

## Medición de la transmitancia espectral de filtros de gelatina

M. Ibáñez-Porras, J.J. Báez-Rojas y J.A. Delgado-Atencio  
*Coordinación de Óptica, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica,  
 Apartado Postal 216, Puebla, Pue. 72000 México.*

J.C. Conde-Acevedo  
*Universidad del Papaloapan (UNPA),  
 Av. ferrocarril s/n Ciudad Universitaria Loma Bonita, Oaxaca, 68400 México.*

Recibido el 31 de marzo de 2005; aceptado el 5 de mayo de 2005

Se propone un método para estimar la transmitancia de filtros de gelatina, usando un espectrofotómetro manual diseñado para la medición de la reflectancia espectral, se presentan el modelo y los resultados.

*Descriptor:* Reflectancia espectral; transmitancia espectral; filtros de gelatina; espectrofotometría.

In this work we propose a method to estimate the spectral transmittance of gelatin filters. This method use a spectrophotometer designed to measure a spectral reflectance. We present the model and results obtained experimentally.

*Keywords:* Spectral reflectance; spectral transmittance; gelatin filters; spectrophotometry.

PACS: 07.60.Rd; 42.79.Ci

### 1. Introducción

El objetivo de este trabajo es el de medir la transmitancia espectral de filtros de gelatina empleando un método didáctico. Se discuten las condiciones experimentales y los requerimientos que deben cumplir los filtros para que puedan ser medidos a través de este método.

Los filtros de color se utilizan en la iluminación para alterar la salida de una fuente de luz blanca. Una fuente de luz blanca contiene un intervalo de colores dentro del espectro visible, combinados de tal forma que producen dicha luz blanca. El uso de filtros de color data de tiempos de los primeros teatros, donde las gelatinas coloreadas fueron usadas para obtener luces de colores. En la actualidad el término gelatina o gel todavía se utiliza, no obstante que actualmente los filtros mas comúnmente usados son de plástico, poliéster o policarbonato. Los filtros de policarbonato duran más que los filtros de poliéster. Los filtros de vidrio también se emplean para obtener luces de colores. Un filtro de color funciona bloqueando los colores no deseados de la fuente de luz blanca original, por medio de una absorción selectiva y permite el paso del color deseado a través de él [1]. Un filtro no puede agregar una parte del espectro visible que no exista inherentemente en la fuente de luz original.

Los filtros de gelatina se realizan mezclando colorantes orgánicos en gelatina y colocando una capa de la mezcla en placas de vidrio. Después que la capa se secó, se remueven las películas de gelatina de las placas. Estos filtros están disponibles, ya sea como películas de gelatina o como películas de gelatina cementadas entre placas de vidrio. Eastman Kodak Company ofrece una gran variedad de estos filtros con transmitancias espectrales características similares a las de los filtros de vidrio [2]. Generalmente, los filtros de gelatina son más baratos que los filtros de vidrio y se pueden cortar fácilmente al tamaño y forma deseados.

Ahora veamos cómo interactúa la luz con el filtro. Esta interacción se presenta de diferentes formas [4,6]. La luz incidente se puede reflejar en cualquier superficie. La luz que pasa a través del material se puede dispersar o absorber. La luz que sale del material es la luz transmitida.

Estas interacciones se pueden expresar de la siguiente manera:

$$I_0 = I_r + I_s + I_a + I_t, \quad (1)$$

donde:

$I_0$  : intensidad de la luz incidente,

$I_r$  : cantidad de luz reflejada,

$I_s$  : cantidad de luz dispersa,

$I_a$  : cantidad de luz absorbida,

$I_t$  : cantidad de luz transmitida.

En este trabajo se utilizan los conceptos de reflectancia y transmitancia, que se definen como [7]:

Reflectancia: es la razón de la luz reflejada respecto a la luz incidente, bajo condiciones geométricas específicas.

Transmitancia: es la razón de la luz transmitida respecto a la luz incidente, bajo condiciones geométricas específicas.

