

DETERMINACIÓN DE LA REFLECTANCIA ESPECTRAL CON UN SISTEMA MONOCROMADOR-CÁMARA CCD-ESFERA INTEGRADORA

C. Chacoff, E. Colombo

Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión "Ing. Herberto C. Bühler"
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología- Universidad Nacional de Tucumán
Av. Independencia 1800 - 4000 Tucumán.- Argentina
email: ilum@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Se diseñó y calibró un sistema experimental para medir la reflectancia difusa de muestras de superficie lambertiana compuesto por una esfera integradora, un monocromador y una cámara CCD, como detector.

Para analizar la bondad del sistema experimental desarrollado se midió un conjunto de muestras de alta y baja reflectancia. En el caso de mediciones de muestras de alta reflectancia los valores medidos de reflectancia espectral se determinaron con un error del 5% y, dentro de los errores experimentales, están en buen acuerdo con los valores de comparación obtenidos con otro instrumento más preciso. Las mediciones de reflectancia en muestras de baja reflectancia conducen a curvas que reproducen la forma de las curvas de comparación aunque los valores que se obtienen se apartan en el orden del 15% de las mismas.

Summary

We designed and calibrated an experimental system for measuring the diffuse reflectance of lambertian samples using an integrating sphere, a monochrome and a CCD camera, as detector.

To analyse the performance of this system we measured the diffuse reflectance of samples of high and low reflectance. In the case of samples of high reflectance, the values of diffuse reflectance are determined with an error of 5% and, considering experimental errors, they are in agreement with the comparison values obtained with another system of higher accuracy. The measurements of reflectance for samples of low reflectance give curves that reproduce the form of the comparison curves, though the values obtained are about 15% apart from those of comparison ones.

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos experimentales para determinar reflectancia, que utilizan una esfera integradora, se usan en mediciones de muestras altos valores de reflectancia en todo el rango espectral, es decir entre 0,8 y 1,0^(1,2,3,4,5,6,7).

En estos casos, estos sistemas presentan errores muy pequeños, y por ello, basándose en estos y otros estudios la Comisión Internacional de Iluminación⁽⁸⁾ recomienda recurrir a estos métodos, que incluyen la utilización de una esfera integradora, en muestras de alta reflectancia.

En este trabajo se diseñó y calibró un sistema experimental para medir la reflectancia difusa de muestras de superficie lambertiana utilizando una esfera integradora, un monocromador y una cámara CCD, como detector.

Finalmente se analiza la bondad del dispositivo experimental diseñado, no sólo para muestras de alta reflectancia sino también para aquellas de baja reflectancia.

II. EL SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema diseñado para la medición de valores de reflectancia utiliza la esfera integradora como lo proponen los autores Jacquez y Kuppenheim⁽⁹⁾. El dispositivo está formado también por un monocromador, una fuente de iluminación y una cámara CCD como sistema detector. La esfera integradora, de 50 cm de diámetro, está recubierta internamente con una pintura de sulfato de bario

(BaSO₄) y tiene cuatro aberturas: una de ellas para que ingrese el haz de luz en la esfera, otra para el detector y las dos últimas para colocar las muestras, una del material del que se desconoce la reflectancia (ρ_X) y la otra de referencia o patrón (ρ_P). Estas dos últimas aberturas están ubicadas simétricamente con respecto a la abertura de la fuente y al detector.

En la figura 1 y 2 puede verse una vista lateral y superior del sistema de medición formado por la esfera, el monocromador (indicado con la letra m) y la cámara CCD. Las aberturas para la muestra patrón y para la muestra desconocida se indican con ρ_P y ρ_X respectivamente y con D la abertura para el detector.

La cámara CCD que se utiliza es de marca Pulnix América Inc. modelo TM-765 con una matriz de 439.236 detectores colocados en 756 filas y 581 columnas y la fuente utilizada es una lámpara OSRAM de 1000W conectada a un estabilizador de tensión.

