

## **Análisis de Algoritmos Empleados en los Procesos de Igualación del Color para Películas Poliméricas**

Ana C. Keiman<sup>(1)</sup> y Rubén G. Barrera<sup>(2)</sup>

Universidad Nacional Autónoma de México, (1) Instituto de Astronomía, (2) Instituto de Física, AP 20-364, 01000, México D.F.-México (e-mail: ckeiman@astroscu.unam.mx)

*Recibido Nov. 25, 2009; Aceptado Dic. 14, 2009; Versión Final recibida Dic. 30, 2009*

---

### **Resumen**

Se analizó la relevancia de considerar la interfase aire-pintura en el proceso de igualación del color de una muestra y la importancia de tener una mejor caracterización de las pinturas que conforman la base de datos que se utiliza para reproducir el color de dicha muestra. El procedimiento de igualación del color en pinturas se basa en la teoría de Kubelka-Munk, en la cual, se presupone que el medio incidente es el mismo que el polímero de la pintura. El análisis se realizó igualando el color de una muestra mezclando pinturas coloreadas con un solo pigmento a una pintura blanca, y mezclando pinturas coloreadas con un solo pigmento a una pintura blanca formulada con pigmentos TiO<sub>2</sub>, de la cual se conocen los valores de K y S. Los cálculos fueron realizados con ayuda del software Matemática 5.0. Se encontró que las coordenadas de color son sensibles a la interfase aire-pintura y que posiblemente un conocimiento más detallado de la formulación de pinturas permita obtener mejores resultados en la igualación del color.

*Palabras clave: igualación del color, películas poliméricas, Kubelka-Munk*

## **Analysis in Color Matching algorithms for Polymeric film**

### **Abstract**

The relevance of considering the air-paint interface in the color matching process of a sample and the importance of having a better characterization of the paintings that make up the database that is used to reproduce the color of the sample is analyzed. The procedure for color matching paints, whose formulation is unknown, is based on the Kubelka-Munk theory, which assumes that the incident medium is the same as the polymer of the paint. The analysis was performed by matching the sample's color by mixing colored paints with a single pigment to a white paint, mixing paint and colored with a single pigment to a white paint made with pigments TiO<sub>2</sub>, for which the values of K and S are known. Calculations were performed using the software Mathematica 5.0. It was found that the color coordinates are sensitive to the air-paint interface and possibly a more detailed understanding of the formulation of paints to obtain better results in the color matching.

*Keyword: color matching, polymeric film, Kubelka-Munk*

## INTRODUCCION

El control o reproducción del color es un tema importante para la industria pinturera, textil, alfarera, de baldosas, dental, etc. (Artigas et-al, 2002) En el caso particular de las pinturas de colores para paredes, uno de los objetivos que debe cumplir el formulador consiste en optimizar los procedimientos de igualación del color para crear pinturas que coincidan con el color de una muestra de formulación desconocida, ya que en éste tipo de pinturas, utilizadas generalmente con fines decorativos, lo que se busca es la coincidencia entre un color deseado y la pintura solicitada. (Wicks et-al, 1999)

Actualmente los algoritmos que permiten reproducir un color cualquiera se basan en la teoría de Kubelka-Munk, que corresponde al modelo más simple de transferencia radiativa. (Edström, 2007; Kubelka y Munk, 1931) Dichos procesos realizan todo el cálculo suponiendo la inexistencia de la interfase aire-pintura y no consideran los detalles de la formulación de la base de datos utilizada para igualar el color. Diversos estudios sobre propiedades ópticas de pinturas demuestran que considerar la interfase aire-pintura produce variaciones en el cálculo de la reflectancia de la pintura en cuestión. También se ha encontrado que la reflectancia esta ligada a la naturaleza del pigmento utilizado, es decir varía según el tipo, tamaño y forma del pigmento. (Curiel et-al, 2002; Gunde y Orel, 2000; Perera, 2005; Liu et-al, 2005)

Ninguno de estos resultados ha sido considerado en el proceso de igualación del color, (Bondioli et-al, 2006; Ishikawa-Nagai et-al, 2005; Karbasi et-al, 2008) motivo por el cual, en este trabajo se analiza la variación del color de una pintura creada a partir de la mezcla de pinturas pertenecientes a una base de datos, cuya formulación es parcialmente conocida, y una base de datos de quien solo se conoce la reflectancia, realizando el proceso considerando o no la interfase aire-pintura, con el fin de igualar el color de una pintura muestra cuya formulación es desconocida.

Al calcular las diferencias  $\Delta E$  en términos de las coordenadas de color en el espacio Lab (Wyszecki y Stiles, 1982), y considerando que en el campo de las pinturas de pared el limite aceptable de variación debe estar entre 0 y 1.5, (Bondioli et-al, 2006) se encontró que las coordenadas de color son sensibles a la consideración o no de la interfase aire-pintura y que posiblemente un conocimiento más detallado de su formulación permita tener mayor control y mejores resultados al intentar reproducir un color.

