



IX
CONGRESO NACIONAL
DEL COLOR
ALICANTE 2010

ALICANTE, 29 Y 30 DE JUNIO,
1 Y 2 DE JULIO DE 2010
UNIVERSIDAD DE ALICANTE



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



SEDOPTICA
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ÓPTICA
COMITÉ ESPAÑOL DE COLOR

PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado por evaluadores ajenos a la Universidad de Alicante,
con el fin de garantizar la calidad científica del mismo.

Publicaciones de la Universidad de Alicante
Campus de San Vicente s/n
03690 San Vicente del Raspeig
Publicaciones@ua.es
<http://publicaciones.ua.es>
Teléfono: 965903480
Fax: 965909445

© Varios autores, 2010
© de la presente edición: Universidad de Alicante

ISBN: 978-84-9717-144-1

Diseño de portada: candelaInk

Reservados todos los derechos. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

El IX Congreso Nacional de Color cuenta con el apoyo de las siguientes entidades:



**IX CONGRESO NACIONAL DE COLOR
ALICANTE,
29 Y 30 DE JUNIO, 1 Y 2 DE JULIO
UNIVERSIDAD DE ALICANTE**

Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía
Facultad de Ciencias

Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías (IUFACyT)
Universidad de Alicante

COMITÉ ORGANIZADOR

Presidente	Francisco M. Martínez Verdú	<i>Universidad de Alicante</i>
Vicepresidente I	Eduardo Gilabert Pérez	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
Vicepresidente II	Joaquín Campos Acosta	<i>IFA-CSIC</i>
Secretaria Científica	Esther Perales Romero	<i>Universidad de Alicante</i>
Secretaria Administrativa	Olimpia Mas Martínez	<i>Universidad de Alicante</i>
Secretaria Técnica	Sabrina Dal Pont	<i>Universidad de Alicante</i>
Tesorero	Valentín Viqueira Pérez	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Elísabet Chorro Calderón	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Verónica Marchante	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Bárbara Micó Vicent	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Elena Marchante	<i>Universidad de Alicante</i>
Vocal	Ernesto R. Baena Murillo	<i>Universidad de Alicante</i>

COMITÉ CIENTÍFICO

Natividad Alcón Gargallo	<i>Instituto de Óptica, Color e Imagen, AIDO</i>
Joaquín Campos Acosta	<i>Instituto de Física Aplicada CSIC</i>
Pascual Capilla Perea	<i>Universidad de Valencia</i>
Ángela García Codoner	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
Eduardo Gilabert Pérez	<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>
José M^a González Cuasante	<i>Universidad Complutense de Madrid</i>
Francisco José Heredia Mira	<i>Universidad de Sevilla</i>
Enrique Hita Villaverde	<i>Universidad de Granada</i>
Luis Jiménez del Barco Jaldo	<i>Universidad de Granada</i>
Julio Antonio Lillo Jover	<i>Universidad Complutense de Madrid</i>
Francisco M. Martínez Verdú	<i>Universidad de Alicante</i>
Manuel Melgosa Latorre	<i>Universidad de Granada</i>
Ángel Ignacio Negueruela	<i>Universidad de Zaragoza</i>
Susana Otero Belmar	<i>Instituto de Óptica, Color e Imagen, AIDO</i>
Jaume Pujol Ramo	<i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>
Javier Romero Mora	<i>Universidad de Granada</i>
M^a Isabel Suero López	<i>Universidad de Extremadura</i>
Meritxell Vilaseca Ricart	<i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>

UNA VERIFICACIÓN EMPÍRICA DE LA MEJORA DE LA FÓRMULA DE DIFERENCIA DE COLOR CIEDE2000 RESPECTO A CIELAB

M. Grosman¹, S. Bračko¹, E. Muñoz-Ibáñez², L. Gómez-Robledo³, R. Huertas³, M. Melgosa³

¹ Tecnología Gráfica, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Ljubljana, Ljubljana (Eslovenia).

² Instituto de Enseñanza Secundaria 'Ramiro de Maeztu', C/ Serrano 127, Madrid

³ Dpto. de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, Granada
mmelgosa@ugr.es

Resumen:

Los 10 pares de muestras elaborados en 2002 por el Dr. Alman, con la finalidad de mostrar la mejora de CIEDE2000 con respecto a CIELAB, están diseñados muy cuidadosamente: Los pares 1, 2 y 3 muestran la utilidad de la corrección de claridad, el par 4 la de la corrección de croma, los pares 5 y 6 la de la corrección de tono, los pares 7 y 8 la del término de rotación, y los pares 9 y 10 la de la corrección de grises. Los resultados de las fases 1 y 2 de nuestro experimento visual son bastante similares: utilizando el índice STRESS, la predicción de los mismos mediante CIEDE2000 es considerablemente mejor que la realizada por CIELAB. Los resultados logrados por CIEDE2000 en la predicción de la fase 2 de nuestro experimento son muy similares a la variabilidad inter-observador, medida también mediante STRESS. La variabilidad intra-observador es ligeramente superior a la inter-observador.

