

Hoja 3: Colorimetría industrial y tecnología del color

- 1) Calcula y representa gráficamente, aplicando la ley de Bouguer-Beer, la absorptividad espectral $\alpha(\lambda)$ de un tinte y la transmitancia espectral $\tau(\lambda)$ del sustrato (un material para lentes de contacto), conocidas las transmitancias espectrales $\tau(\lambda)$ de dos lentes de contacto, previamente medidas con un espectrofotómetro, para dos valores de concentración efectiva o escalares $ec_1 = 2\%$ y $ec_2 = 10\%$. (Ten en cuenta la corrección de la interfase aire-materia tomando $n = 1.49$ para CR-39.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
τ_1	0.781	0.788	0.796	0.803	0.810	0.777	0.750	0.708	0.699	0.757	0.820	0.868	0.881	0.885	0.889	0.893
τ_2	0.760	0.760	0.760	0.760	0.759	0.589	0.473	0.339	0.305	0.435	0.622	0.791	0.818	0.838	0.857	0.877

- 2) Calcula y representa gráficamente, aplicando la ley de Kubelka-Munk de una constante, la característica espectral $(k/s)(\lambda)$ de un tinte y la reflectancia $\rho(\lambda)$ del sustrato (algodón previamente preparado), conocidas las reflectancias espectrales $\rho(\lambda)$ de dos fibras textiles, previamente medidas con un espectrofotómetro, para dos concentraciones $c_1 = 2\%$ y $c_2 = 10\%$. (Ten en cuenta la corrección de Saunderson tomando $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.5$ para las interfases aire-materia y materia-aire.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
ρ_1	0.729	0.734	0.739	0.743	0.745	0.637	0.580	0.520	0.505	0.562	0.653	0.769	0.791	0.814	0.841	0.878
ρ_2	0.665	0.652	0.640	0.627	0.616	0.429	0.357	0.294	0.279	0.333	0.433	0.589	0.620	0.656	0.703	0.772

- 3) Teniendo en cuenta las 2 plantillas Excel (BB_receta y KM_receta), y tal como se ha acordado en prácticas, deberéis demostrar lo siguiente en un documento Word a entregar por Campus Virtual (que puede incluir partes manuscritas escaneadas, figuras, etc):
- 1- Diferencias y semejanzas entre las soluciones (3 concentraciones) de la formulación (igualación, copia) del estándar cuando se trata:
 - o 1a) solución completa;
 - o 1b) solución parcial resolviendo 3 ecuaciones con 3 incógnitas.
 - 2- Comparar numérica y gráficamente a nivel espectral y en CIELAB las 2 soluciones (en cada caso, B-B y K-M, que parten del mismo color-estándar espectral) con respecto el estándar.
 - 3- Responder a las siguientes preguntas:
 - o 3a) ¿cuáles son los porcentajes de variación de las concentraciones alternativas con respecto a las exactas en cada igualación-modelo?;
 - o 3b) ¿Qué receta alternativa-modelo (B-B o K-M) genera más diferencias con respecto a su receta exacta? ¿Serían tolerables a nivel industrial?;
 - o 3c) ¿Por qué? ¿Va a depender del espectro-color del estándar a igualar?;
 - o 3d) Pon un ejemplo de la base de datos de principios de curso para validar tu argumentación anterior.

