

## PROBLEMAS DE CIENCIA DEL COLOR: 1º CUATR. CURSO 10-11

## Hoja 2: Colorimetría diferencial, Atlas de colores y Medida del color

- 1) Dados los factores de reflexión espectral  $\rho(\lambda)$  de 12 objetos tabulados en la plantilla Excel "CMFs\_XYZ", y teniendo en cuenta también la plantilla Excel "CIE\_LabCh", calcula sus valores triestímulo XYZ y valores cromáticos  $L^*a^*b^*_{ab}$  correspondientes bajo los iluminantes A y C. Compara los datos cromáticos obtenidos de los 12 objetos bajo cada iluminante y justifícalos.

**Solución: Son 12 colores metámeros bajo iluminante C, pero no bajo el iluminante A.**

- 2) Una empresa textil se dedica a tinter principalmente fibras de algodón. Están preocupados porqué no saben cómo establecer las tolerancias de claridad  $T_{\Delta L^*}$ , de croma  $T_{\Delta C^*}$  y de tono  $T_{\Delta H^*}$  para predecir mejor la decisión visual de uno de sus clientes. Con la base de datos de la igualación de la tonalidad "beige", calcula todas las tolerancias de color que piden teniendo en cuenta que debes utilizar la fórmula mejorada de diferencia de color  $\Delta E_{94}$ . Una vez hallada las tolerancias parciales de color, utilízalas para representar gráficamente en sistemas cartesianos  $\Delta b^*$  vs.  $\Delta a^*$  y  $\Delta L^*$  vs.  $\Delta C^*$  la región de tolerancia y las muestras de la tabla. Averigua si la siguiente muestra  $[X, Y, Z] = [35, 33, 18]$  será aceptada o rechazada.

Estándar: $X = 33.89$ , $Y = 31.29$ , $Z = 17.16$ ; Iluminante D65 : $X_w = 95.04$ , $Y_w = 100$ , $Z_w = 108.89$									
Nº	X	Y	Z	Decisión visual	Nº	X	Y	Z	Decisión Visual
1	30.41	28.15	16.14	PASA	17	35.05	32.39	16.26	PASA
2	35.73	32.28	18.20	PASA	18	31.45	29.69	16.04	PASA
3	29.42	26.86	15.94	NO PASA	19	34.38	31.46	16.32	PASA
4	33.38	29.26	15.94	NO PASA	20	29.45	28.28	18.71	NO PASA
5	27.03	27.21	16.01	NO PASA	21	32.62	28.91	14.96	NO PASA
6	35.74	32.20	18.61	PASA	22	35.59	32.95	16.91	PASA
7	31.62	29.44	15.17	NO PASA	23	28.81	27.43	18.59	NO PASA
8	29.79	28.60	14.98	NO PASA	24	32.23	28.65	18.41	NO PASA
9	35.53	31.88	15.22	NO PASA	25	30.88	28.51	15.09	PASA
10	35.50	32.96	18.43	PASA	26	34.84	30.98	15.17	NO PASA
11	38.18	35.40	18.71	NO PASA	27	33.76	29.56	15.13	NO PASA
12	33.54	30.30	18.75	PASA	28	32.01	30.48	16.10	PASA
13	34.92	31.20	15.80	PASA	29	36.15	33.73	16.60	NO PASA
14	30.72	28.64	18.44	NO PASA	30	33.65	29.55	18.19	NO PASA
15	35.68	32.26	16.30	PASA	31	30.15	28.95	16.39	NO PASA
16	36.40	33.26	16.12	PASA	32	37.54	34.59	16.53	NO PASA

- 3) Analiza las desviaciones de color  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta H^*$  de las parejas siguientes de colores, y acepta o rechaza la igualación considerando  $T_{\Delta L^*} = 3$ ,  $T_{\Delta C^*} = 8$ ,  $T_{\Delta H^*} = 5$ :

	PAREJA 1		PAREJA 2		PAREJA 3	
	Muestra	std = ref	Muestra	Std = ref	muestra	std = ref
L*	65.1	65.1	48.1	50.2	70.3	73.2
a*	22.2	15.7	10.4	15.1	-36.2	-30.6
b*	-19.8	-26.0	20.8	30.2	-10.4	-11.5

**Solución:** pareja 1: NO PASA porque  $|\Delta H^*| > T_{\Delta H}$ ; pareja 2: NO PASA porque  $|\Delta C^*| > T_{\Delta C}$ ; pareja 3: PASA.