## ALGORITMOS PARA LA IGUALACIÓN DEL COLOR

### *Algoritmo tradicional para igualar colores*

Como se mencionó en la introducción el procedimiento que generalmente se sigue para igualar el color en pinturas se basa en la teoría de Kubelka-Munk. Esta teoría presupone que: 1) la capa de pintura es tal que su extensión es infinita, lo que permite desprestigiar el efecto de los bordes; 2) la pintura está formada por un material homogéneo que presenta inhomogeneidades con dimensiones menores que el espesor de la película, con lo cual se asegura la existencia de esparcimiento; 3) el medio incidente y la pintura son de la misma especie y por lo tanto no existe interfase entre ellos desapareciendo las reflexiones externas e internas que se producen en la frontera entre ambos medios; y 4) la pintura es iluminada por un flujo entrante  $I$ , que representa el promedio de los rayos que viajan hacia el interior del material y refleja un flujo saliente  $J$ , éste último definido como el promedio de los rayos que viajan hacia el exterior. La propagación de estos flujos esta caracterizada por los coeficientes de absorción ( $K$ ) y esparcimiento ( $S$ ) de Kubelka-Munk mediante las ecuaciones diferenciales (1) y (2). La reflectancia debida solo a la presencia de las inhomogeneidades incrustadas en la película para espesores infinitos viene dada por la ecuación (3). (Kubelka y Munk, 1931)

$$dI = -(K + S)I dz + S J dz \quad (1)$$

$$dJ = (K + S)J dz - S I dz \quad (2)$$

$$R_{KM} \Big|_{z \rightarrow \infty} = \frac{J}{I} \Big|_{z \rightarrow \infty} = \frac{1}{a + b} = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\left(1 + \frac{K}{S}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

La manera tradicional en que los software de igualación de color proceden para igualar el color de cualquier pintura consiste en definir primero el valor K/S de la muestra y de las pinturas de la base de datos. Dicho cociente es calculado substituyendo las reflectancias de las pinturas en cuestión, medidas por un espectrofotómetro, en la relación que resulta de despejar K/S de la ecuación (3). (Karbasi, et-al 2008)

Una vez caracterizadas las pinturas se procede a determinar las concentraciones y combinaciones necesarias de las pinturas de la base de datos, tal que la mezcla reproduzca el valor K/S de la muestra según la ecuación (4). (Artigas, et al., 2002; Billmeyer, et al., 1973a)

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\text{Muestra}} = \sum_{i=1}^n f_i \left(\frac{K}{S}\right)_i \quad (4)$$

#### *Modificación al Algoritmo tradicional para igualar colores*

Nótese que el cálculo de K/S realizado en el proceso tradicional de igualación del color se hace suponiendo que no existe interfase aire-pintura, ya que el cociente se obtiene a partir de la ecuación (3). Pero, esta suposición esta lejos de ser cierta, por lo que para analizar el problema, acercándonos mas al fenómeno real, se propone efectuar el proceso de igualación del color considerando la forma en que un espectrofotómetro de esfera integradora mide la reflectancia de una pintura.

La esfera integradora de estos instrumentos son superficies recubiertas de un material blanco de gran pureza ( $\text{Ba}_2\text{SO}_4$ ) que refleja y esparce la luz de la fuente muy eficientemente. La esfera contiene cuatro orificios. En uno se coloca la muestra a analizar, en otro, la fuente que la iluminará, en un tercero se ubica el detector que recolectará la luz reflejada y en el cuarto orificio se tiene una trampa de luz que coincide con la dirección del haz reflejado de manera especular. (Molenaar et-al, 1999; Liu et-al, 2005)

Para disimular la situación en que un observador humano evaluaría la apariencia de una pintura, inclinando la muestra con respecto a sus ojos hasta lograr deshacerse del reflejo especular, se usa el espectrofotómetro en la geometría conocida como D/8° con Especular Excluido (EE). En la cual se ilumina la muestra con luz difusa en todas direcciones, se deja la trampa abierta para no contar con el reflejo especular y se recolecta la luz a 8° con respecto de la normal de la muestra. Matemáticamente esta configuración queda expresada por la ecuación (5): (Curiel et-al, 2002)

$$R_{EE} = \frac{(1 - R_{int})R_{KM}}{1 - R_{int}R_{KM}} \quad (5)$$

Donde  $R_{KM}$  es la reflectancia de Kubelka-Munk de la ecuación (3) y  $R_{int}$  corresponde a la reflectancia interna que se origina cuando los haces dentro de la pintura chocan con la interfaz de ésta con el aire, y se calcula mediante la ecuación (6): (Molenaar et-al, 1999; Liu et-al, 2005)

$$R_{int} = 1 - \frac{1 - R_{ext}}{n_2^2} \quad (6)$$

Donde  $R_{ext}$  es la reflectancia externa (Ecuación (7)) debida a la fracción de la radiación incidente que "rebota" en la frontera propagándose en dirección contraria al haz original y  $n_2$  es el índice de refracción del vehículo de la pintura. (Molenaar et-al, 1999; Liu et-al, 2005)

$$R_{ext} = \frac{1}{2} + \frac{(n_2 - 1)(3n_2 - 1)}{6(n_2 + 1)^2} + \frac{n_2^2(n_2^2 - 1)^2}{(n_2^2 + 1)^3} \ln \frac{(n_2 - 1)}{(n_2 + 1)} - 2n_2^3 \frac{(n_2^2 + 2n_2 - 1)}{(n_2^2 + 1)(n_2^4 - 1)} + \frac{8n_2^4(n_2^4 + 1)}{(n_2^2 + 1)(n_2^4 - 1)^2} \ln(n_2) \quad (7)$$