- 4) Con los datos espectrales siguientes referentes a dos tintes y el sustrato (lente sin colorear), calcula los valores triestímulo CIE-XYZ y los valores CIE-L*a*b*C*h* de la lente coloreada resultante bajo el iluminante D65 si las concentraciones efectivas o escalares son $ec_1 = 20\%$ y $ec_2 = 40\%$, donde 1: tinte cian, y, 2: tinte amarillo. (Ten en cuenta la corrección de la interfase aire-materia tomando $n = 1.49$ para CR-39.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
α_1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	0.60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00
α_2	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	2.00	1.00	0.60	0.30	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
τ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 5) Con los datos espectrales siguientes referentes a los tres tintes básicos (1: cian, 2: magenta, 3: amarillo) y al sustrato (lente sin colorear), calcula la receta de color necesaria para igualar colorimétricamente una lente coloreada de referencia, tal que su transmitancia espectral es la que se adjunta y que su codificación CIE-XYZ bajo el iluminante A es $(X, Y, Z) = (6.62, 5.92, 1.90)$. Una vez obtenida las tres concentraciones efectivas ec_1 , ec_2 y ec_3 , representa las transmitancias espectrales de la referencia del cliente y la copia estimada, y, calcula la diferencia de color ΔE_{94} entre la copia y el estándar bajo el iluminante A. (Ten en cuenta la corrección de la interfase aire-materia tomando $n = 1.49$ para CR-39.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
τ_{std}	0.050	0.051	0.052	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062	0.063	0.064	0.065
α_1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	0.60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00
α_2	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	1.50	2.50	4.00	4.50	3.00	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
α_3	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	2.00	1.00	0.60	0.30	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
τ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 6) Con los datos espectrales siguientes referentes a dos tintes y el sustrato (algodón previamente preparado), calcula los valores triestímulo CIE-XYZ y los valores CIE-L*a*b*C*h* de la fibra textil coloreada resultante bajo el iluminante D65 si las concentraciones son $c_1 = 20\%$ y $c_2 = 40\%$, donde 1: tinte cian, y, 2: tinte amarillo. (Ten en cuenta la corrección de Saunderson tomando $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.5$ para las interfases aire-materia y materia-aire.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
k/s_1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	0.60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00
k/s_2	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	2.00	1.00	0.60	0.30	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ρ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 7) Con los datos espectrales siguientes referentes a los tres tintes básicos (1: cian, 2: magenta, 3: amarillo) y al sustrato (algodón previamente tratado), calcula con el enfoque espectral la receta de color necesaria para igualar colorimétricamente una fibra textil coloreada de referencia, tal que su reflectancia espectral es la que se adjunta y que su codificación CIE-XYZ bajo el iluminante D65 es $(X,Y,Z) = (58.53, 56.59, 41.17)$. Una vez obtenida las tres concentraciones c_1, c_2 y c_3 , representa las reflectancias espectrales de la referencia del cliente y la copia estimada, y, calcula la diferencia de color ΔE_{94} entre la copia y el estándar bajo el iluminante D65. (Ten en cuenta la corrección de Saunderson tomando $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.5$ para las interfases aire-materia y materia-aire.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
ρ_{std}	0.264	0.359	0.367	0.376	0.397	0.443	0.469	0.483	0.553	0.680	0.729	0.747	0.748	0.748	0.747	0.746
k/s_1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	0.60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00
k/s_2	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	1.50	2.50	4.00	4.50	3.00	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
k/s_3	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	2.00	1.00	0.60	0.30	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
ρ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 8) La solución general para resolver la reflectancia ρ_{int} y la transmitancia τ_{int} internas de un material translúcido sobre un sustrato ρ_{sust} es compleja y depende de varios factores:

$$\rho_{int} = \frac{\alpha \cdot \rho_{sust} + \beta \cdot \rho_{\infty}}{\alpha + \beta} \rightarrow \rho_m = K_1 + \frac{(1-K_1) \cdot (1-K_2) \cdot \rho_{int}}{1-K_2 \cdot \rho_{int}} \rightarrow CIE - XYZ$$

$$\tau_{int} = \left(1 - \rho_{\infty}^2\right) \frac{e^{-Z}}{1 - \rho_{\infty}^2 \cdot e^{-2Z}}, \quad \rho_{\infty} = \left(1 + \frac{K}{S}\right) - \sqrt{\left(1 + \frac{K}{S}\right)^2 - 1}$$

$$\text{con } \alpha = \frac{1 - \rho_{\infty}^2}{1 - \rho_{sust} \cdot \rho_{\infty}}, \quad \beta = e^{2Z} - 1, \quad Z = D \cdot \sqrt{K \cdot (K + 2S)}$$

donde ρ_{∞} es la función Kubelka-Munk, D es el espesor de la capa, K y S los coeficientes de absorción y difusión, respectivamente, y $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.5$ los coeficientes de Fresnel de reflexión en la interfase aire-materia y materia-aire.

Con los datos espectrales siguientes referidos a los coeficientes de absorción K y difusión S y a la reflectancia del sustrato ρ_{sust} , calcula la reflectancia ρ_{int} y la transmitancia τ_{int} internas, el color resultante CIE-XYZ bajo el iluminante E para un material translúcido de grosor $D = 1$ mm.