- 4) Obtén la tolerancia total de color  $\Delta E$  a partir de los datos cromáticos siguientes:

Muestra	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	Decisión visual
1	-2.73	-0.80	-2.53	PASA
2	0.82	2.78	-0.73	PASA
3	-3.91	0.52	-4.12	NO PASA
4	-1.74	5.73	-0.37	NO PASA
5	-3.58	-10.31	-3.70	NO PASA
6	0.76	3.06	-1.65	PASA
7	-1.58	-1.29	1.62	NO PASA
8	-2.32	-4.92	0.78	NO PASA
9	0.49	3.52	5.07	NO PASA
10	1.38	-0.43	-0.23	PASA

Muestra	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	Decisión visual
11	3.31	0.09	2.55	NO PASA
12	-0.84	2.41	-4.68	PASA
13	-0.07	3.87	-2.82	PASA
14	-2.29	-1.56	-6.57	NO PASA
15	0.81	2.63	3.23	PASA
16	1.62	1.58	5.02	PASA
17	0.91	0.09	3.48	PASA
18	-1.36	-2.87	0.05	PASA
19	0.14	1.10	2.03	PASA
20	-2.61	-4.98	-7.66	NO PASA

**Solución:**  $T(\Delta E) = 4.40$ .

- 5) En 1984 el comité de medida del color (CMC) de la Sociedad Británica de Coloristas (*Society of Dyers and Colourists*) propuso un nuevo algoritmo de diferencias de color basado en el espacio CIE- $L^*a^*b^*$ , denominado CMC( $l:c$ ), que ha logrado ser un estándar para calcular diferencias pequeñas de color de productos textiles en Gran Bretaña y Estados Unidos.

$$\Delta E_{\text{CMC}(l:c)} = \left[ \left( \frac{\Delta L^*}{S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C_{ab}^*}{cS_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_{ab}^*}{S_H} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ donde}$$

$$S_L = \begin{cases} \frac{0.04097L^*}{1+0.01765L^*} & , \text{ si } L^* \geq 16 \\ 0.511 & , \text{ si } L^* < 16 \end{cases}$$

$$S_C = \frac{0.0638C_{ab}^*}{1+0.0131C_{ab}^*} + 0.638$$

$$S_H = S_C(TF + 1 - F)$$

$$F = \left[ \frac{(C_{ab}^*)^4}{(C_{ab}^*)^4 + 1900} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$T = \begin{cases} 0.38 + |0.4 \cos(h_{ab}^* + 35)| & , \text{ si } h_{ab}^* \notin [164, 345] \text{ deg} \\ 0.56 + |0.2 \cos(h_{ab}^* + 168)| & , \text{ si } h_{ab}^* \in [164, 345] \text{ deg} \end{cases}$$

Calcula a partir de los siguientes datos cromáticos las diferencias de color en CMC(2:1) de las siguientes pares de colores estándar-muestra: (iluminante D65:  $x_w = 0.3127$ ,  $y_w = 0.3290$ ,  $Y_w = 100$ )

	PAR 1		PAR 2		PAR 3		PAR 4		PAR 5	
	std	m	std	m	Std	m	std	m	std	m
X	0.314	0.324	0.484	0.484	0.388	0.388	0.248	0.238	0.219	0.229
Y	0.331	0.331	0.342	0.352	0.428	0.428	0.362	0.352	0.216	0.226
Y	30	30	14.1	14.1	69.3	59.3	24.0	24.0	8.8	18.8

**Solución:**

	PAR 1	PAR 2	PAR 3	PAR 4	PAR 5
<b>S<sub>L</sub></b>	<b>1.21</b>	<b>1.02</b>	<b>1.15</b>	<b>1.15</b>	<b>0.90</b>
<b>S<sub>L</sub></b>	<b>0.85</b>	<b>2.34</b>	<b>2.16</b>	<b>2.16</b>	<b>1.97</b>
<b>S<sub>L</sub></b>	<b>0.79</b>	<b>1.23</b>	<b>1.64</b>	<b>1.64</b>	<b>1.19</b>
<b>F</b>	<b>0.26</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>
<b>T</b>	<b>0.76</b>	<b>0.53</b>	<b>0.68</b>	<b>0.76</b>	<b>0.61</b>
<b>ΔE<sub>CMC(2:1)</sub></b>	<b>4.35</b>	<b>2.92</b>	<b>2.08</b>	<b>2.07</b>	<b>3.61</b>