Palabras clave: Diferencias de Color, CIEDE2000, STRESS, Variabilidad entre Observadores.

INTRODUCCIÓN

En el año 2002 el Dr. Dave H. Alman, Presidente del Comité Técnico 1-47 de la CIE, que propuso la fórmula de diferencia de color CIEDE2000 [1], siguiendo una sugerencia del Prof. Luo, elaboró un conjunto de 10 pares de muestras, con el fin de mostrar las ventajas de CIEDE2000 frente a otras fórmulas de diferencia de color precedentes. Más concretamente, se trata de un conjunto de 10 pares de muestras que pretende mostrar la utilidad de cada una de las 5 correcciones propuestas por CIEDE2000 respecto a CIELAB [2]: las correcciones denominadas de claridad (S_L), croma (S_C), tono (S_H), término de rotación (R_T), y grises (G). Las muestras son finas láminas de aluminio, cuidadosamente pintadas en DuPont Automotive Products (Troy, MI, USA), presentando una gran uniformidad en color. Cada muestra tiene un tamaño de 45x90 mm, de forma que cada par de muestras subtende un ángulo ligeramente superior a 10 grados a una distancia de observación de 50 cm. Las muestras se diseñaron para ser observadas sin separación entre ellas, situadas sobre un fondo gris neutro ($L^*_{10}=50$), e iluminadas con una fuente D65.

Disponemos de una colección de esos 10 pares de muestras, de modo que el objetivo de este trabajo es doble. En primer lugar, analizar la finalidad específica de cada uno de los 10 pares de muestras elaborados por el Dr. Alman, ya que esto no está indicado en la información que en su día se suministró a los miembros del CIE TC 1-47, junto con los pares de muestras. En segundo lugar, presentar los resultados de unos experimentos visuales realizados con estos pares de muestras, y compararlos con las predicciones de las fórmulas de diferencia de color CIELAB y CIEDE2000, mediante el índice STRESS [3], considerando también la variabilidad intra e inter-observadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 muestra las posiciones de los 10 pares en CIELAB, y la Tabla 1 las diferencias de color de cada par de muestras en unidades CIELAB y CIEDE2000, partiendo de las medidas espectrofotométricas realizadas por el Dr. Alman tras elaborar las muestras.

En cuanto al experimento visual realizado, distinguimos en él dos fases. En la fase 1 [4], intervinieron 20 observadores (algunos de ellos, profesores del Departamento de Óptica de la Universidad de Granada, con experiencia previa en experimentos similares), cada uno de los cuales realizó sólo una medida para cada par de muestras. En la fase 2 intervinieron 31 observadores (todos ellos inexpertos, y en su mayoría estudiantes de Grado y Postgrado en la Universidad de Granada), cada uno de los cuales realizó 2 o 3 medidas para cada par de muestras (en el caso de 3 medidas se consideraron sólo las 2 últimas). La fase 1 se desarrolló cronológicamente antes que la fase 2, y en ambas fases se comprobó que todos los observadores tenían visión normal del color. En ambas fases cada par de muestras fue medido por cada observador de 3 formas diferentes: Comparación con un par de referencia (método PC), concretamente el par #1, al que se le asignó un valor arbitrario de 10; comparación con dos escalas de grises de 5 pares, del tipo de las que se emplean habitualmente en la industria textil (ISO 105-A02 y A03) para medir degradación y descarga (*Gray Change and Gray Stain Scales*), que denominaremos aquí como métodos GS1 y GS2, respectivamente. Todos los observadores realizaron sus medidas en una habitación a oscuras usando una cabina GretagMacbeth Spectralight III, con una fuente de luz que simula bastante bien el iluminante CIE D65 [5]. En cada método la tarea del observador es asignar un valor numérico a la diferencia de color percibida en cada par, con respecto a la/s referencia/s establecida/s. Realizamos medidas de color de los pares, en las mismas condiciones de observación, mediante un espectrorradiómetro PR-704, inclinado 45° respecto a la dirección horizontal.

