

Comparación preliminar del rendimiento de las fórmulas de diferencia de color audi2000 y ciede2000 con evaluaciones visuales en una cabina de iluminación direccional.

*Preliminary comparative performance of the audi2000 and ciede2000 color difference formulas by visual assessments in a directional lighting booth.*

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

(1) Grupo de Visión y Color (GVC-UA), Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y Tecnologías (IUFACyT), Universidad de Alicante (UA), Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03960, Alicante.

(2) Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Rambla de Sant Nebridi 10, 08222, Terrassa (Barcelona).

omar.gomez@ua.es

## INTRODUCCIÓN

En principio es posible medir y controlar el color en cualquier situación que se presente. Sin embargo, las aplicaciones industriales del color son tan extensas y variadas que, en algunas situaciones es necesario definir conceptos particulares y fórmulas asociadas para especificar un problema. En muchas aplicaciones industriales, no sólo interesa conocer el color de un determinado material, sino también la variación que dicho color puede sufrir debido a su exposición a los agentes externos. La forma clásica de evaluar esta decoloración ha sido mediante el empleo de una escala de grises formada por nueve pares con contrastes determinados según la fórmula de diferencia de color de Adams-Nickerson. Este método ha demostrado su eficacia a lo largo del tiempo, por lo que se difundió universalmente y fue adoptado como norma ISO (1964). Sin embargo, lo ideal para medir la decoloración, es decir, la variación de color, sería utilizar cualquier fórmula de diferencia de color, estableciendo para cada caso (textil, plástico, cuero, etc.) las escalas adecuadas, y para eso la organización internacional de estandarización ISO ha publicado un amplio número de recomendaciones al respecto. Lógicamente, habría que ponerse de acuerdo en cada campo con las escalas a utilizar, de forma que una vez establecidas todos utilizaran la misma [1]. En este trabajo vamos a usar la carta de parejas de grises (Figura 1) de la Society of Dyers and Colourists para el cambio de color.

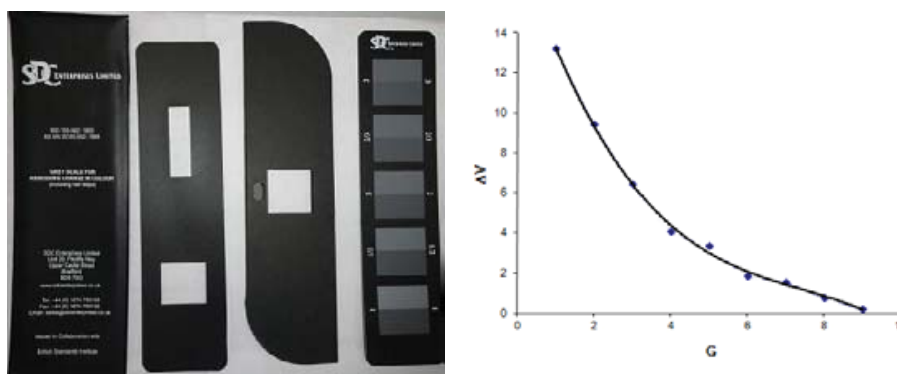


Figura 1. Carta de 9 pares de grises para el cambio de color de la SDC.

En numerosas industrias de coloración de materiales es muy importante un control exhaustivo de calidad del color, y en concreto de replicar exactamente materiales coloreados de la misma forma. En el sector industrial del automóvil, el modelo matemático de predicción de diferencias de color usado como referencia es la fórmula de diferencia de color AUDI2000 (Ec. 1). Previamente a esta fórmula, se desarrolló la fórmula de diferencia de color AUDI95, especificada en la norma DIN 6175 – 2. Sin embargo, esta fórmula no era adecuada para predecir correctamente los pesos de tolerancia para algunos colores de efecto, por lo que AUDI se vio forzado a desarrollar un modelo capaz de predecir tolerancias tanto para colores sólidos como de efecto. El nuevo modelo de tolerancia de color,  $\Delta E$  AUDI2000, resolvió el problema utilizando el flop característico para predecir la tolerancia [2]. Por otro lado, desde la Comisión Internacional de Iluminación y Color (CIE), se recomienda desde hace varios años el modelo CIEDE2000 (Ec. 2), cuya fórmula proporciona un procedimiento mejorado para el cálculo de las diferencias de color, y está basado en la optimización estadística de varias bases de datos de evaluaciones visuales de numerosos pares de colores en varios centros de investigación del mundo. Es por tanto considerablemente más sofisticada y compleja que su predecesora la CIE94 [3].

