

Comparación de la reproducibilidad entre varios multi-gonio-espectrofotómetros

Elisabet Chorro^{1*}, Esther Perales², Víctor Navarro¹, Natividad Alcón²

y Francisco Miguel Martínez Verdú¹

¹*Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante, 03690 Alicante*

²*Departamento de Color y Óptica Oftálmica, Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen (AIDO), 46980 Paterna (Valencia)*

http://www.ua.es/area/vision_color

1. Introducción

Durante los últimos años la innovación tecnológica en muchas áreas ha hecho posible, entre otras cosas, la aparición de nuevos materiales ópticos, y en concreto los goniocromáticos (metalizados y perlados). Así, son ampliamente usados en varios sectores industriales como plásticos y recubrimientos, sobre todo para la industria automovilística [1]. Pero sigue siendo complicado medir y caracterizar este comportamiento óptico y visual de esta clase con instrumentos convencionales como los espectrofotómetros de esfera integradora. Para solventar parcialmente este inconveniente existen en el mercado actual varios tipos de multi-gonio-espectrofotómetros o espectrofotómetros multi-ángulo. Estos dispositivos son instrumentos capaces de medir el factor de reflectancia espectral de una muestra bajo diferentes combinaciones de geometrías direccionales de iluminación y observación. En la industria automovilística, y en concreto en el sector de control de calidad, el multi-gonio-espectrofotómetro más usado es el modelo X-Rite MA68II, que cumple con varios requisitos marcados por varias normativas ASTM y DIN relacionadas con la apariencia del color de materiales goniocromáticos. Recientemente, en los últimos 3 años han aparecido nuevos modelos a cargo de Datacolor (FX10) y X-Rite (MA98), que siguen las normativas citadas con el número más amplio de geometrías de medida y, que en particular, han sido adquiridos recientemente por el Grupo de Visión y Color de la Universidad de Alicante.

Por otra parte, la intercomparación entre instrumentos de medida del color, tanto a nivel de repetibilidad (variación de color de una muestra medida n veces) y reproducibilidad (variación de color de una muestra medida por n instrumentos diferentes), siempre es un tema abierto en Colorimetría, como lo prueba la cantidad abundante de contribuciones recientes en los últimos años [2-8]. Sin embargo, no existen estudios hasta la fecha centrados en la intercomparación de espectrofotómetros multi-ángulos. Por tanto, el objetivo de esta contribución es comparar por primera vez la reproducibilidad de varios multi-gonio-espectrofotómetros (X-Rite MA68II y MA98, y Datacolor FX10) siguiendo las directrices marcadas en la normativa ASTM E2214-08 [8] para las 5 geometrías comunes de medida.

2. Materiales

Para verificar el grado de reproducibilidad de nuestros 3 espectrofotómetros multi-ángulos nos apoyamos en un conjunto grande de muestras, en concreto de 91 muestras metalizadas y perladas, con diferentes grados de goniocromatismo. En principio, se consideró necesario incluir en esta base de datos un pequeño conjunto de muestras coloreadas normales, es decir, con isotropía cromática.

En cuanto a los instrumentos multi-ángulos a analizar, el X-Rite MA68II, que pertenece a AIDO, es un instrumento portátil y tiene 5 geometrías iluminación/observación siguiendo las normativas ASTM 2194 y DIN 6175-2, muy orientadas al control de calidad visual del goniocromatismo en la industria automovilística. Por otra parte, tenemos dos instrumentos más pertenecientes a la Universidad de Alicante: el Datacolor FX10 y el recientemente adquirido X-Rite MA98. El primero es un instrumento de sobremesa y tiene 10 geometrías diferentes de medida, incluyendo las cinco del MA68II. El MA98,

* e-mail: elisabet.chorro@ua.es

aparte de las 5 geometrías comunes de medida con los dos instrumentos anteriores (Tabla 1, Figura 1), dispone de varias geometrías direccionales más, incluso fuera del plano convencional de incidencia y observación. No obstante, estas 5 geometrías de medida son suficientes para la caracterización de muestras metalizadas, pero no para otros pigmentos de efecto goniocromático como los perlados o de interferencia, o incluso otros pigmentos de efecto como los de tipo glitter, sparkle, etc.