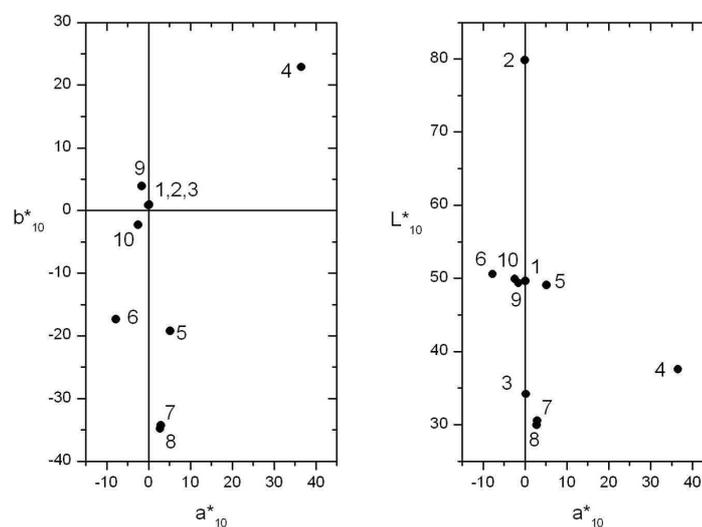


Figura 1. Posiciones de los 10 pares de muestras preparados por el Dr. Alman (DuPont Automotive Products, USA) en los planos $a^*_{10}b^*_{10}$ y $a^*_{10}L^*_{10}$ de CIELAB. No se distinguen las 2 muestras de cada par en esta figura.

Tabla 1. Diferencias de color, en unidades CIELAB y CIEDE2000, para cada uno de los 10 pares de muestras.

Pares:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta E^*_{ab,10}$	2.95	4.24	3.57	8.70	2.87	3.58	6.74	3.62	3.47	2.35
$\Delta E_{00,10}$	2.94	2.95	2.91	2.97	3.20	2.99	3.16	3.03	2.98	3.03

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Finalidad de cada par de muestras.

Hemos evaluado la importancia relativa de cada una de las 5 correcciones introducidas por CIEDE2000 sobre CIELAB en cada uno de los 10 pares de muestras, con la ecuación:

$$\text{Corrección} = \frac{|\Delta E_{00} - \Delta E_{00}(\text{Modificada})|}{\Delta E_{00}} \quad (\text{Ec. 1})$$

en la que ΔE_{00} y $\Delta E_{00}(\text{Modificada})$ son, para da par, la diferencia de color total y la diferencia de color cuando se anula una de las correcciones de CIEDE2000, respectivamente. Como puede observarse en la Tabla I, todos los pares tienen casi la misma diferencia de color CIEDE2000, pero sus diferencias de color CIELAB son bastante diferentes (hecho que, por supuesto, era desconocido por los observadores que realizaron los experimentos visuales). De nuestros análisis se concluye lo siguiente:

- 1) Los pares 1,2 y 3, todos ellos acromáticos pero con muy distinta claridad (Fig. 1) están diseñados para mostrar la importancia de la corrección S_L de CIEDE2000.
- 2) El par 4, de muy alta cromaticidad (Fig. 1), ilustra la importancia de la corrección S_C de CIEDE2000. Sin esta corrección la diferencia de color CIEDE2000 de este par cambiaría en un factor 2.
- 3) Los pares 5 y 6 tienen claridad y croma muy similares, pero ángulos de tono medios de 285° y 245° , respectivamente (Fig. 1). Precisamente en esos ángulos de tono están el mínimo y el máximo de la función T, respectivamente. La función T es la responsable de la corrección S_H de CIEDE2000 [6].
- 4) Los pares 7 y 8 están en la zona de los azules, donde la corrección R_T de CIEDE2000 es importante. Los pares 7 y 8 están en la dirección de los semiejes mayor y menor de una típica elipse experimental (no radial) en esa zona, lo que hace que presenten diferencias de color CIELAB muy distintas, siendo perceptivamente (y con CIEDE2000) muy similares.
- 5) Los pares 9 y 10 son bastante acromáticos, pero están orientados vertical y horizontalmente en $a^*_{10}b^*_{10}$, respectivamente. Las elipses experimentales de discriminación en la zona neutra (y las predichas por CIEDE2000) tienen su semieje mayor en dirección vertical, por lo que ambos pares tienen diferente tamaño en CIELAB, pero no en CIEDE2000.

