



# Correlación instrumental y visual entre un espectrofotómetro multiángulo y una cabina de iluminación direccional.

## *Instrumental and visual correlation between multiangle spectrophotometer and directional lighting booth.*

**Burgos Fernández, Francisco Javier** (1); Perales Romero, Esther (2); Gómez Lozano, Omar (2); Chorro Calderón, Elisabet (2), Viqueira Pérez, Valentín (2) Martínez-Verdú, Francisco Miguel (2); Pujol Ramo, Jaume (1).

(1) Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes, Universitat Politècnica de Catalunya.

(2) Grupo de Visión y Color, Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y Tecnologías, Universidad de Alicante.

francisco.javier.burgos@cd6.upc.edu

## INTRODUCCIÓN

Existen numerosos dispositivos diseñados para el análisis colorimétrico de materiales, ya sean espectrofotómetros o colorímetros, pero el juicio final y decisivo se lleva a cabo visualmente. Esta declaración afecta a toda la ciencia del color, pero este estudio se centra en el ámbito del goniocromatismo. Los materiales con pigmentos goniocromáticos requieren evaluaciones más complejas que los pigmentos sólidos debido a sus cambios de claridad (pigmentos metalizados), tono y colorido (pigmentos perlados o de interferencia) en función del ángulo de iluminación/observación [1, 2].

Por tanto, el trabajo que se presenta consistió en hallar la correlación entre valoraciones gonio-espectrofotométricas instrumentales y visuales tanto de pigmentos de efecto como sólidos. De este modo, se podrá conocer y cuantificar lo alejadas o cercanas que se encuentran ambas técnicas. Además, en un futuro, permitirá llegar a predecir los resultados de una de estas evaluaciones en base a los resultados obtenidos por la otra.

## MATERIALES Y MÉTODO

Las dos evaluaciones, visual e instrumental, se llevaron a cabo mediante dos sistemas gonio-espectrofotométricos distintos. En la evaluación instrumental de las muestras se utilizó el gonio-espectrofotómetro de BYK-Gardner, el BYK-Mac® (Figura 1, izquierda), mientras que para la evaluación visual se empleó el sistema formado por el tele-espectrofotómetro PR-650® de Photo Research, Inc. y la cabina de iluminación direccional Byko-spectra effect® de BYK-Gardner (Figura 1, derecha). El objetivo en este último sistema espectrofotométrico multiángulo consistió en simular una valoración visual típica de un par de paneles coloreados dentro de la cabina luminosa para cada geometría de medida que se obtiene instrumentalmente con el BYK-Mac.



Figura 1. Izquierda: gonio-espectrofotómetro BYK-Mac®; Derecha: Conjunto gonio-espectrofotométrico formado por el tele-espectroradiómetro PR-650® y la cabina de iluminación direccional Byko-spectra effect®.

El conjunto de muestras constó de 13 parejas de tres tipos distintos: sólidas, metalizadas y perladas. Cada pareja estaba formada por muestras del mismo color pero de lotes distintos, para así garantizar diferencias de color pequeñas. Referente a las geometrías de medidas, estas fueron fijadas por el gonio-espectrofotómetro y la cabina de iluminación: 45as-15, 45as15, 45as25, 45as45, 45as75 y 45as110; donde, como se observa, el ángulo de iluminación era constante para todas las geometrías de medida.

Las diferencias de color entre las parejas de muestras, se calcularon mediante la fórmula  $\Delta E_{\text{AUDI2000}}$  [3], especialmente diseñada para materiales con pigmentos de efecto, en otras palabras, tiene en cuenta los cambios que sufren dichos materiales en función del ángulo de iluminación/observación.

$$\Delta E_{\text{AUDI2000}} = \sqrt{\left(\frac{dL^*_y}{k_{dL}S_{dLy}}\right)^2 + \left(\frac{dC^*_y}{k_{dC}S_{dCy}}\right)^2 + \left(\frac{dH^*_y}{k_{dH}S_{dHy}}\right)^2}$$

donde  $dL^*_y$ ,  $dC^*_y$  y  $dH^*_y$  son las diferencias de claridad, croma y tono, respectivamente. En el denominador encontramos las funciones de ponderación de la claridad ( $S_{dLy}$ ), el croma ( $S_{dCy}$ ) y el tono ( $S_{dHy}$ ) y los factores paramétricos para la claridad ( $k_{dL}$ ), el croma ( $k_{dC}$ ) y el tono ( $k_{dH}$ ). Estos últimos son independientes al ángulo de observación ya que dicha dependencia se contempla en las funciones de ponderación y en las diferencias de claridad, croma y tono.