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
K	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	3.50	2.50	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05
S	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50
ρ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 9) Un método posible para averiguar los coeficientes de absorción K y difusión S de un material translúcido es obtener medidas espectrales del material sobre un sustrato negro y un sustrato blanco. Si ρ_{BK} es la reflectancia del material sobre fondo negro, de reflectancia $\rho_{sust,BK}$, y, ρ_W es la reflectancia del material sobre fondo blanco, de reflectancia $\rho_{sust,W}$, calcula siguiendo las ecuaciones y datos espectrales siguientes los coeficientes de absorción K y S del material translúcido con un grosor $D = 1$ mm:

$$1 + \frac{K}{S} = \frac{(1 + \rho_{BK} \cdot \rho_W)(\rho_{sust,W} - \rho_{sust,BK}) - (1 + \rho_{sust,BK} \cdot \rho_{sust,W})(\rho_W - \rho_{BK})}{2(\rho_{BK} \cdot \rho_{sust,W} - \rho_{sust,BK} \cdot \rho_W)}$$

$$\rho_\infty = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\left(1 + \frac{K}{S}\right)^2 - 1}$$

$$\beta = \left(\frac{\rho_{sust,BK} - \rho_{BK}}{\rho_{BK} - \rho_\infty}\right) \left(\frac{1 - \rho_\infty^2}{1 - \rho_{sust,BK} \cdot \rho_\infty}\right) = \left(\frac{\rho_{sust,W} - \rho_W}{\rho_W - \rho_\infty}\right) \left(\frac{1 - \rho_\infty^2}{1 - \rho_{sust,W} \cdot \rho_\infty}\right)$$

$$Z = \frac{1}{2} \ln(\beta + 1) \quad , \quad K = \frac{Z}{D} \left(\frac{1 - \rho_\infty}{1 + \rho_\infty}\right) \quad , \quad S = \frac{Z}{D} \left(\frac{2\rho_\infty}{1 - \rho_\infty^2}\right)$$

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
ρ_{BK}	0.184	0.236	0.270	0.268	0.234	0.188	0.145	0.107	0.080	0.064	0.056	0.055	0.059	0.072	0.095	0.120
ρ_W	0.202	0.269	0.318	0.315	0.269	0.210	0.157	0.114	0.085	0.067	0.059	0.058	0.062	0.076	0.102	0.130
$\rho_{sust,BK}$	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005
$\rho_{sust,W}$	0.963	0.968	0.974	0.981	0.985	0.987	0.991	0.990	0.991	0.992	0.994	0.992	0.990	0.989	0.988	0.991

- 10) El método de obtención de los coeficiente de absorción K y S para materiales opacos (pinturas) sobre un sustrato (blanco TiO_2) es bastante más sencillo que en el problema anterior. Conocida la expresión siguiente de mezcla de dos pigmentos (pinturas), uno que aporta color y otro como base (sustrato),

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{mix} = \frac{k_A c_A + k_{sust} c_{sust}}{s_A c_A + s_{sust} c_{sust}} = \frac{K_A + K_{sust}}{S_A + S_{sust}} \quad , \quad A: \text{pigmento}$$

es costumbre referir los datos espectrales del pigmento respecto el coeficiente de difusión S_{sust} del sustrato, de forma que nos quedarían las expresiones siguientes:

$$\frac{K_A}{S_{sust}} = \left(\frac{K}{S}\right)_A \frac{\left(\frac{K}{S}\right)_{mix} - \left(\frac{K}{S}\right)_{sust}}{\left(\frac{K}{S}\right)_A - \left(\frac{K}{S}\right)_{mix}} \quad , \quad \frac{S_A}{S_{sust}} = \frac{\left(\frac{K}{S}\right)_{mix} - \left(\frac{K}{S}\right)_{sust}}{\left(\frac{K}{S}\right)_A - \left(\frac{K}{S}\right)_{mix}}$$

Conocida, pues, la función K-M entre K/S y la reflectancia interna ρ_{int} , calcula, suponiendo que ya se ha aplicado convenientemente la corrección de Saunderson, los coeficientes relativos de absorción y difusión para los datos espectrales siguientes:

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
ρ_A	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150	0.200	0.400	0.450	0.450	0.450	0.400	0.300	0.200	0.100	0.050
ρ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970
ρ_{mix}	0.200	0.220	0.240	0.260	0.280	0.300	0.400	0.600	0.650	0.650	0.650	0.600	0.500	0.400	0.300	0.250

11) Dados los datos espectrales siguientes referentes de tres pigmentos (1: cian, 2: magenta, 3: amarillo) con una base (blanco TiO₂), calcula, para las concentraciones $c_1 = 10 \%$, $c_2 = 13 \%$, $c_3 = 2 \%$ y $c_{\text{sust}} = 75 \%$, el color resultante en el espacio CIE-L*a*b* bajo el iluminante D65. (Ten en cuenta la corrección de Saunderson tomando $K_1 = 0.04$ y $K_2 = 0.5$.)

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
k_1/s_{sust}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.08	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.63	0.63
k_2/s_{sust}	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.19	0.31	0.50	0.56	0.38	0.19	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01
k_3/s_{sust}	0.88	0.88	0.75	0.63	0.50	0.25	0.13	0.08	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
s_1/s_{sust}	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.05
s_2/s_{sust}	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.10	0.09	0.06	0.05	0.08	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
s_3/s_{sust}	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
ρ_{sust}	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97

12) El poder de recubrimiento (*hiding power*) es la cualidad de una capa de un color-mezcla de cubrir satisfactoriamente dos sustratos, uno blanco y otro negro, sin ninguna diferencia de color. Por tanto, a menor diferencia de color, mayor poder de recubrimiento. Con los datos espectrales y las ecuaciones del problema nº 7, aplica dos veces estas ecuaciones para dos sustratos tal que $\rho_{\text{sust,W}} = 0.98$ y $\rho_{\text{sust,BK}} = 0.01 \forall \lambda$, y, calcula entonces la diferencia de color ΔE_{ab} entre la capa bajo blanco y bajo negro bajo el iluminante D65.

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
K	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	3.50	2.50	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05
S	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50

13) El poder de tinción (*tinging strength*) de un colorante es la capacidad de colorear, a través de sus propiedades absorbentes, a otras sustancias, y se define como:

$$D_I = \sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \left(\frac{k}{s} \right)_{\lambda, \text{tinte}} [\bar{x}_\lambda + \bar{y}_\lambda + \bar{z}_\lambda]$$

Compara, pues, el poder de tinción de los colorantes siguientes:

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
k/s_1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.15	0.30	0.60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	5.00
k/s_2	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	1.50	2.50	4.00	4.50	3.00	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
k/s_3	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	2.00	1.00	0.60	0.30	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

14) Una aplicación directa del poder de tinción es la comparación entre dos lotes diferentes del mismo colorante, tanto en sus propiedades de coloración como en su coste. Supongamos que el colorante viejo (de referencia) se usa con una concentración c_{std} para una receta en concreto con un coste V . Con los datos espectrales siguientes averigua si el nuevo lote de colorante (test), con un valor inferior (50 %) que el anterior, puede sustituirse con la misma concentración $c_{\text{test}} = c_{\text{std}}$ sin coste alguno en las mismas recetas que participa el colorante de referencia.

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
ρ_{test}	0.729	0.730	0.739	0.743	0.750	0.670	0.590	0.520	0.485	0.520	0.653	0.769	0.791	0.814	0.841	0.878
ρ_{std}	0.665	0.652	0.640	0.627	0.616	0.429	0.357	0.294	0.279	0.333	0.433	0.589	0.620	0.656	0.703	0.772
ρ_{sust}	0.850	0.860	0.870	0.880	0.890	0.900	0.910	0.920	0.930	0.940	0.950	0.960	0.970	0.970	0.970	0.970

- 15) El poder de transparencia (*transparency number*) de una tinta es la inversa de la pendiente de la recta que relaciona la diferencia de color ΔE_{ab} de una capa de tinta respecto un fondo negro, tal que $\rho_{\text{sust,BK}} = 0.01 \forall \lambda$. Con los datos espectrales siguientes referidos a los coeficientes de absorción K y difusión S de la tinta, calcula, siguiendo las ecuaciones del problema nº 7, las reflectancias internas ρ_{int} y los colores resultantes CIE-XYZ bajo el iluminante E para dos grosores, $D_1 = 0.03$ mm y $D_2 = 0.15$ mm, para obtener así el poder de transparencia de esta tinta.