2. Resultados del experimento visual.

La Figura 2 muestra los valores de STRESS obtenidos para CIELAB y CIEDE2000 respecto a los resultados experimentales de las fases 1 y 2 de nuestro experimento visual. Los valores de STRESS porcentual están siempre en el rango 0-100; un valor 0 indica un acuerdo perfecto (en este caso, entre diferencias calculadas y percibidas) y un valor 100 indicaría un acuerdo pésimo. Las diferencias visuales son para cada par el promedio de 2 medidas por observador. Podemos ver que los resultados de las fases 1 y 2 son muy similares, a pesar del distinto grado de experiencia de los observadores involucrados. Las predicciones de los resultados visuales realizadas por CIEDE2000 son considerablemente mejores que las realizadas por CIELAB (i.e. menor STRESS). Sin embargo, ambas predicciones no son significativamente distintas al 95% [3], lo que sin duda es consecuencia del bajo número de pares de muestras empleadas en nuestro experimento: 9 en PC, y 10 en GS1 y GS2.

La Figura 3 muestra los resultados de la variabilidad intra e inter-observador para la fase 2 de nuestro experimento visual. La variabilidad intra-observador se mide mediante el índice STRESS, calculado ahora a partir de las 2 réplicas del experimento (o si se hicieron 3 réplicas, de la 2ª y la 3ª), para cada observador. La variabilidad inter-observador, se calcula también mediante

el índice STRESS, considerando el promedio total de los 31 observadores y el valor medio de las 2 réplicas de cada observador. Los valores de STRESS indicados en la Figura 3 son el promedio de 31 pares, correspondientes a los 31 observadores involucrados en el experimento. No hay valores atípicos o *outliers* que excluir. Puede observarse que la variabilidad inter-observador es muy similar a la mostrada por CIEDE2000 en la Figura 2, lo que permite concluir a favor de la validez de uso de CIEDE2000.

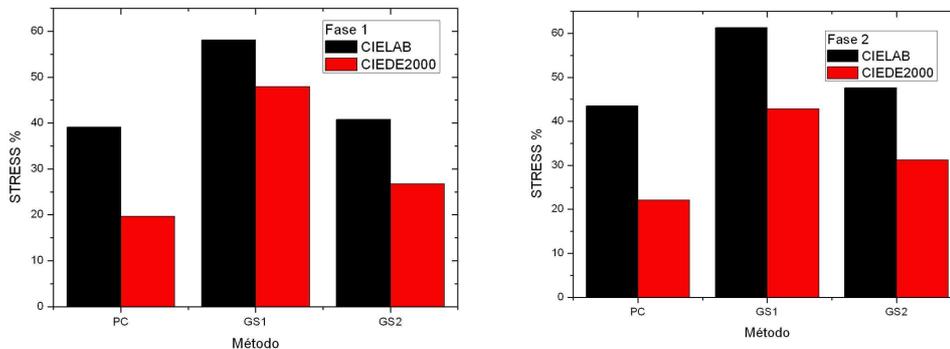


Figura 2. Valores de STRESS% considerando diferencias visuales (métodos PC, GS1 y GS2) respecto a diferencias calculadas (fórmulas CIELAB y CIEDE2000), en las 2 fases de nuestro experimento.

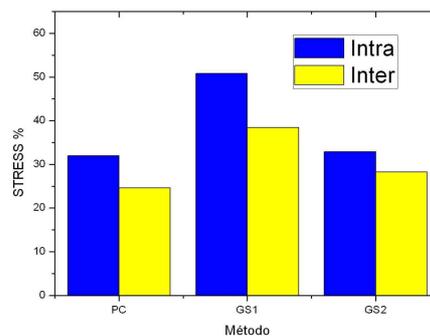


Figura 3. Valores de STRESS% para la variabilidad intra e inter-observador (métodos PC, GS1 y GS2) en la fase 2 de nuestro experimento.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Dave H. Alman (DuPont Automotive Products, Troy MI, USA). A los observadores que participaron voluntariamente en este experimento. Ministerio de Educación y Ciencia, Proyecto FIS2007-64266, cofinanciado con fondos FEDER (UE).

REFERENCIAS

- [1] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), *Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation*, Publication CIE 142-2001 (CIE; Vienna, 2001).
- [2] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), *Colorimetry*, Publication CIE 15:2004 (CIE; Vienna, 2004).
- [3] P.A. García, R. Huertas, M. Melgosa, G. Cui: "Measurement of the relationship between perceived and computed color differences", *Journal of the Optical Society of America A* 24, 1823-1829 (2007).
- [4] E. Muñoz-Ibáñez, *Determination of which color-difference formula should be used in the automotive industry*, Extended Essay for the International Baccalaureate Diploma. Madrid, Mayo 2009.
- [5] R. Roa, R. Huertas, M.A. López-Álvarez, L. Gómez-Robledo, M. Melgosa: "Comparación entre iluminantes y Fuentes simuladoras", *Óptica Pura y Aplicada* 41, 291-300 (2008).
- [6] M.R. Luo, G. Cui, B. Rigg: "The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000", *Color Research and Application* 26, 340-350 (2001).