Como comparación de ambas fórmulas de diferencia de color, CIEDE2000 predice evaluaciones visuales a partir de métodos de escalas visuales usando pares de grises, pero no está ajustado para ser usado en varias geometrías de medida. En cambio,  $\Delta E$  AUDI2000 predice el cambio y diferencia de color para 6 geometrías de medida (45as-15, 45as15, 45as25, 45as45, 45as75, 45as110), pero no utiliza en su fase de optimización, evaluaciones visuales basadas en métodos estandarizados con cartas de escalas de grises. Por tanto, ambas fórmulas de diferencias de color tienen puntos fuertes y débiles a la hora de predecir diferencias de color, tanto para colores normales como gonio-aparentes.

$$dE_v = \sqrt{\left(\frac{dL_v}{S_{dL,v} G_{dL}}\right)^2 + \left(\frac{dC_v}{S_{dC,v} G_{dC}}\right)^2 + \left(\frac{dH_v}{S_{dH,v} G_{dH}}\right)^2} \quad (\text{Ec. 1}).$$

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{dL}{S_{dL} k_{dL}}\right)^2 + \left(\frac{dC'}{S_{dC} k_{dC}}\right)^2 + \left(\frac{dH'}{S_{dH} k_{dH}}\right)^2 + R_T \left(\frac{dC'}{S_{dC} k_{dC}}\right)^2 \left(\frac{dH'}{S_{dH} k_{dH}}\right)^2} \quad (\text{Ec. 2}).$$

El objetivo principal de este trabajo es evaluar el rendimiento preliminar de las fórmulas de diferencias de color  $\Delta E$  AUDI2000 y CIEDE2000 con varias evaluaciones visuales de pares de colores normales y gonio-aparentes, en una cabina de iluminación específica para comparación de colores gonio-aparentes, y demostrar si ambas funcionan de igual manera para todas las geometrías de medida o si alguna de éstas prevalece sobre la otra.

## MATERIALES Y MÉTODO

Las muestras seleccionadas se dividen en 13 pares diferentes con tres tipos de colores: sólidos, metalizados, y perlados. Para medir el comportamiento colorimétrico de las muestras goniocromáticas escogidas se ha utilizado un espectrofotómetro multiángulo, concretamente el BYK-mac de la empresa BYK-Gardner (Figura 2), que es actualmente el instrumento de referencia para este tipo de medidas (Tabla 1). A partir de los valores CIELAB, y por geometría de medida (Figura 3), de cada muestra del par se ha calculado las diferencias parciales y total según cada fórmula de diferencia de color ( $\Delta E$  AUDI2000 y CIEDE2000).

Comparación preliminar del rendimiento de las fórmulas de diferencia de color audi2000 y ciede2000 con evaluaciones visuales en una cabina de iluminación direccional.



Figura 2. Multi-gonio-espectrofotometro BYK-mac.

Ángulo de Iluminación (deg) (relativo a la normal)	Ángulo de medida u observación (deg) (relativo a la normal)	Ángulo (aspeccular) respecto a la dirección especcular (deg)	Nomenclatura CIE	Nomenclatura ASTM/DIN
45	-60	-15	45°x:150°	45as-15
45	-30	+15	45°x:120°	45as15
45	-20	+25	45°x:110°	45as25
45	0	+45	45°x:90°	45as45
45	+30	+75	45°x:60°	45as75
45	+65	+110	45°x:25°	45as110

Tabla 1. Geometrías de medida habitualmente usadas en el sector automovilístico para el control de calidad del color de materiales goniocromáticos (pinturas y plásticos).

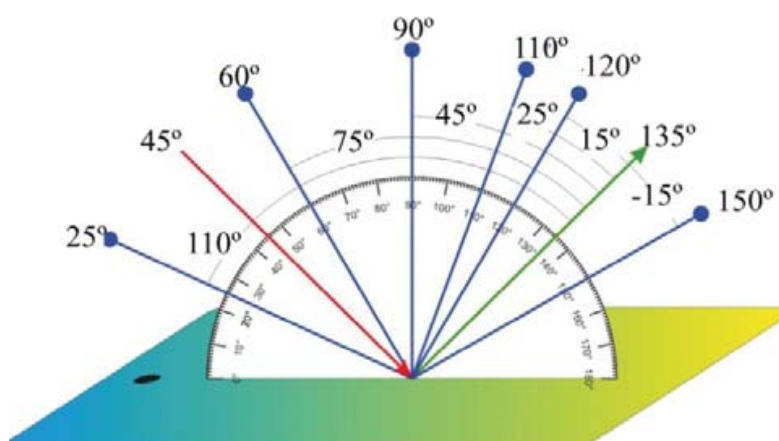


Figura 3. Geometrías de medida.