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
K	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	3.50	2.50	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05
S	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50

- 16) El poder de coloración (*coloring power*) de una tinta es la pendiente de la recta que relaciona la diferencia de color ΔE_{ab} de una capa de tinta respecto un fondo blanco, tal que $\rho_{\text{sust,W}} = 0.80 \forall \lambda$. Con los datos espectrales siguientes referidos a los coeficientes de absorción K y difusión S de la tinta, calcula, siguiendo las ecuaciones del problema nº 7, la reflectancias internas ρ_{int} y los colores resultantes CIE-XYZ bajo el iluminante E para dos grosores, $D_1 = 0.03$ mm y $D_2 = 0.15$ mm, para obtener así el poder de coloración de esta tinta.

λ	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
K	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	3.50	2.50	1.50	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05
S	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50

- 17) El índice de blancura CIE se define como $WI = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$, siendo x_n, y_n las cromaticidades del iluminante D65, y, (x, y, Y) los valores colorimétricos del objeto blanco a medir. Por otra parte, el grado de matiz del blanco se mide a través de la fórmula $T_W = 1000(x_n - x) - 650(y_n - y)$, con matiz verdoso si $T_W > 0$ y matiz rojizo si $T_W < 0$. Calcula, pues, como ejemplo el índice de blancura y el grado de matiz de una muestra blanca tal que $x = 0.332$, $y = 0.323$, $Y = 98$ bajo D65.

- 18) El índice de amarilleamiento CIE se expresa como $YI = 100(1.28X - 1.06Z)/Y$, siendo (X, Y, Z) los valores triestímulo bajo D65 de la muestra a medir. Calcula, como ejemplo, el grado de amarilleamiento de la muestra blanca del problema anterior. (Ten en cuenta que si $YI < 0$, indicará que la muestra posee un matiz azulado.)

- 19) El índice de coloración CI del zumo concentrado de cítricos depende de dos grados de rojidez (RI) y amarillez (YI):

$$CI = 22.51 + 0.1651 \cdot RI + 0.111 \cdot YI$$

$$RI = 200 \frac{1.2777Y - 0.213Z}{y - 1}, \quad YI = 100 \frac{1 - 0.847Z}{Y}$$

A partir de estas expresiones, calcula y compara los índices de color para dos zumos tal que tenemos los siguientes datos colorimétricos bajo el iluminante C: $(x_1, y_1, Y_1) = (0.5025, 0.4338, 59.10)$, $(x_2, y_2, Y_2) = (0.5088, 0.4145, 59.10)$.

20) El índice de blancura WI para la harina viene dado por una ecuación empírica en función de los valores triestímulo Y y Z : $WI = 3(1.129Z - Y)$. Calcula, por tanto, los índices de blancura para dos partidas diferentes de harina tal que $(X, Y, Z)_1 = (93, 95, 95)$ y $(X, Y, Z)_2 = (93, 94, 97)$ bajo D65.

21) El índice de color del tomate TC viene dado por la fórmula siguiente: $TC = \frac{216}{\sqrt{Y}} - \frac{30(Y - Z)}{(X - Y)\sqrt{Y}}$.

Compara dos zumos de tomate tal que, bajo el iluminante C, sus especificaciones triestímulo son $(x_1, y_1, Y_1) = (0.5560, 0.3420, 30.05)$, $(x_2, y_2, Y_2) = (0.6037, 0.3657, 19.77)$.

22) Eres la responsable de la construcción de un museo y, al cabo de cierto tiempo, antes de finalizar las obras, te das cuenta que os habéis quedado sin gres para cubrir completamente la antesala del edificio, por la que deben pasar todos los visitantes. El gres que buscas desesperadamente se comercializa en todo el mundo con el nombre de “Crema Tebas”. Contactas con el distribuidor original del gres y éste te comenta que no dispone en “stock” de este material hasta dentro de 3 meses, y tú estás obligada a entregar el edificio dentro de 1 mes (!). Por tanto, no tienes otra solución que buscar otros fabricantes-distribuidores que comercialicen el mismo color aparente. Has encontrado tres posibles candidatos con productos con propiedades físico-químicas similares excepto que no te fías del color que muestra el catálogo en Internet. Para ello, solicitas un lote de prueba de 10 losas de cada fabricante con el que compararás el color promedio de cada uno con el color de referencia del fabricante original del “Crema Tebas”. Los datos medidos con un espectrofotómetro son los siguientes para el iluminante D65 ($x_w = 0.3127$, $y_w = 0.3290$, $Y_w = 100$):