Geometrías	ASTM					ASTM/DIN				
Ángulo de incidencia	25°	25°	45°	45°	75°	75°	45°	45°	45°	45°
Ángulo de observación (aspecular)	170° (-15°)	140° (+15°)	150° (-15°)	120° (+15°)	120° (-15°)	90° (+15°)	110° (+25°)	90° (+45°)	60° (+75°)	20° (+110°)

Tabla 1: Ángulos de iluminación y observación de las geometrías habituales de medida del goniocromatismo. Se indica en negrita las 5 geometrías comunes en los instrumentos comparados.

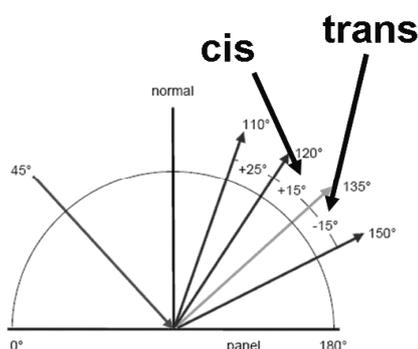


Figura 1: Esquema de los ángulos comunes de iluminación y observación en la caracterización del goniocromatismo.

2. Métodos y resultados

Las 91 muestras goniocromáticas de la base de datos fueron medidas 20 veces sin sustitución por los 3 espectrofotómetros, y tras un largo tiempo de encendido (superior a 20 min). Siguiendo un procedimiento habitual, los factores de reflectancia espectral relativa (a cada blanco de calibración del instrumento correspondiente) y los valores cromáticos CIE-1964 XYZ bajo iluminante D65 se obtuvieron para cada muestra. Como siguiente paso, con los valores promedio de las 20 medidas para cada muestra se calcularon las diferencias parciales y total de color en CIELAB medidos en los instrumentos. Si el nivel de reproducibilidad fuera ideal, todas las diferencias de color deberían ser cero. Como se puede comprobar en la Figura 2, y para la comparativa FX10 vs. MA68II, las desviaciones Δa^* y Δb^* son pequeñas, superando el límite de perceptibilidad y en muchos casos las tolerancias aceptables a niveles industriales, pero queda entonces pendiente como dilucidar si tales desviaciones se deben a variaciones estrictamente aleatorias o a desviaciones sistemáticas en el diseño y funcionamiento de los instrumentos. Esto es, por tanto, lo que permite resolver la normativa ASTM E2214-08.

Como avanzamos arriba, el promedio y la desviación cuadrática media de los valores cromáticos anteriores se usan para evaluar el estudio comparativo a nivel estadístico entre pares de instrumentos. Estos métodos estadísticos multi-variantes incluyen el test de Hotelling y un test estadístico de intercomparación para conocer el intervalo de confianza de las diferencias parciales ΔL^* , Δa^* , Δb^* y total ΔE_{ab} entre pares de instrumentos. Dichos métodos tienen como finalidad máxima calcular el parámetro de Hotelling T^2 y el valor crítico $t_{\Delta E}$. El valor crítico es muy importante en este estudio porque ajusta el rango que nos permite establecer si la diferencia total de color ΔE_{ab} es estadísticamente significativa, es decir, si la desviación en reproducibilidad encontrada entre un par de instrumentos (y geometría dada) es debida solamente al azar. En concreto, si el promedio ΔE_{ab} es superior al valor crítico $t_{\Delta E}$, la diferencia total de color es estadísticamente significativa. En caso contrario, el test afirma que la desviación en reproducibilidad se debe también a errores sistemáticos (tolerancias angulares, escalas fotométricas, blancos de calibración, etc), pero no permite discriminar y cuantificar entre estos errores instrumentales.

