

Nombre:

NIF:

Apellidos:

RESOLUCIÓN

Duración : 3 horas

Las 6 cuestiones teóricas valen 1 pto. cada una. Los 2 problemas valen 2 ptos. cada uno. NO SOBREPASES NUNCA EL ESPACIO DEJADO PARA CADA CUESTIÓN, SEA TEÓRICA O UN PROBLEMA.

TEORÍA

1. Relaciona los procesos/objetos siguientes con las causas correspondientes de color:

PROCESO/OBJETO	CAUSA
Flash fotográfico	Impurezas metálicas 0'25
LED, fósforos de pantalla TV	Interferencias 0'25
Rubi, esmeralda	Incandescencia 0'25
Pompas de jabón, mancha de aceite	Semiconductores dopados 0'25

2. Define pureza colorimétrica y pureza de excitación. Utiliza la ley del centro de gravedad para justificar la relación entre las dos purezas.

PUREZA COLORIMÉTRICA  $P_c = \frac{F(\lambda_d)}{F(W) + F(\lambda_d)}$  0'2 CONCEPTO COLORIMÉTRICO (NO GRÁFICO)



regla del centro de gravedad

de gravedad: el color mezcla (C) está en la línea recta que une los colores componentes (W y lambda\_d) 0'1

$\Rightarrow P_c \propto P_e$ , en concreto:  $P_c = \frac{\sum_{i=1}^3 F_w(P_i) t_i(\lambda_d)}{\sum_{i=1}^3 F_w(P_i) t_i(C)} P_e$  0'1

PUREZA DE EXCITACIÓN (ESPECTRAL)  $P_e = \frac{\overline{CW}}{\lambda_d W}$  0'2 CONCEPTO GRÁFICO

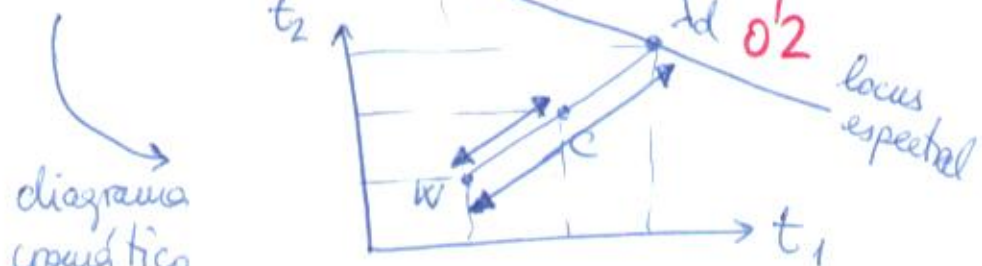
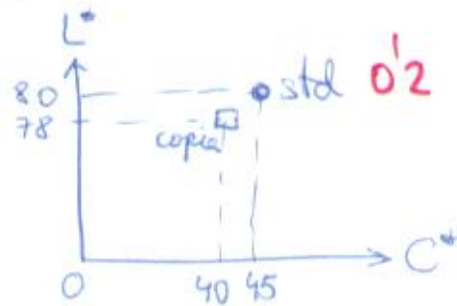
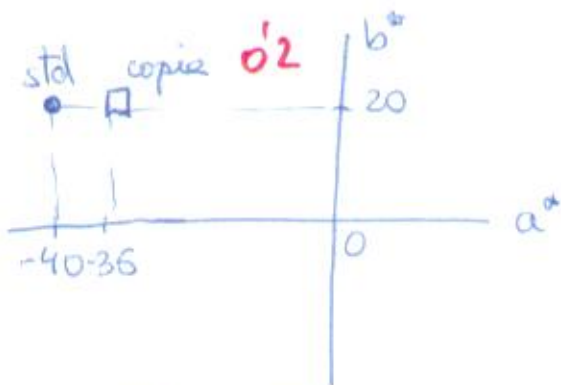


diagrama cromático

3. Analiza gráficamente las desviaciones de claridad, rojo-verde, amarillo-azul, croma y tono del par siguiente de colores:  $(L^*, a^*, b^*)_{std} = (80, -40, 20)$  y  $(L^*, a^*, b^*)_{copia} = (78, -35, 20)$ . Si tenemos en cuenta las tolerancias de color siguientes:  $T(\Delta L) = 1.5$ ,  $T(\Delta C) = 4$ ,  $T(\Delta H) = 1$ ; indica si la copia pasará o no el test de igualación.