III. MÉTODO DE MEDICIÓN

A partir del principio de conservación de la energía se encuentra que la reflectancia de una muestra desconocida (ρ_X) se determina a partir del valor de radiancia que mide el detector cuando el haz de luz incide sobre la muestra patrón (L_P), del valor de radiancia que mide el detector cuando el haz incide sobre la muestra desconocida (L_X)

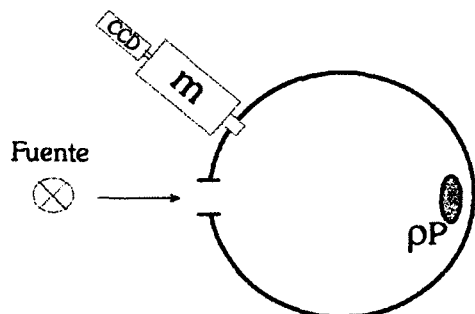


Figura 1. Vista lateral del sistema de medición ρ_p

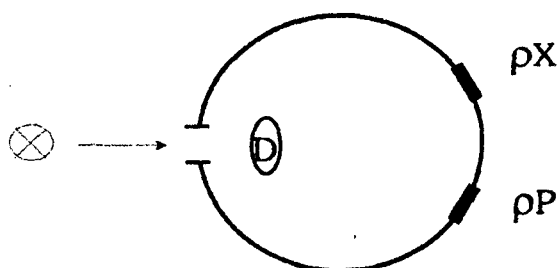


Figura 2. Vista superior del sistema de medición.

y del valor de reflectancia de la muestra patrón (ρ_p). La expresión de la reflectancia de la muestra de reflectancia desconocida es, según el desarrollo de Jacques y Kuppenheim⁽⁹⁾

$$\rho_x = \frac{L_x}{L_p} \rho_p \quad (1)$$

La longitud de onda que se desea analizar es seleccionada con el monocromador que se encuentra en la abertura destinada al detector, y la cámara CCD, que está a continuación, toma imágenes de la rendija de salida del monocromador. La cámara CCD realiza el análisis de un área de la imagen y le asigna un valor de nivel de gris entre 0-255, que corresponde al valor promedio del nivel de gris de todos los pixeles incluidos en el área seleccionada.

En el sistema de medición propuesto es necesario primero hacer una calibración del monocromador que se utiliza, y segundo, verificar si la respuesta de la cámara CCD es lineal con la radiancia, para todas las longitudes de onda.

La calibración del monocromador consiste en encontrar el cero de su escala y constatar si esta escala es lineal. Para esta calibración se utilizó una fuente de luz láser de longitud de onda 632,8nm y como detector de radiación

se usó la cámara CCD. Una vez determinado el valor de la escala que corresponde a la longitud de onda del láser, se verificó la linealidad de la escala del monocromador utilizando un tubo Geisler conteniendo hidrógeno.

Para conocer si la cámara responde en forma lineal a la radiancia, se midió el nivel de gris correspondiente a un campo iluminado uniformemente y luego se midió la radiancia de ese mismo campo con un detector que mide radiancia, para distintas longitudes de onda, comprendidas en el rango visible. Se esperaba encontrar una relación de la forma:

$$N_g = a(\lambda) + b(\lambda) L \quad (2)$$

donde N_g es el nivel de gris, L es la radiancia del objeto, y $a(\lambda)$ y $b(\lambda)$ son constantes que se determinan experimentalmente.

Para seleccionar la longitud de onda se utilizó un monocromador Optronic OL-750, como detector de radiancia se utilizó un detector de Silicio Optronic y, como se dijo antes, para medir el nivel de gris se usó la cámara CCD. Las mediciones se realizaron en 10 valores de longitudes de onda comprendidas en el rango visible, espaciadas en intervalos iguales y se tomaron 11 valores de radiancia tratando de cubrir todo el rango de niveles de gris de la cámara.