Las condiciones geométricas [3,5] que se mencionan fueron establecidas por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), y nos permiten elegir el ángulo de detección y el ángulo de iluminación que se implementarán en el espectrofotómetro.

La curva de transmitancia que se obtiene con el espectrofotómetro muestra una fracción de la luz transmitida en cada longitud de onda dentro del espectro visible del filtro de gelatina. Esta curva describe al objeto de la misma forma como la curva de distribución espectral de potencia describe a una fuente de luz.

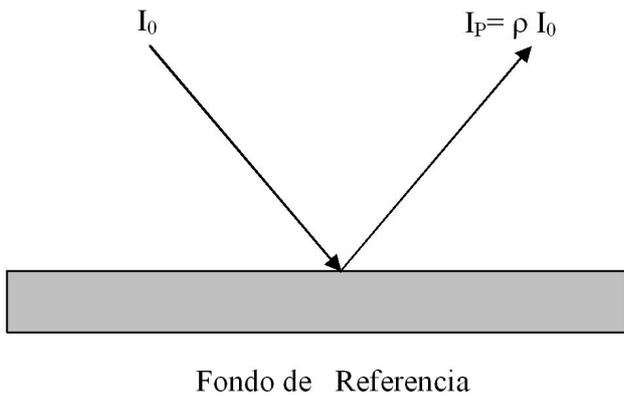


FIGURA 1. Interacción entre el haz de incidencia y el papel.

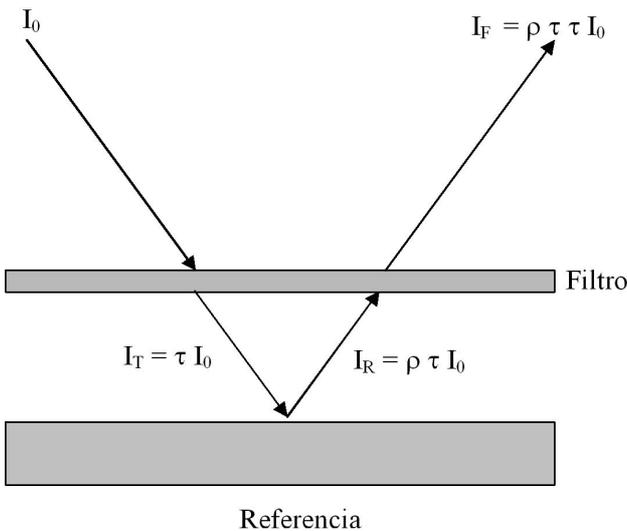


FIGURA 2. Interacción entre el haz incidente, el papel de referencia y el filtro.

**2. Método**

Para la determinación de la transmitancia se propuso un modelo simplificado de la interacción del haz con los filtros, como se puede observar en las Figs. 1 y 2. En la Fig. 1 se tiene el haz  $I_0$  incidiendo sobre el fondo de referencia, que es una hoja blanca, su curva de reflectancia espectral se muestra en la Fig. 6. El haz reflejado  $I_P$  en esta superficie es

$$I_P = \rho I_0. \tag{2}$$

En la Fig. 2 el haz  $I_0$  incide sobre el filtro, se transmite hasta llegar al fondo y reflejarse en el papel. Nuevamente atraviesa el filtro, por lo tanto el haz transmitido  $I_F$  está dado por

$$I_F = \rho \tau \tau I_0; \tag{3}$$

$\rho$  y  $\tau$  son la reflectancia del papel y la transmitancia del filtro, respectivamente.

Las tres suposiciones fundamentales para aplicar el método propuesto son:

- Las pérdidas del haz de medición por acoplamiento geométrico son pequeñas.
- La reflectancia en las caras superior e inferior del filtro es despreciable.
- La absorbancia de los filtros es despreciable.