COLOR	Cod. Munsell	X	Y	Z	Precio (€m ²)
“Crema Tebas” (std)	2.5 YR 8/6	65.98	59.10	41.54	100
“Crema Tebas” 1	5.0 YR 7/10	53.38	43.06	17.84	150
“Crema Tebas” 2	2.5 YR 8/8	68.99	59.10	33.29	200
“Crema Tebas” 3	5.0 YR 8/6	64.34	59.10	37.90	175

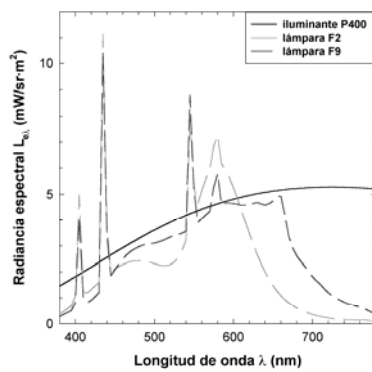
Suponiendo que el ojo humano medio de los visitantes del museo tolera más diferencias de croma, pero no tanto de claridad y tono, de cuál fabricante (1, 2 ó 3) comprarías el lote que te falta para entregar el edificio si consideras las tolerancias de color siguientes: $T(\Delta L^*) = 10$, $T(\Delta C^*) = 15$ y $T(\Delta H^*) = 6$.

23) Eres la responsable de la construcción de un museo y, al cabo de cierto tiempo, antes de finalizar las obras, te das cuenta que os habéis quedado sin gres para cubrir completamente la antesala del edificio, por la que deben pasar todos los visitantes. El gres que buscas desesperadamente se comercializa en todo el mundo con el nombre de “Crema Tebas”. Contactas con el distribuidor original del gres y éste

te comenta que no dispone en “stock” de este material hasta dentro de 3 meses, y tú estás obligada a entregar el edificio. Siguiendo con la construcción del museo, te comenta el futuro director artístico que, dada la naturaleza estilística de ciertas obras emblemáticas de exposición permanente, éstas deben ser iluminadas con lámparas tal que su rendimiento en color sea superior a $R_a > 80$, con iluminante de referencia P40 (radiador absoluto tipo Planck 4000 K). Por tanto, te ves de nuevo en la tesitura de comprobar si los fabricantes de lámparas (fluorescentes o de descarga) poseen algún producto que cumpla este requisito colorimétrico. Has encontrado esta vez lámparas fluorescentes, tipo F2 y F9, cuyos espectros se muestran en la figura adjunta tal como aparecen en los catálogos de los fabricantes. Como bien sabes, el índice general de rendimiento en color R_a se obtiene a partir del promedio de 8 índices especiales R_i , asociados a la diferencia de apariencia de color de 8 colores con notación Munsell según se observen bajo la lámpara-test (F2 y F9) o la lámpara de referencia (P40):

$$R_i = 100 - 12(\Delta E_{94})_i \quad \text{para } i = 1, \dots, 8 \Rightarrow R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$

Si los datos colorimétricos de que dispones son los de la tabla adjunta, ¿cuál es la lámpara que necesita el museo para esas obras de arte emblemáticas?



Nº	P40 (ref.)			F2 (test)			F9 (test)		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1	62.2	18.6	13.4	62.2	13.6	13.0	62.2	17.4	13.0
2	60.4	5.6	29.7	60.4	2.5	32.2	60.4	4.5	30.7
3	61.5	-11.3	43.8	61.5	-12.1	48.5	61.5	-12.5	46.0
4	60.2	-27.7	15.7	60.2	-22.0	18.9	60.2	-26.5	17.6
5	61.7	-19.5	-9.7	61.7	-13.4	-9.8	61.7	-17.8	-9.6
6	61.1	-9.1	-28.9	61.1	-3.4	-32.5	61.1	-6.9	-30.5
7	61.3	12.8	-23.9	61.3	11.7	-28.6	61.3	13.3	-26.1
8	63.2	23.1	-12.0	63.2	17.0	-17.4	63.2	22.3	-14.2