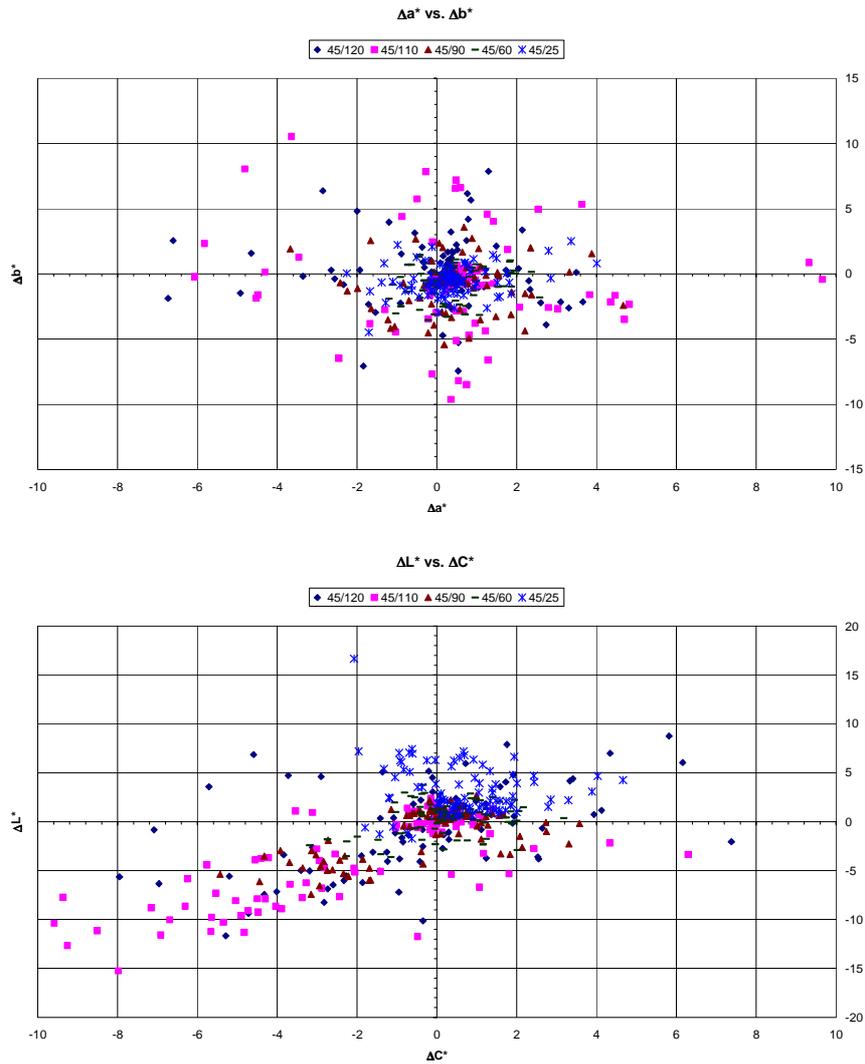


Figura 2: Desviaciones de reproducibilidad en los diagramas cromáticos Δa^* vs. Δb^* (arriba) y ΔL^* vs. ΔC_{ab}^* (abajo) de las 91 muestras medidas con los instrumentos FX10 y MA68II en cada una de las 5 geometrías comunes de medida.

Como muestra, las tablas siguientes presentan el test estadístico de intercomparación ASTM de las diferencias parciales y total entre las coordenadas cromáticas de las 91 muestras medidas con los instrumentos FX10 y MA68 II. Para la celebración del congreso se incluirán datos similares asociados al instrumento MA98, y comparados por separado con el FX10 y el MA68II. Como se puede observar en las Tablas 2 y 3, solamente para la geometría $45^\circ \times 120^\circ$ encontramos una disparidad de reproducibilidad solamente atribuible a errores aleatorios, es decir, no estadísticamente significativa. Dicho de otro modo, que para esta geometría de medida, ambos instrumentos (FX10 y MA69II) son estadísticamente equivalentes. Sin embargo, en el resto de geometrías de medida el test estadístico advierte que las diferencias encontradas se deben a errores sistemáticos.

	$45^\circ \times 120^\circ$			$45^\circ \times 110^\circ$			$45^\circ \times 90^\circ$			$45^\circ \times 60^\circ$			$45^\circ \times 25^\circ$		
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
Promedio	-0.7	0.1	0.2	-3.6	0.5	-0.5	1.1	0.4	-0.7	0.4	0.3	-0.7	3.2	0.3	-0.5
Max	11.7	6.7	7.8	15.3	9.7	10.5	7.4	4.7	5.4	3.8	2.6	3.5	16.7	4.0	4.5
Min	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0

Tabla 2: Valores promedio, máximo y mínimo de las diferencias parciales de color obtenidas en las 91 muestras medidas en cada una de las cinco geometrías de los instrumentos multi-ángulo FX10 y MA68II.