Para las evaluaciones visuales que sirvan de chequeo (testing) de las fórmulas CIEDE2000 y AUDI2000, se ha usado una cabina de iluminación direccional, concretamente la byko-spectra effect de BYK-Gardner (Figura 4), que permite hacer comparaciones de color en las 6 geometrías de medida del instrumento multi-ángulo BYK-mac. Los datos de evaluaciones visuales ( $\Delta V$ ) se obtuvieron colocando

Comparación preliminar del rendimiento de las fórmulas de diferencia de color audi2000 y ciede2000 con evaluaciones visuales en una cabina de iluminación direccional.

cada par de muestras dentro de la cabina y usando como referencia, dentro del mismo plano de observación (y para cada geometría de medida), la carta SDC Color Change con 9 pares de grises (Figura 1).



Figura 4. Cabina de Iluminación byko-spectra effect.

Para evaluar el grado de correlación entre la diferencia de color visual y la diferencia de color instrumental se utilizó el parámetro STRESS [4, 5]. Es un parámetro estadístico que además de evaluar el grado de ajuste de dos conjuntos de datos, permite estudiar directamente la inferencia estadística. Cuanto más bajo sea el valor del STRESS, mejor es el grado de coincidencia de los pares comparados. El STRESS se calcula siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$STRESS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta E_i - F_1 \cdot \Delta V_i)^2}{\sum_{i=1}^N (F_1^2 \cdot \Delta V_i^2)}} \quad \text{donde: (Ec. 3)}$$

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta E^2}{\sum_{i=1}^N (\Delta E_i \cdot \Delta V_i)} \quad \text{(Ec.4)}$$

## RESULTADOS

Los resultados preliminares, aunque obviamente con muy pocos pares de colores, indican que:

- para las geometrías de medida más cercanas a la dirección especular o de brillo, es decir, 45as-15, 45as15 y 45as25, AUDI2000 se comporta mejor que CIEDE2000, con índices de STRESS de 55, 34.21 y 46.33 respectivamente;
- para las geometrías de medida más alejadas de la dirección especular, es decir, 45as45, 45as75 y 45as110, CIEDE2000 se comporta mejor que AUDI2000, con índices de STRESS de 34.27, 39.97 y 39.19 respectivamente.

Comparación preliminar del rendimiento de las fórmulas de diferencia de color audi2000 y ciede2000 con evaluaciones visuales en una cabina de iluminación direccional.

Obviamente, los peores resultados de predicción perceptual corresponden siempre a los colores metalizados y perlados seleccionados. Pero, en cualquier caso, y para cada geometría de medida, siempre se obtiene sobre-estimaciones de las evaluaciones visuales, es decir,  $\Delta V < \Delta E$  (pendientes de correlación lineal  $\Delta V$  vs.  $\Delta E$  menores que 1).

Geometría de medida	STRESS	
	AUDI2000	CIEDE2000
45as-15	55	60.47
45as15	34.21	52.76
45as25	46.33	54.84
45as45	39.44	34.27
45as75	49.77	39.97
45as110	45.29	39.19

Tabla 2. Resultados para el Índice de STRESS.

