valdeperas, A. Riva. Ed. INTEXTER-U.P.C. (Apuntes) 1987 (España) (1987)
6. Color F. Gerritsen. Ed. Blume 1976 (España)
7. Color Science J. Wyszecki and L. Stiles. Ed J. Wiley and Sons (EE. UU.) (1967)
8. Doc. ISO/TC38/SC1 N1397 (1992)

Trabajo recibido en: 1994.01.28.

Aceptado en: 1994.02.08.