## **METODOLOGÍA**

El estudio de la susceptibilidad de las coordenadas de color de una pintura obtenida mediante el proceso de igualación, estudiado en este trabajo, se analiza: 1) Sin considerar la interfase aire-pintura; y 2) Considerando la interfase aire-pintura. Para lo cual se elige una serie de pinturas

muestras (PM\_B1) a las que igualaremos su color al mezclar las pinturas de una base de datos integrada por 7 pinturas no caracterizadas (PBD\_B5) y una pintura caracterizada (PBD\_TiO2).

Las pinturas PBD\_B5 de la base de datos y las pinturas PM\_B1 fueron formuladas por el Centro de Investigación en Polímeros del grupo COMEX (CIP-COMEX), quienes nos proporcionaron las reflectancias medidas con un espectrofotómetro MINOLTA 3700d, y las coordenadas de color en el espacio Lab calculadas con el software del mismo instrumento. Sobre los detalles de su formulación únicamente se nos comentó que las PBD\_B5 corresponden a pinturas de colores puras, es decir se crearon introduciendo pigmentos de colores al vehículo. En cambio, las PM\_B1 se formularon agregando los mismos pigmentos a la pintura blanca PBD\_B5, cuya concentración volumétrica de pigmentos blancos es de 16%. Por lo que los cocientes K/S de cada pintura se calcularon sustituyendo las reflectancias en la ecuación (8) para el caso 1 y en la ecuación (9) para el caso 2. Ambas ecuaciones se obtienen al despejar K/S de las ecuaciones (3) y (5) respectivamente. Por otro lado la pintura PBD\_TiO2 corresponde a una pintura blanca con concentración volumétrica de 16% de pigmentos de TiO2-Rutilo formulada mediante el mismo programa, desarrollado en Mathematica 5.0, con el que se realiza la igualación de color. Los valores de K y S se obtuvieron a través de las ecuaciones (10) y (11) al suponer que los pigmentos son esféricos permitiendo así usar la teoría de Mie (Bohren y Huffman, 1983).

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\infty} = \frac{(R_{\infty} - 1)^2}{2R_{\infty}} \quad (8)$$

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{int})^2 (R_{EE} - 1)^2}{2R_{EE} (1 - R_{EE} + R_{int} R_{EE})} \quad (9)$$

$$K = \frac{3f}{4\pi a^2} C_{abs} \quad (10)$$

$$S = \frac{3f}{4\pi a^2} C_{sca} \quad (11)$$

Para igualar el color de las PM\_B1 se mezclaron las PBD\_B5 de colores con la pintura blanca PBD\_B5 (Mezcla A) y con la pintura blanca PBD\_TiO2 (Mezcla B), utilizando la ecuación (4). Las concentraciones de las pinturas de la base de datos se eligieron de tal manera que el valor de la coordenada de color L de la mezcla coincidiera con el valor calculado para las PM\_B1 por el espectrofotómetro MINOLTA 3700d. Una vez calculadas las K/S de las mezclas se obtuvieron sus reflectancias utilizando las ecuaciones (3) y (5) para los casos 1 y 2 respectivamente, junto con las respectivas coordenadas de color en el espacio Lab. Finalmente, para analizar que tanto varían los colores para cada caso y cada mezcla se calculan las diferencias mediante la ecuación (12). (Wyszecki y Stiles, 1982)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (12)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 1 se exponen las reflectancias de las PM\_B1 medidas por el CIP-COMEX. En las Fig. 2 y Fig. 3 se comparan los valores de las reflectancias y en las Fig. 4 y Fig. 5 de los cociente K/S calculados para las pinturas de las mezclas A y B formuladas siguiendo la metodología explicada anteriormente para los casos 1 y 2.

Las diferencias de color entre las PM\_B1 y las distintas mezclas se muestran en la Tabla 1, donde MA/MB se refiere al tipo de mezcla y C1/C2 representa el caso con el cual fue calculada. Estas diferencias se obtuvieron a partir de las coordenadas de color en el espacio Lab (ecuación (12)) calculadas a partir de las reflectancias de las mezclas. Cabe mencionar que las coordenadas de color se obtuvieron considerando que las pinturas fueron iluminadas con el iluminante D65, el cual corresponde al espectro estándar que asemeja a luz del día. (Wyszecki y Stiles, 1982)



ERROR: undefinedresource  
OFFENDING COMMAND: findresource

STACK:

/0  
/CSA  
/0  
/CSA  
-mark-