Se encontró que la relación es lineal y que la corriente oscura de la cámara CCD se puede considerar como ordenada al origen, cometiendo un error menor del 1%. Se tiene entonces, para todas las longitudes de onda, una función de calibración de la siguiente forma:

$$N_g = \text{cte. oscura} + b(\lambda)L \quad (3)$$

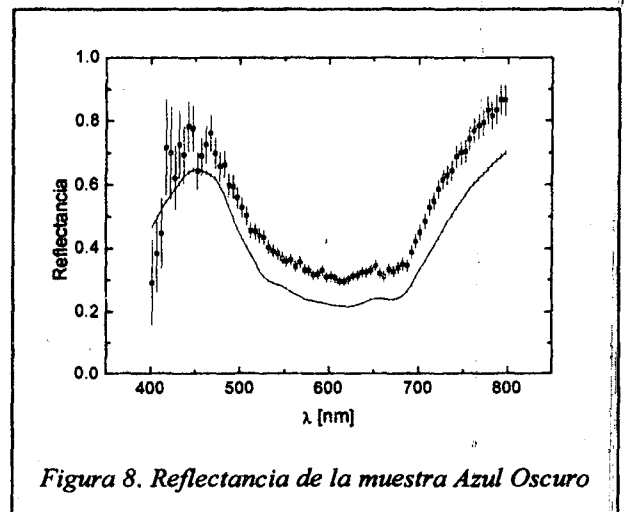