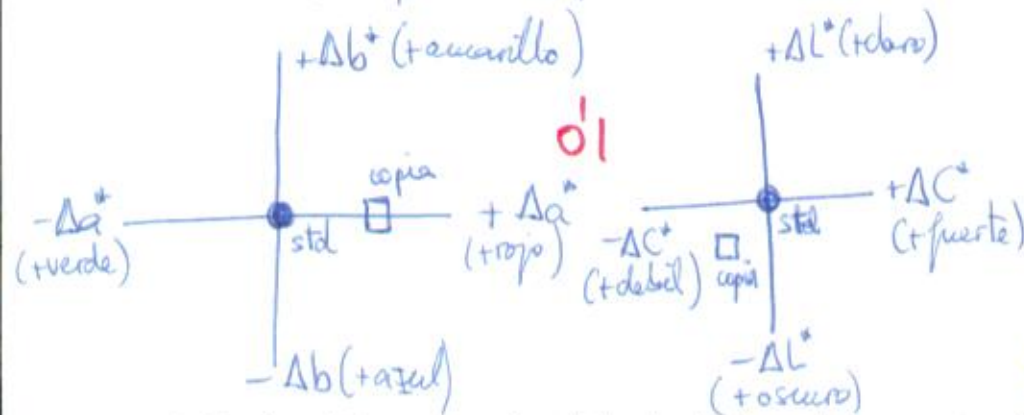


$$C_{std}^* = \sqrt{(a_{std}^*)^2 + (b_{std}^*)^2} = 44.72 \quad 0'2$$

$$h_{std}^* = \arctg\left(\frac{b_{std}^*}{a_{std}^*}\right) = 153.4 \text{ deg}$$

$$C_{copia}^* = \sqrt{(a_{copia}^*)^2 + (b_{copia}^*)^2} = 40.31$$

$$h_{copia}^* = \arctg\left(\frac{b_{copia}^*}{a_{copia}^*}\right) = 150.25 \text{ deg}$$



$$\Delta L^* = -2 \rightarrow |\Delta L^*| > T(\Delta L^*) \quad 0'1$$

NO PASA

$$\Delta C^* = -4.41 \rightarrow |\Delta C^*| > T(\Delta C^*) \quad 0'1$$

NO PASA

$$\Delta H^* = -2.33 \rightarrow |\Delta H^*| > T(\Delta H^*) \quad 0'1$$

NO PASA

4. Explica de forma aproximada las desviaciones de las muestras Munsell siguientes:

H V/C	$\Delta L$	$\Delta C$	$\Delta H$
5PB 7/8 (= std)	<del>&lt; 0 0'15</del>	<del>&lt; 0 0'15</del>	<del>&lt; 0 0'15</del>
2.5 PB 6/8	< 0 0'15	0 0'15	< 0 0'15
5 PB 7/2	0 0'15	< 0 0'15	0 0'15