- 6) Un objeto se mide bajo los iluminantes A y F2 obteniéndose  $(X,Y,Z) = (38.68, 47.10, 4.89)$ , con  $(X_w, Y_w, Z_w) = (109.69, 100, 35.55)$  para A, y  $(X,Y,Z) = (36.22, 47.76, 6.13)$  y  $(X_w, Y_w, Z_w) = (98.80, 100, 55.78)$  para F2. Como estamos interesados en averiguar el *grado de inconstancia del color* de la muestra, o sea, comparar la apariencia global de color del objeto bajo A respecto F2, debemos calcular la pareja de *colores correspondientes* bajo el iluminante D65, y, a partir de aquí, calcular la diferencia  $\Delta E_{94}$  con  $k_L = k_C = 2$  entre ellos. La transformación  $XYZ \rightarrow LMS$  es:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad XYZ \text{ relativos a la unidad}$$

Conociendo los valores triestímulo del iluminante D65:  $X = 94.94$ ,  $Y = 100$ ,  $Z = 108.71$ , los colores correspondientes en el espacio CIE-XYZ se calculan del modo siguiente:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.98699 & -0.14705 & 0.15996 \\ 0.43231 & 0.51836 & 0.04929 \\ -0.00853 & 0.04004 & 0.96849 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_c Y_{D65} \\ M_c Y_{D65} \\ S_c Y_{D65} \end{bmatrix}$$

$$\text{donde } L_c = \frac{L_{D65}}{L_{A,F2}} L \quad ; \quad M_c = \frac{M_{D65}}{M_{A,F2}} M \quad ; \quad S_c = \frac{S_{D65}}{(S_{A,F2})^p} |S|^p \quad \text{con } p = \left( \frac{S_{A,F2}}{S_{D65}} \right)^{0.0834}$$

Por tanto, los valores directos CIE-L\*a\*b\* de la muestra bajo los dos iluminantes (A, F2) no sirven, sin que debes comparar la apariencia de color en CIE-L\*a\*b\* utilizando los datos cromáticos de los colores correspondientes bajo el iluminante D65.

**Solución:**

	Objeto bajo A	Objeto bajo F2	Blanco bajo A	Blanco bajo F2	Blanco bajo D65
<b>L</b>	<b>0.44590</b>	<b>0.44154</b>	<b>1.19086</b>	<b>1.06073</b>	<b>0.94075</b>
<b>M</b>	<b>0.53368</b>	<b>0.54889</b>	<b>0.90365</b>	<b>0.99277</b>	<b>1.04116</b>
<b>S</b>	<b>0.03235</b>	<b>0.04449</b>	<b>0.34019</b>	<b>0.54424</b>	<b>1.08771</b>

<b>X<sub>c</sub> (D65)</b>	<b>27.08</b>	<b>31.58</b>			
<b>Y<sub>c</sub> (D65)</b>	<b>47.52</b>	<b>47.17</b>			
<b>Z<sub>c</sub> (D65)</b>	<b>10.39</b>	<b>11.88</b>			
<b>L*</b>	<b>74.52</b>	<b>74.30</b>	<b>ΔL*</b>	<b>0.22</b>	
<b>a*</b>	<b>-61.03</b>	<b>-42.76</b>	<b>Δa*</b>	<b>-18.27</b>	
<b>b*</b>	<b>64.63</b>	<b>60.06</b>	<b>Δb*</b>	<b>4.57</b>	
<b>C<sub>ab</sub>*</b>	<b>88.89</b>	<b>73.72</b>	<b>ΔC*</b>	<b>15.16</b>	<b>ΔE<sub>ab</sub> = 18.83</b>
<b>h<sub>ab</sub>* (deg)</b>	<b>133</b>	<b>125</b>	<b>ΔH*</b>	<b>7.91</b>	<b>ΔE<sub>94</sub> = 5.59</b>

- 7) El índice especial de metamerismo  $M_t$  es un parámetro colorimétrico que cuantifica la diferencia de color que se percibe entre dos muestras metámeras cuando se cambia el iluminante de referencia. Es habitual utilizar como iluminante de referencia el D65 y calcular  $M_t$  para iluminantes  $t = A, F2, F7, F11$  como simplemente la diferencia  $\Delta E_{94}$  en el espacio CIE-L\*a\*b\*. Con los datos espectrales necesarios de la hoja anterior de problemas, representa gráficamente las reflectancias espectrales de los siguientes tres colores metámeros bajo D65 y rellena la tabla siguiente:

OBJETO		D65	A	F2	F7	F11
0	x <sub>0</sub>	0.4689	0.5676	0.5077	0.4749	0.5448
	y <sub>0</sub>	0.3645	0.3850	0.4083	0.3752	0.3805
	Y <sub>0</sub>	33.00	40.21	37.79	33.76	36.56
1	x <sub>1</sub>	0.4689	0.5663	0.5123	0.4775	0.5547