24) El espacio de color estándar en Internet es el sRGB, cuya transformación de color al espacio CIE-XYZ bajo iluminante D65 es la siguiente:

$$\begin{bmatrix} R_{sRGB} \\ G_{sRGB} \\ B_{sRGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} ND_R &= 255 \left(1.055 R_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055 \right) \\ ND_G &= 255 \left(1.055 G_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055 \right) \\ ND_B &= 255 \left(1.055 B_{sRGB}^{1/2.4} - 0.055 \right) \end{aligned}$$

Se pide:

- Los niveles digitales ND_{RGB} de un color especificado inicialmente como como $X = 43$, $Y = 75$, $Z = 23$, teniendo en cuenta que $x_{D65} = 0.3127$ y $y_{D65} = 0.3290$. Proporciona también su código HTML.
- El triángulo de primarios RGB en el diagrama cromático CIE-xy del espacio sRGB.
- Los valores triestímulo XYZ y valores $L^*a^*b^*C_{ab}^*h_{ab}^*$ de un color especificado inicialmente en formato digital como $ND_R = 197$, $ND_G = 88$ y $ND_B = 100$.

25) El espacio estándar de color en la compresión y transmisión de imágenes digitales es el sYCC, cuya transformación al espacio de color sRGB es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{señal acromática} \quad Y_{8bit} &= 255 Y'_{sYCC} \\ \text{señal cromática 1} \quad Cr_{8bit} &= 255 Cr'_{sYCC} + 128 \\ \text{señal cromática 2} \quad Cb_{8bit} &= 255 Cb'_{sYCC} + 128 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} Y'_{sYCC} \\ Cr'_{sYCC} \\ Cb'_{sYCC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2990 & 0.5870 & 0.1140 \\ 0.5000 & -0.4187 & -0.0813 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5000 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} NDR_R \\ NDR_G \\ NDR_B \end{bmatrix}$$

$$NDR_k = \frac{ND_k}{255} \quad k = R, G, B \quad \text{nivel digital relativo sRGB}$$

Se pide:

- Los niveles digitales sYCC de un color especificado inicialmente en formato digital como $ND_R = 197$, $ND_G = 88$ y $ND_B = 100$.
- Los valores triestímulo XYZ y valores $L^*a^*b^*C_{ab}^*h_{ab}^*$ bajo iluminante D65 de un color especificado inicialmente en formato digital como $Y_{8bit} = 130$, $Cr_{8bit} = 127$ y $Cb_{8bit} = 149$.
- La posición en el diagrama cromático CIE-xy de los primarios sYCC.

26) Hemos calibrado colorimétricamente un escáner. Para ello hemos usado una carta de colores como conjunto de entrenamiento y, utilizando un espectrofotómetro, hemos relacionado los niveles digitales RGB y valores $L^*a^*b^*$ de los colores de la carta mediante el siguiente polinomio de segundo orden:

$$R = 0.02268 + 0.15651L^* + 0.09200a^* + 0.02246b^* + 0.01003L^*a^* + 0.00358L^*b^* + 0.00004a^*b^* + 0.07733(L^*)^2 + 0.00115(a^*)^2 - 0.00099(b^*)^2$$

$$G = 0.02524 + 0.15702L^* - 0.02136a^* - 0.00559b^* - 0.00413L^*a^* - 0.00015L^*b^* + 0.00001a^*b^* + 0.00737(L^*)^2 - 0.00049(a^*)^2 + 0.00006(b^*)^2$$

$$B = 0.01564 + 0.15440L^* + 0.00996a^* - 0.09200b^* + 0.00002L^*a^* - 0.01077L^*b^* + 0.00004a^*b^* + 0.00742(L^*)^2 - 0.00001(a^*)^2 + 0.00321(b^*)^2$$

- Calcula los niveles digitales RGB a 8 bits y el código HTML de un color caracterizado por $L^* = 70$, $a^* = +15$, $b^* = -30$.
- Calcula la diferencia de color ΔE_{94} y las desviaciones relativas de color que han aparecido al comparar el color anterior con su simulación en pantalla sRGB: $L^* = 72$, $a^* = +16$, $b^* = -27$.

Problemas para clase: 1, 4-7, 22-24

Problemas a entregar: 3