## RESULTADOS

En la Tabla 1 aparecen los valores máximo y promedio de la  $\Delta E_{\text{AUDI2000}}$  para cada muestra considerando las seis geometrías de medidas y separados según el instrumento utilizado. Las muestras que presentan mayores valores máximos y promedios son las correspondientes al conjunto de pigmentos perlados, como por ejemplo, las muestras Gris claro y Dorado. Los resultados obtenidos con el conjunto compuesto por el tele-espectrofotómetro y la cabina de iluminación, dan lugar a diferencias de color mayores para colores sólidos y metalizados. Sin embargo, las diferencias de color referentes a materiales perlados son mayores para el gonio-espectrofotómetro.

Correlación instrumental y visual entre un espectrofotómetro multiángulo y una cabina de iluminación direccional.

Muestras	BYK-Mac®		PR-650® + Byko-spectra effect®	
	ΔE AUDI2000	ΔE AUDI2000	ΔE AUDI2000	ΔE AUDI2000
	Máxima	Promedio	Máxima	Promedio
ROJO	1.33	0.97	2.12	1.17
AMARILLO	1.32	0.84	3.47	2.02
BLANCO	3.41	2.62	8.57	6.78
CREMA	0.98	0.76	2.57	1.98
VERDEB	6.91	6.11	5.87	4.65
VIOLETA	1.36	0.81	2.22	1.39
VERDE	1.3	0.82	2	1.24
GRIS	2.48	1.58	3.91	2.27
AZUL	1.15	0.85	4.8	3.82
GRIS OSCURO	3.63	2.92	3.5	2.81
AZUL CLARO	6.86	3.16	4.66	3.08
DORADO	4.89	4.22	5.24	4.73
GRIS CLARO	14.5	4.35	8.83	3.53

Tabla 1. Valores ΔE AUDI2000 máximo y promedio considerando las seis geometrías de cada muestra y según el instrumento utilizado.

Con el objetivo de facilitar la interpretación de los valores de la Tabla 1, a continuación se detallan los rangos establecidos por la compañía AUDI para decidir si una diferencia de color es tolerable o no [3]:

$0.00 \leq mdE \leq 1.41$  - Tolerable

$1.41 < mdE \leq 1.73$  - Comprobación visual de la armonía (Ec. 2)

$mdE > 1.73$  - No tolerable

$0.00 \leq dE'_{max} \leq 1.73$  - Tolerable

$1.73 < dE'_{max} \leq 2.00$  - Comprobación visual de la armonía (Ec. 3)

$dE'_{max} > 2.00$  - No tolerable,

donde mdE es la media de las diferencias de color ΔE AUDI2000 ponderadas para las distintas geometrías y  $dE'_{max}$  es la diferencia de color máxima. Una diferencia de color se considera tolerable si cumple ambas condiciones.

Por otro lado, en la Figura 2 se muestran tres gráficas que representan a cada tipo de pigmento, siendo éstas las más representativas de cada uno. Tal y como revelan los resultados, para los colores sólidos ambos equipos se comportan de forma muy similar y las diferencias de color son muy bajas, cercanas a cero en algunas parejas. Referente a las parejas metalizadas, estas exhiben mayores diferencias de color para la claridad, principalmente en las geometrías de medida 45as-15 y 45as110 obtenidas con el BYK-Mac, en cambio, para el PR-650 más la cabina, cuánto mayor es el ángulo aspecular, mayores son las diferencias de color. Por otro lado, las diferencias de tono y croma mostradas por las parejas perladas son mayores para los ángulos cercanos a la reflexión especular. En este caso, las diferencias de color calculadas a partir de los datos ofrecidos por el gonio- espectrofotómetro son mayores que las obtenidas a partir de los datos del conjunto del tele- espectrofotómetro más la cabina.