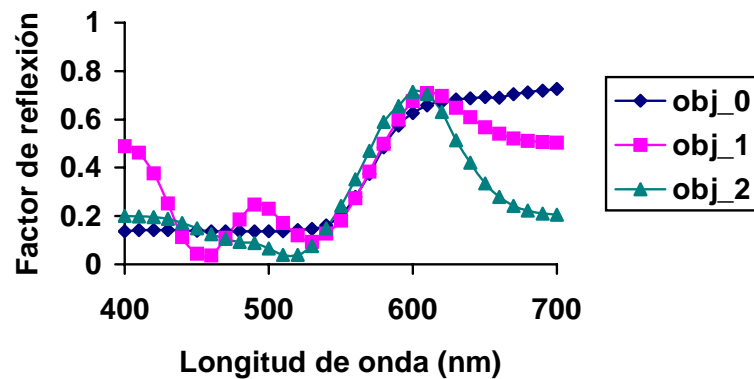
	$y_1$	0.3645	0.3862	0.4088	0.3778	0.3776
	$Y_1$	33.00	40.10	38.38	33.89	36.82
2	$x_2$	0.4689	0.5569	0.5077	0.4757	0.5436
	$y_2$	0.3645	0.3973	0.4137	0.3772	0.3838
	$Y_2$	33.00	40.22	41.37	34.52	38.68

$M_t$	$\Delta E(1,0)$	0.0	0.32	0.44	0.61	0.66
	$\Delta E(2,0)$	0.0	3.62	2.04	0.58	9.94

$\lambda$ (nm)	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550
$\rho_0(\lambda)$	0.136	0.143	0.143	0.141	0.139	0.139	0.137	0.137	0.137	0.136	0.136	0.138	0.142	0.147	0.161	0.203
$\rho_1(\lambda)$	0.489	0.462	0.377	0.253	0.113	0.043	0.037	0.109	0.186	0.246	0.229	0.172	0.121	0.092	0.126	0.182
$\rho_2(\lambda)$	0.200	0.199	0.195	0.188	0.172	0.150	0.124	0.106	0.094	0.089	0.067	0.040	0.040	0.075	0.148	0.242

$\lambda$ (nm)	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700
$\rho_0(\lambda)$	0.278	0.375	0.485	0.574	0.626	0.657	0.672	0.682	0.688	0.693	0.689	0.704	0.711	0.719	0.726
$\rho_1(\lambda)$	0.275	0.385	0.500	0.600	0.676	0.709	0.696	0.649	0.609	0.567	0.540	0.522	0.511	0.505	0.503
$\rho_2(\lambda)$	0.352	0.469	0.590	0.655	0.714	0.704	0.632	0.513	0.421	0.335	0.279	0.243	0.222	0.210	0.205

### Reflectancias espectrales



8) Calcula y representa gráficamente las diferencias de color  $\Delta E$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta H^*$  en CIE-L\*a\*b\* de los muestras de color siguientes. Considera el iluminante C:  $(x_w, y_w, Y_w) = (0.3101, 0.3162, 100)$  y que la muestra marcada con un asterisco (\*) es la de referencia.

GRUPO 1		
	Munsell H V/C	(x,y,Y)
1*	5 RP 7/10	0.3713
		0.2798
		43.06
2	5 RP 7/12	0.3841
		0.2710
		43.06

GRUPO 2		
	Munsell H V/C	(x,y,Y)
5*	5 BG 7/10	0.2163
		0.3661
		43.06
6	5 BG 7/12	0.1997
		0.3379
		43.06

3	5 RP 6/10	0.3769
		0.2738
		30.05
4	2.5 RP 7/12	0.3555
		0.2545
		43.06

7	5 BG 6/10	0.2037
		0.3329
		30.05
8	2.5 BG 7/12	0.2102
		0.3636
		43.06

9) Averigua el código Pantone de los colores que forman el logotipo de la Universidad de Alicante. Pásalos a notaciones CMYK, HTML, L\*a\*b\* y Munsell.

10) La empresa “Opticull” comercializa internacionalmente lentes coloreadas utilizando el código Munsell para etiquetarlas y catalogarlas. Calcula y representa gráficamente las diferencias de color  $\Delta E_{94}$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta H^*$  en CIE-L\*a\*b\* de las lentes coloreadas siguientes. Para ello considera el iluminante C:  $(x_w, y_w, Y_w) = (0.3101, 0.3162, 100)$  y que la lente marcada con un asterisco (\*) es la de referencia.