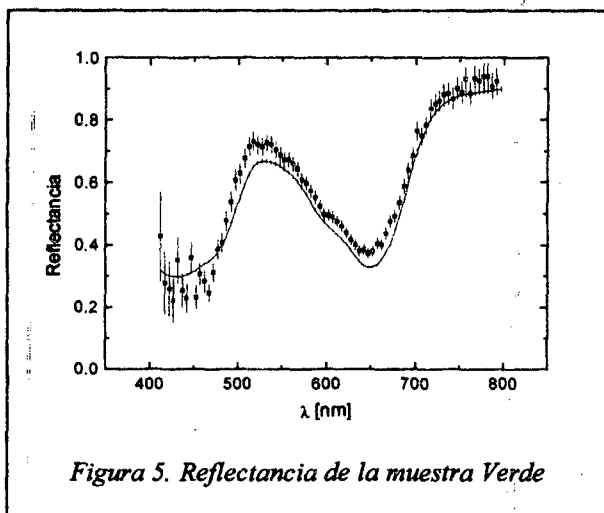
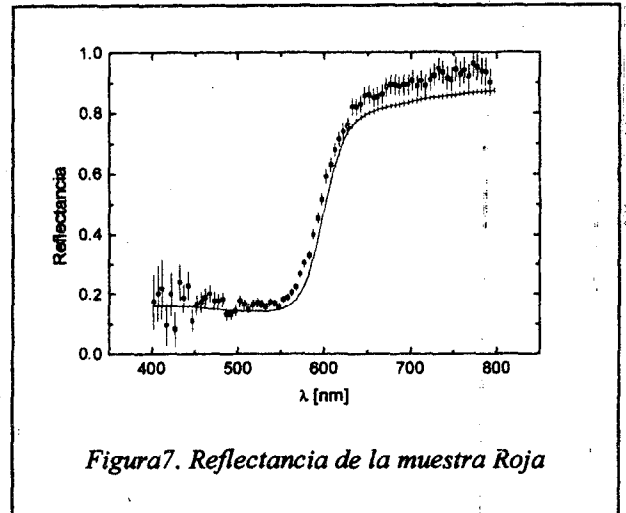
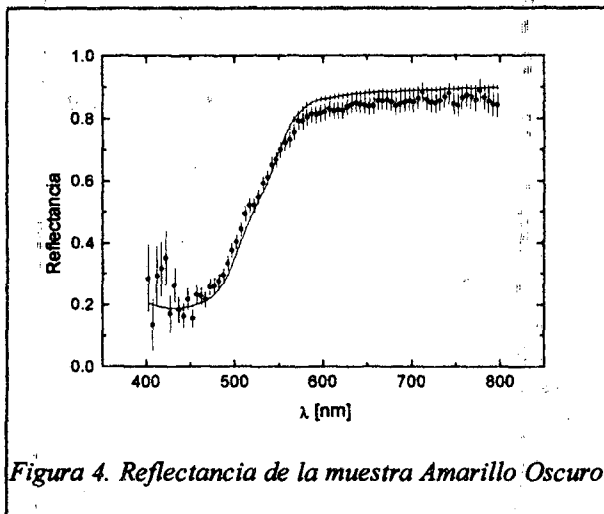
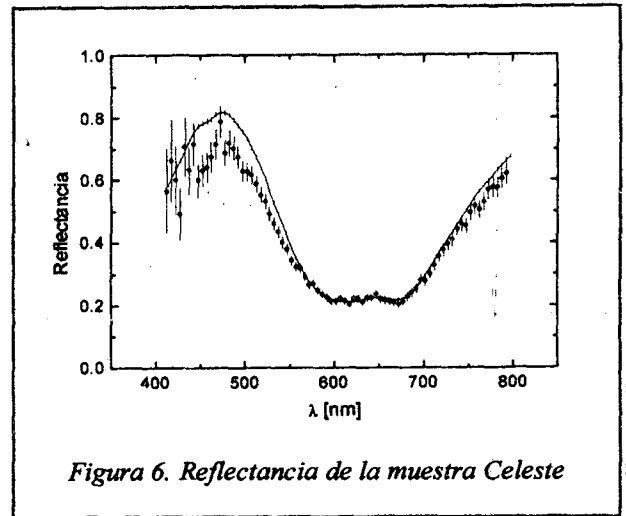
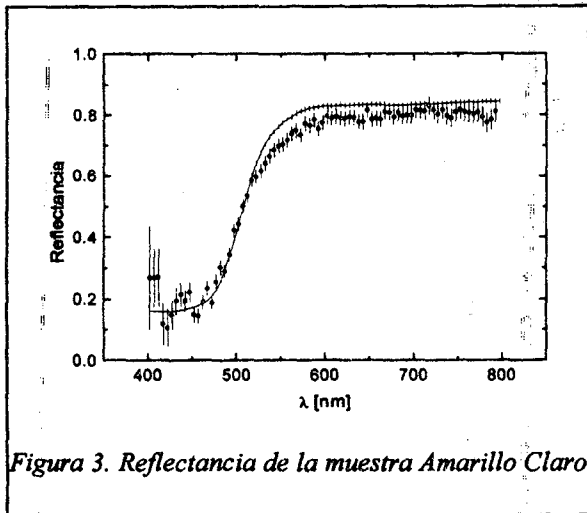
A partir de esta expresión se obtiene de la ecuación (1) la expresión para determinar la reflectancia de una muestra en términos de niveles de gris:

$$\rho_x = \frac{L_x}{L_p} \rho_p = \frac{(N_{g_x} - \text{cte. osc.})}{(N_{g_p} - \text{cte. osc.})} \rho_p \quad (4)$$

La pendiente de la recta, que depende de la longitud de onda, no aparece en la expresión de la reflectancia, y la ordenada para todas las longitudes de onda es la corriente oscura, que se determina antes de comenzar a medir. De esta manera se encuentra que no es necesario determinar las pendientes y ordenadas para cada longitud de onda, lo que demandaría una gran cantidad de tiempo.

IV. RESULTADOS

Se midieron los valores de reflectancia de 7 muestras de cartulina, de superficie rugosa, en el rango del espectro que corresponde al visible.



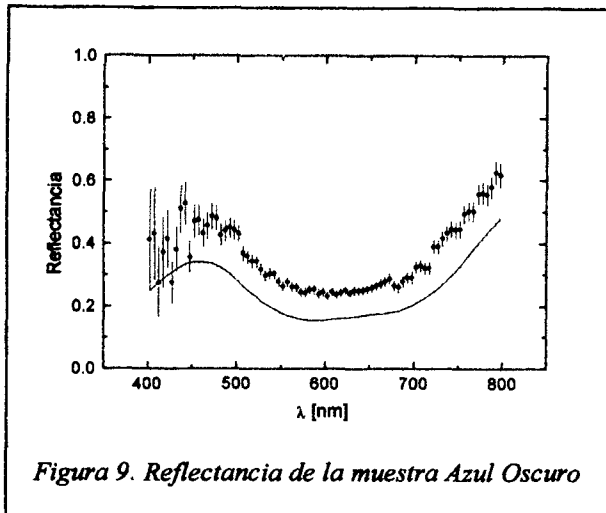


Figura 9. Reflectancia de la muestra Azul Oscuro

Las mediciones de reflectancia se realizaron cada 5 nm, ya que éste es el valor del ancho de banda del monocromador, y es por lo tanto el intervalo de longitudes de onda que proporciona una mejor respuesta del sistema⁽¹⁰⁾. El menor error en los valores de reflectancia, que es del 3%, se obtiene para los niveles de gris Ng_x y Ng_p más altos, del orden de 250, y, para niveles de gris del orden de 20, el error de las mediciones es aproximadamente del 10%.

En las figuras 3 a 9 se representan los valores de reflectancia espectral en función de la longitud de onda, en el rango del visible, de las siete muestras de cartulina. Los puntos representan los valores experimentales, con sus cotas de error, determinados utilizando el equipo experimental diseñado. La curva continua representa la reflectancia espectral de las mismas muestras, medidas con un espectroradiómetro Optronic OL-750 cuya precisión es del 2%. En cada figura se indica el color de cartulina a que corresponde.

Los valores de reflectancia medidos con el dispositivo experimental diseñado presentan una gran dispersión en la zona de bajas longitudes de onda. Para evaluar si estas desviaciones se deben a radiación dispersa se midió la radiancia del objeto entre los 400 a 500 nm usando el monocromador y un filtro que en esta zona tiene muy baja transmitancia (Melles Griot modelo 03FCG 255). Este análisis indica que entre 400 y 430 nm existe hasta un 10% de radiación que no corresponde a la longitud de onda que selecciona el monocromador, mientras que a partir de los 450nm la radiación dispersa es del orden del 5%.

V. CONCLUSIONES

Se diseñó un dispositivo experimental para medir la reflectancia espectral utilizando una esfera integradora, un monocromador y una cámara CCD como detector. El

sistema de medición permite determinar la reflectancia de muestras de superficie plana y de forma circular (radio de 7,5 cm).

Se verificó que el sistema responde en forma lineal a la radiancia en todas las longitudes de onda correspondiente al rango visible. Se determinó además que se puede considerar a la corriente oscura como la ordenada al origen, cometiendo un error menor al 1%.

Se utilizó el dispositivo desarrollado para medir un conjunto de muestras de alta y baja reflectancia. En el caso de mediciones de muestras de alta reflectancia la reflectancia espectral se determina con un error del 5% y los valores obtenidos coinciden, dentro de los errores experimentales, con valores de comparación que se obtienen con un espectroradiómetro cuya precisión es del 2%. Las mediciones de reflectancia en muestras de baja reflectancia conducen a curvas que reproducen la forma de las curvas de comparación con valores que se apartan en el orden del 15%. Este último resultado constituye un aporte original pues brinda el orden de los errores cometidos al usar la esfera integradora con muestras oscuras, valores que no proporciona el informe de la CIE.

Referencias

- 1 - Morren, Vandermeersch G., Antoine P., *Lighting Res. And Tech.*, **4**, 243 (1972).
- 2 - Stenius, *J. Opt. Soc. Amer.*, **45**, 727 (1955).
- 3 - Toporets S., *Optics and Spectroscopy*, **7**, 471(1959).
- 4 - Goebel D. G., Caldwell B. P., Hammond H. K., *J. Opt. Soc. Amer.*, **56**, 783 (1966).
- 5 - Reissmann K. D., *4° Jornadas de Luminotecnia*, 111.
- 6 - Derksen W. L., Monahan T. Y., Lawes A. J., *J. Opt. Soc. Amer.*, **47**, 995 (1957).
- 7 - De la Perelle E. T., Moss T.S., Herbert H., *Infrared Physics*, **3**, 35 (1963).
- 8 - *CIE Report N° 44*(1979).
- 9 - Jacques J. S., Kuppenheim H. F., *J. Opt. Soc. Amer.*, **45**, 460 (1955).
- 10 - *CIE Report N° 38* (1977).