**3. Cálculo de la transmitancia  $\tau(\lambda)$**

Se elige un conjunto de cuatro filtros (Fig. 3). Posteriormente se realiza la caracterización de estos filtros y del papel que se utiliza como fondo para efectuar las mediciones, esto se llevó a cabo en el laboratorio de espectrofotometría y colorimetría del instituto (LabEC INAOE). A continuación se realiza la calibración del espectrofotómetro, al terminar se hace la medición de la transmitancia espectral del filtro en conjunto con el papel (Fig. 5), que corresponde a  $I_F$  [Ec. (3)]. Después se obtiene la raíz cuadrada del cociente  $I_F/I_P$  [Ec. (4)] para cada longitud de onda dentro del intervalo de 380 – 780 nm, que finalmente corresponderá a la intensidad estimada  $I_E$ , por lo tanto

$$I_E = \frac{I_F}{I_P} = \frac{\rho \tau \tau I_0}{\rho I_0} = \tau^2, \tag{4}$$

donde:

- $I_E$  : Intensidad estimada,
- $I_F$  : Intensidad medida con el espectrofotómetro manual,
- $I_0$  : Intensidad incidente,
- $I_P$  : Intensidad reflejada (papel),
- $\rho$  : reflectancia,
- $\tau$  : transmitancia.

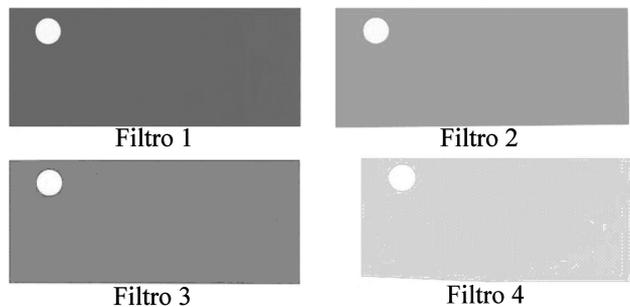


FIGURA 3. Filtros de gelatina.

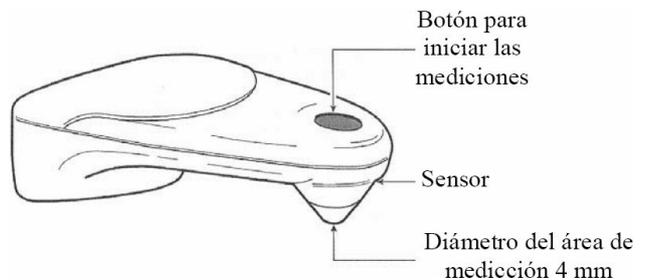


FIGURA 4. Espectrofotómetro manual CM2S.

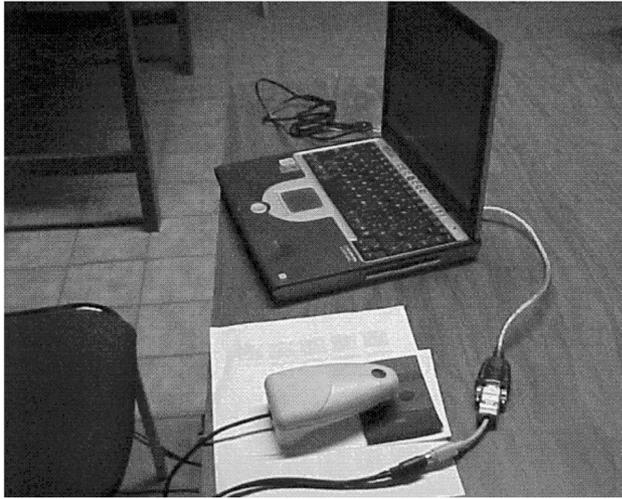


FIGURA 5. Equipo utilizado.

La transmitancia del filtro se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\tau = \sqrt{\frac{I_F}{I_P}} \tag{5}$$

De la Fig. 2 tenemos que

$$I_T = \tau I_O; \tag{6}$$

si normalizamos  $I_O = 1$ , entonces:

$$I_T = \tau, \tag{7}$$

que corresponde a la transmitancia del filtro.