	45°x120°			45°x110°			45°x90°			45°x60°			45°x25°		
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
S	18.22	-0.34	-0.52	19.67	-1.10	3.51	6.46	-0.11	2.23	2.64	0.19	1.00	6.93	-0.05	0.87
	-0.34	3.34	-0.36	-1.10	5.78	-0.98	-0.11	1.41	0.01	0.19	0.57	0.14	-0.05	1.01	0.32
	-0.52	-0.36	6.18	3.51	-0.98	12.46	2.23	0.01	3.21	1.00	0.14	1.32	0.87	0.32	1.35
α, β, γ	-0.15	0.03	0.05	-0.67	0.09	-0.09	-0.39	0.13	-0.26	0.20	0.17	-0.33	0.85	0.09	-0.14
g_E	0.0018			0.0232			0.0413			0.2473			0.1824		
$t_{\Delta E}$	6.85			1.92			1.44			0.59			0.69		
Promedio(ΔE_{ab})	4.42			5.45			2.80			2.03			3.78		

Tabla 3: Valores promedio y críticos (al 95 % de confianza) de las diferencias total de color ΔE_{ab} obtenidas para cada geometría de medida entre los instrumentos multi-ángulo FX10 y MA68II. (S es la matriz de covarianza de las diferencias parciales de color.)

3. Conclusiones

Finalmente, y de momento para la comparativa FX10 vs. MA68II, la mayoría de las geometrías de medida muestran una reproducibilidad estadísticamente significativa. Esto significa que estas diferencias son debidas a errores sistemáticos (tolerancias angulares en cada geometría, escalas fotométricas, blancos de calibración, etc), pero no exclusivamente a errores aleatorios. Sin embargo, ambos métodos estadísticos aplicados aquí (test de Hotelling y valor crítico) no son válidos para discriminar y cuantificar los errores sistemáticos detectados en esta comparación inter-instrumental. Solamente para la geometría más cercana a la dirección especular (135°), 45°x120°, a priori con la escala fotométrica más grande (incluso superior a 100 %), muestra una desviación puramente estadística a nivel de reproducibilidad entre ambos instrumentos. Estos resultados muestran también la dificultad intrínseca de encontrar y aplicar eficientemente métodos para comparar la reproducibilidad en multi-gonio-espectrofotómetros, incluso entre modelos similares (MA68II y MA98) pertenecientes al mismo fabricante.

Agradecimientos: Al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación del proyecto DPI2005-08999-C02-02 y al Ministerio de Ciencia e Innovación por el proyecto DPI2008-06455-C02-02. Esther Perales agradece al mismo organismo la beca recibida (BES-2006-13518).

Bibliografía

- [1] H.J. Streitberger, K.F. Dössel, *Automotive Paints and Coatings*, 2nd ed. (Wiley-VCH, Weinheim, 2008).
- [2] J. Campos, M. Rubiño, F. Castillo, A. Pons, “Comparación de Instrumentos de Medida del Color”, *Opt. Pura Apl.*, **37**, p. 113 (2008).
- [3] A.R. Hanson, M.R. Pointer, P.J. Clarke, “The Uncertainty of Surface Colour Measurements made with Commercially Available Instrumentation and Recommended Calibration Protocols”, *NPL Report DQL-OR 005*, (National Physical Laboratory, Teddington, 2004).
- [4] J. Hiltunen, *Accurate Color Measurement*. MSc Dissertation (Faculty of Science, University of Joensuu, Finland, 2002).
- [5] J. Taylor, A.R. Hanson, P.J. Clarke, J. Campos, A. Pons, W. Czepluch, T. Jaaskelainen, J. Hiltunen, J. Gaudemer, O. Soares, J.L.C. Costa, L. Liedquist, “Good Practice guide to surface colour measurement”. *Publicación Europea SMT4-CT96-2140 EUR 19552EN*, 2000.
- [6] D.R. Wyble, D.C. Rich, “Evaluation of methods for verifying the performance of color measuring instruments. Part I: repeatability”, *Color Res. Appl.*, **32**, p. 166 (2007).
- [7] D.R. Wyble, D.C. Rich, “Evaluation of methods for verifying the performance of color measuring instruments. Part II: inter-instrument reproducibility”, *Color Res. Appl.*, **32**, p. 176 (2007).
- [8] ASTM, “Standard Practice for Specifying and Verifying the Performance of Color-Measuring Instruments”, *Standard ASTM E2214-08* (West Conshohocken, 2008).