	Munsell H V/C	X	y	Y (%)
1*	7.5 YR 3/8	0.5390	0.4306	6.56
2	7.5 YR 3/4	0.4378	0.3865	6.56
3	10.0 YR 4/10	0.5250	0.4573	12.00

11) Calcula y representa gráficamente las diferencias de color  $\Delta E$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta H^*$  en CIE-L\*a\*b\* de los muestras de color siguientes. Considera el iluminante C:  $(x_w, y_w, Y_w) = (0.3101, 0.3162, 100)$  y que la muestra marcada con un asterisco (\*) es la de referencia.

GRUPO 1		
	NCS sc $\phi$	(x,y,Y)
1*	5050 G30Y	0.3225
		0.4467
		9.60
2	3070 G30Y	0.3286
		0.5030
		16.70
3	3050 G30Y	0.3247
		0.4365
		25.06
4	5050 G50Y	0.3668
		0.4517
		12.26

GRUPO 2		
	NCS sc $\phi$	(x,y,Y)
5*	5050 Y30R	0.4628
		0.4012
		12.63
6	3070 Y30R	0.4968
		0.4164
		21.64
7	3050 Y30R	0.4510
		0.4016
		28.39
8	5050 Y50R	0.4749
		0.3800
		10.58

12) Dada la muestra de color en notación NCS 3852 R60B. Calcula los parámetros cromáticos  $w$ ,  $y$ ,  $g$ ,  $r$ ,  $b$  de la propia muestra.

13) Dados los parámetros cromáticos NCS de la siguiente muestra de color:  $s = 30$ ,  $w = 40$ ,  $y = 18$ ,  $g = 12$ ,  $r = 0$ ,  $b = 0$ , encuentra la notación  $sc \phi$  de la muestra.

14) A partir de la matriz triangular del factor de radiancia  $\beta(\lambda, \mu)$  de una muestra fluorescente, se pide:

$\lambda \setminus \mu$	300 nm	320 nm	340 nm	360 nm	380 nm	400 nm	420 nm	440 nm	460 nm	480 nm	500 nm
300 nm	0.20										
320 nm	0.00	0.25									
340 nm	0.00	0.00	0.30								
360 nm	0.02	0.05	0.05	0.35							
380 nm	0.05	0.10	0.10	0.00	0.40						
400 nm	0.10	0.15	0.15	0.05	0.05	0.35					
420 nm	0.15	0.20	0.20	0.10	0.10	0.05	0.25				
440 nm	0.10	0.15	0.15	0.15	0.15	0.10	0.10	0.25			
460 nm	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.25		
480 nm	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.20	
500 nm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20

$\lambda = \mu$	520 nm	540 nm	560 nm	580 nm	600 nm	620 nm	640 nm	660 nm	680 nm	700 nm
$\beta(\lambda, \mu)$	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80

- Representa gráficamente los factores de radiancia  $\beta_T$  (total) y  $\beta_S$  (convencional). Recuerda que  $\mu =$  incidencia y  $\lambda =$  emisión o reflexión.
- Supón que tienes delante de ti dos objetos A y B. El objeto A está caracterizado espectralmente por el factor de radiancia  $\beta_T(\lambda)$  que has hallado anteriormente, y, el objeto B se caracteriza espectralmente por un factor de reflexión  $\rho(\lambda)$  que coincide con el factor de radiancia convencional  $\beta_S(\lambda)$  anterior. Calcula, pues, la diferencia de color que observas en el espacio CIE- $L^*a^*b^*$  con la fórmula  $\Delta E_{94}$  tomando como estándar el objeto B y como iluminante el D65.

15) A partir de la plantilla Excel proporcionada en la que se listan los factores de reflexión espectral para varias geometrías de medida de 2 muestras (A: metalizada; B: perlada), se pide:

- Representa gráficamente para cada muestra los factores de reflexión  $\rho$  (%) para cada geometría.
- Representa para cada muestra en el espacio CIE- $L^*a^*b^*$  las apariencias de color para todas las geometrías de medida.
- Calcula y representa las diferencias parciales y total de color  $\Delta E_{ab}$  de la muestra A (metalizada) bajo iluminante D65 tal como se percibe en cada geometría de medida con respecto a la geometría  $45^\circ/90^\circ$ .
- Haz lo mismo con la muestra B (perlada).

**Problemas para clase: 1, 2, 9, 10, 12, 14 y 15**

**Problemas a entregar: 1**