Para medir la transmitancia del papel en conjunto con el filtro se utilizó un espectrofotómetro manual de la marca Color Savvy® modelo CM2S, el cual podemos apreciar en la Fig. 4 y una computadora portátil (Fig. 5), para la instalación del software del espectrofotómetro y el procesamiento de la información.

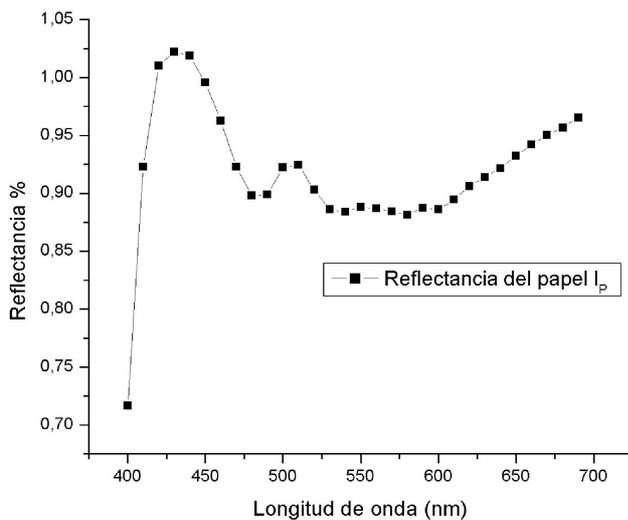


FIGURA 6. Curva de reflectancia del papel.

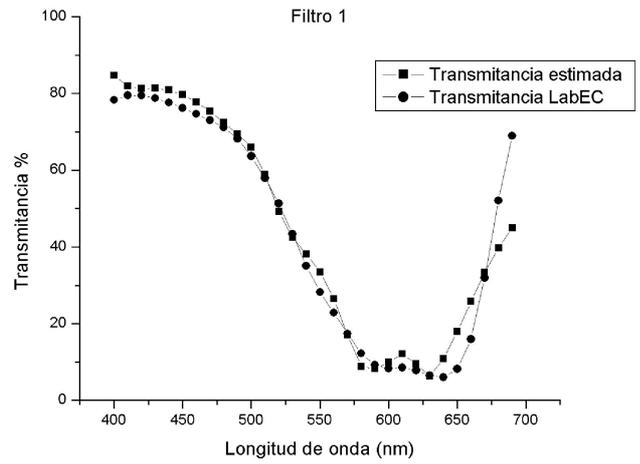


FIGURA 7. Curva de transmitancia del filtro 1.

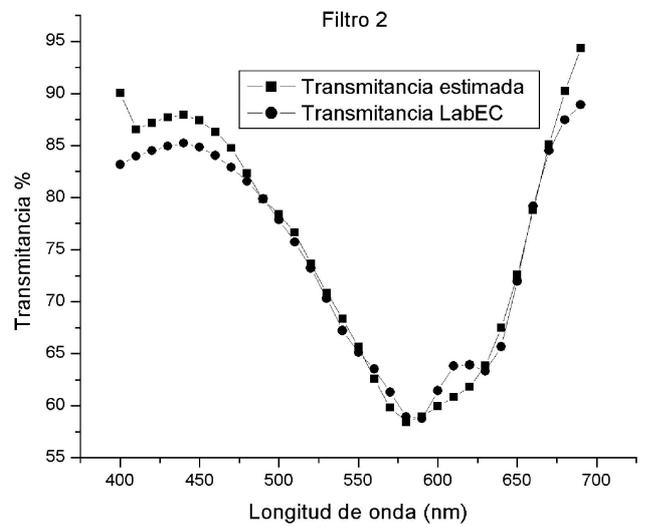


FIGURA 8. Curva de transmitancia del filtro 2.