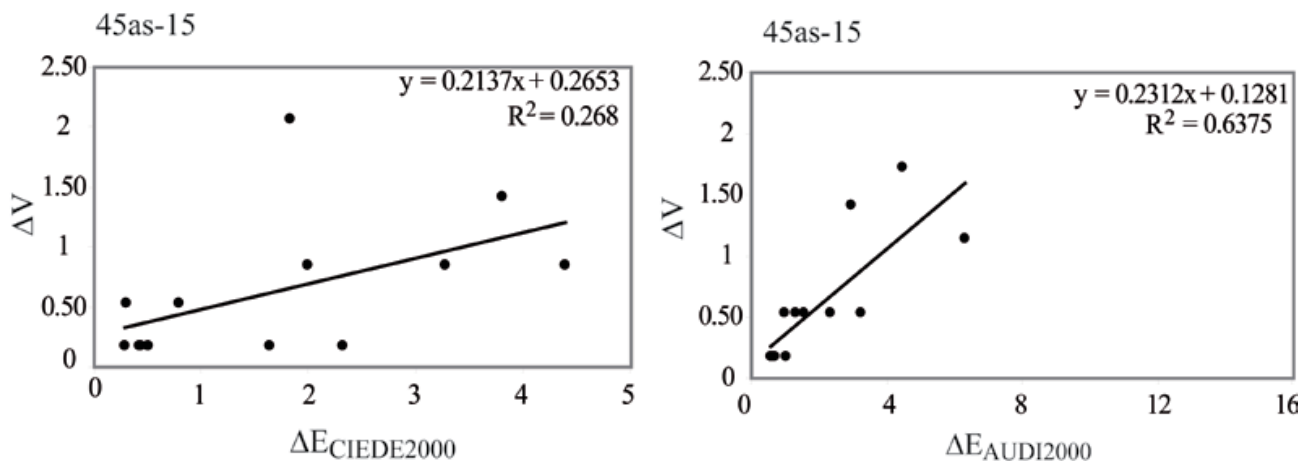


Figura 5.  $\Delta V$  vs CIEDE2000;  $\Delta V$  vs AUDI2000, para las geometrías de medida 45as-15 (izquierda) y 45as15 (derecha).

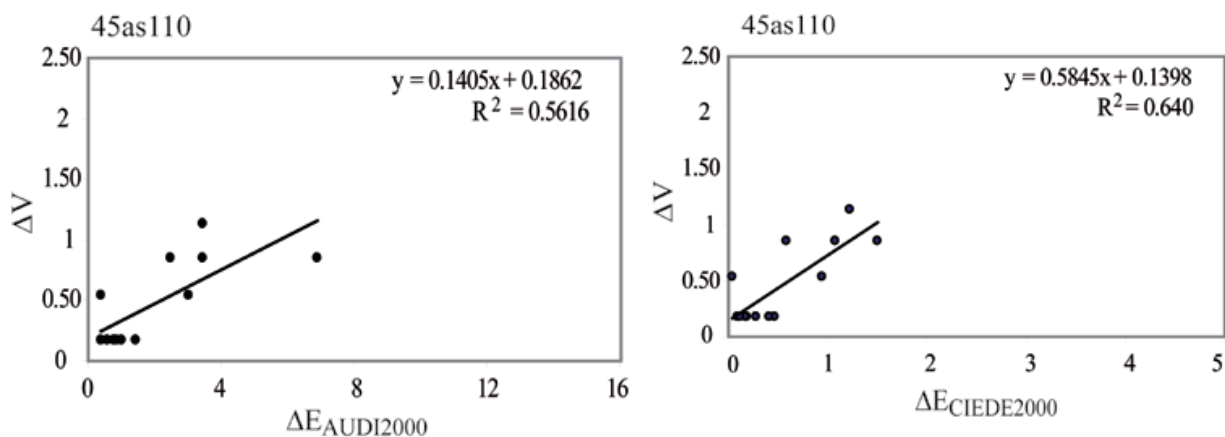


Figura 6.  $\Delta V$  vs CIEDE2000;  $\Delta V$  vs AUDI2000, para las geometrías de medida 45as110 (izquierda) y 45as110 (derecha).

Comparación preliminar del rendimiento de las fórmulas de diferencia de color audi2000 y ciede2000 con evaluaciones visuales en una cabina de iluminación direccional.

## CONCLUSIONES

Por consiguiente, este trabajo justifica, a pesar de su reducido volumen de datos, que es necesario reunir en un futuro los puntos fuertes de ambas fórmulas de diferencias de color, CIEDE2000 y AUDI2000, para predecir con mayor fiabilidad las diferencias de color de pares de colores gonio-aparentes en cualquier geometría de medida. Tal avance en la colorimetría moderna sería por tanto de gran ayuda a numerosos sectores industriales, pero principalmente en el sector automovilístico donde las tolerancias de colores instrumentales y visuales son muy estrictas.

## 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] J. M. Artigas, P. Capilla, J. Pujol: *Tecnología del Color*. Publicaciones de la Universidad de Valencia, 2002.
- [2] T. Dauser: *Audi Color Tolerance Formulas. Comunicación personal*. 10 March 2012, AUDI AG: Ingolstadt - Alemania.
- [3] Comisión Internacional de Iluminación y Color (CIE): *Colorimetry*. CIE 15:2004, Viena, 2004.
- [4] P. A. García, R. Huertas, M. Melgosa, G. Cui, “Measurement of the relationship between perceived and computed color differences”, *JOSA A*, 24:1823-1829 (2007).
- [5] M. Melgosa, R. Huertas, M. J. Rivas, P. A. García, A. González, M. Vick, C. Cui, “Significación estadística de las correcciones introducidas en las fórmulas de diferencia de color CIE94 y CIEDE2000”, Proc. VIII Congreso Nacional de Color (2007).