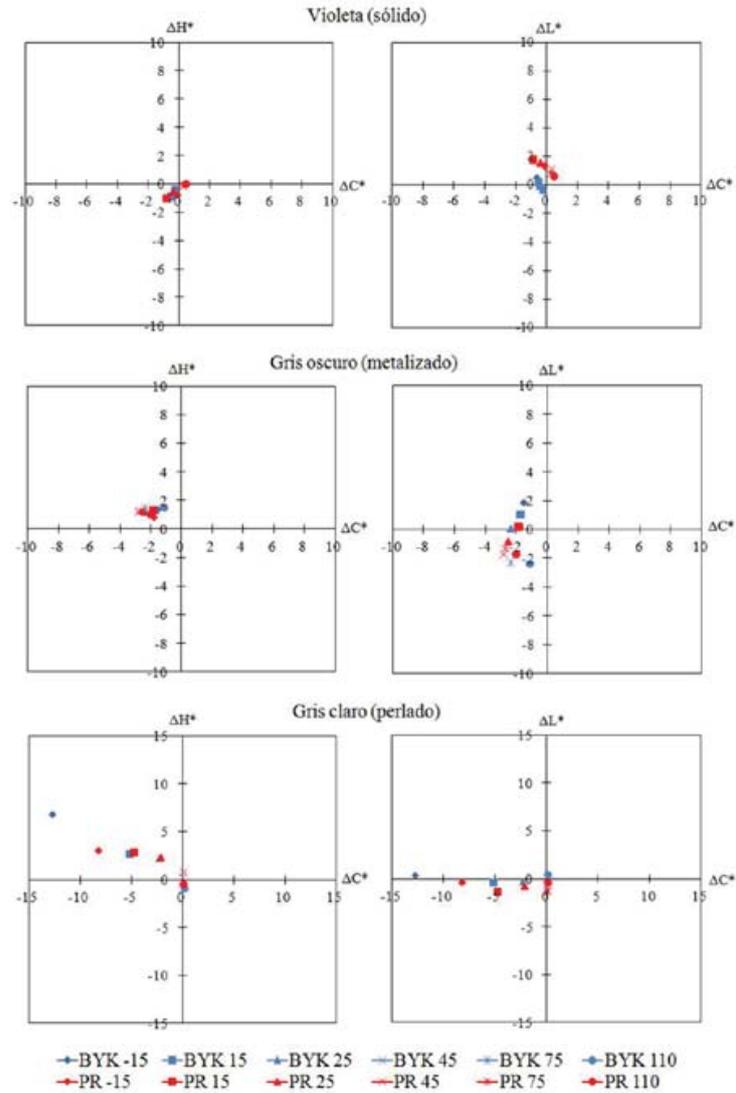


Figura 2. Diferencias parciales correspondientes a un par de muestras sólidas, metalizadas y perladas.

## CONCLUSIONES

En resumen, los dos equipos se comportan de forma semejante pero no existe ninguna correlación firme entre las diferencias de color calculadas a través de la  $\Delta E_{AUDI2000}$ , sólo se observan ligeras tendencias. El trabajo futuro se centrará en analizar un conjunto mayor de muestras goniocromáticas y en estudiar más a fondo el diferente comportamiento de cada clase de pigmento relacionado con cada sistema de medida y quizás también con el tipo de fuente de luz que usan ambos dispositivos [4].

## AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Economía y Competitividad por la concesión del proyecto coordinado “Nuevos desarrollos en óptica visual, visión y tecnología del color” (DPI2011-30090-C02), y de la beca FPI BES-2012-053080. Fco. Javier Burgos agradece también a la Generalitat de Catalunya la concesión de una beca predoctoral de formación de investigadores.

## REFERENCIAS

- [1] F.J. Maile, G. Pfaff, P. Reynders: "Effect pigments: past, present and future", *Progress in Organic Coatings*, 54, 3, 150-163 (2005).
- [2] G. Pfaff, *Special Effect Pigments*, (William Andrew Publishers: Norwich, 2008).
- [3] T. Dauser: Audi Color Tolerance Formulas. Comunicación personal. 10 March 2012, AUDI AG: Ingolstadt - Alemania.
- [4] F.M. Martínez-Verdú, E. Perales, V. Viqueira, E. Chorro, F.J. Burgos, J. Pujol: "Comparison of colorimetric features of some current lighting booths for obtaining a right visual and instrumental correlation for gonio-apparent coatings and plastics". *Proceedings of CIE 2012 "Lighting Quality and Energy Efficiency"* (Hangzhou, China), Publication CIE x027:2012, 692-705 (2012).