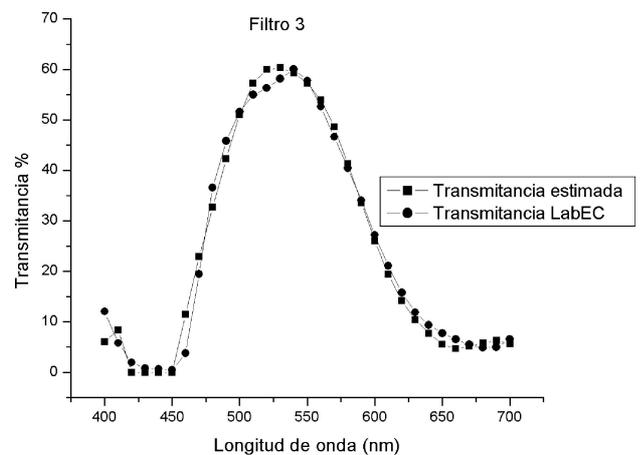


FIGURA 9. Curva de transmitancia del filtro 3.

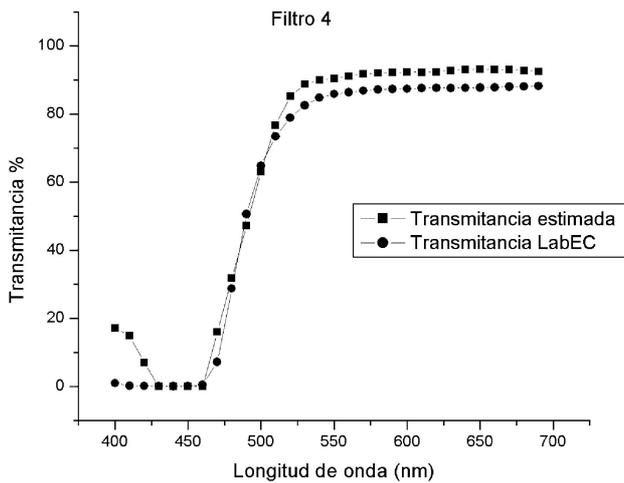


FIGURA 10. Curva de transmitancia del filtro 4.

#### 4. Resultados y discusión

La curva de reflectancia espectral del papel se puede apreciar en la Fig. 6 y los resultados obtenidos con los cuatro filtros se

muestran en las Figs. 7 - 10. En estas gráficas se muestran la curva de transmitancia espectral estimada con el método propuesto y la curva de transmitancia espectral proporcionada por el laboratorio de espectrocolorimetría, que nos sirvió de referencia. En la Ec. 6 se observa que existe una correspondencia entre la transmitancia del filtro  $I_T$  y los datos obtenidos experimentalmente con el método propuesto, los cuales concuerdan con las gráficas obtenidas en las Figs. 7 - 10. Para cada filtro se hicieron 10 mediciones y las operaciones finales se realizaron con cantidades promedio. Cabe mencionar que el espectrofotómetro utilizado fue diseñado para medir reflectancia, sin embargo se propuso éste método para poder utilizarlo en la medición de la transmitancia.

#### 5. Conclusiones

De las gráficas obtenidas se puede concluir que el método propuesto da buenos resultados. Se muestra una aplicación diferente a aquella para la que fue diseñado el instrumento.

1. L. Eckertová, *Physics of Thin Films* (Plenum Press, New York, 1977).
2. G. Wyszecki y W.S. Stiles, *Color science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, 2a. Edition (John Wiley & Sons, New York, 1982).
3. R.W.G. Hunt, *Measuring Colour*, 3rd Edition (Fountain Press, England, 1998).
4. R. Tilley, *Colour and the Optical Properties of Materials* (John Wiley & Sons, Great Britain, 2000).
5. F. Grum, *Optical Radiation Measurements Vol. 1* (Academic Press, Inc., USA, 1979).
6. F. Grum, *Optical Radiation Measurements Vol. 2* (Academic Press, Inc., USA, 1980).
7. R.S. Berns, *Bilmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology*, 3rd Edition (John Wiley & Sons, New York, 2000).