→ + oscura  
= colorido  
+ azulada

→ = claro  
= tono  
+ debil

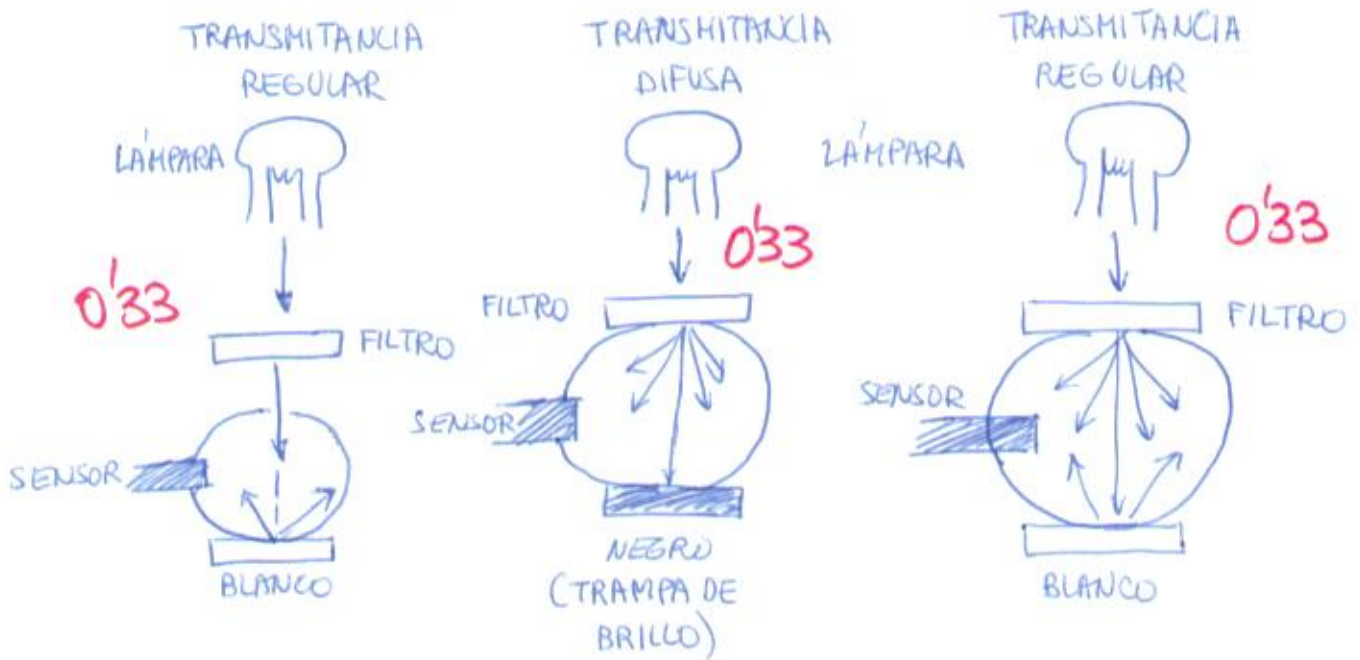
Notación Munsell: H V/C → croma (C)

0'1

↓ tono (H)

↓ claridad (value) (L)

5. ¿Cómo se coloca un filtro o una lente coloreada respecto a la apertura de la esfera integradora de un espectrofotómetro para medir las transmitancias espectrales regular, difusa y total?



ESFERA INTEGRADORA: RECUBIERTA DE BLANCO

6. Explica cómo se controla la reproducción correspondiente de color en las cámaras al cambio de cromaticidad de la iluminación y en la proyección de una película en la sala del cine.

CAMBIO DE LA CROMATICIDAD DE LA ILUMINACIÓN  $\rightarrow$  BALANCE DE BLANCO:  
 SE REASIGNA EL CÓDIGO  $ND_R = ND_B = ND_B \equiv \text{MAX}$  AL NUEVO BLANCO DE LA ESCENA. Ejemplo: INTERIOR (ilum. A)  $\rightarrow$  EXTERIOR (ilum. D65)  
 luz amarillenta  $0'25$  luz azulada  
 ES UNA ADAPTACIÓN CROMÁTICA "FALSA".

CUANDO SE PROYECTA UNA "PELI" LA SALA ESTÁ A OSURAS  $\Rightarrow$  **COLORIDO**  
 $\Rightarrow$  EFECTO DE REDUCCIÓN DEL CONTRASTE DE LUMINANCIAS ( $1/8$ )  
 PARA EVITAR ESTO, SE MANIPULA LA PELICULA TAL QUE  $0'25$

$$Y_{\text{MANIPULADA}} = (Y_{\text{ORIGINAL}})^{\gamma} ; \gamma: \text{gamma } (\approx 1.5, \text{CINE})$$

$$\Rightarrow Y_{\text{PROYECTADA}} = (Y_{\text{MANIPULADA}})^{1/\gamma} = Y_{\text{ORIGINAL}} = Y_{\text{ORIGINAL}}$$

Labels in the diagram: **PELÍCULA** (under  $Y_{\text{MANIPULADA}}$ ), **LO QUE VES** (under  $Y_{\text{PROYECTADA}}$ ), **PELÍCULA** (under  $Y_{\text{MANIPULADA}}$  in the second equation),  $0'25$  (under  $1/\gamma$ ).

## PROBLEMAS

1. Pretendemos usar un monitor CRT calibrado coloriméricamente para simular el test duocrom (Rojo-Verde) en el gabinete optométrico. Las transformaciones de color entre los espacios RGB y CIE-XYZ son las siguientes:

$$\mathbf{M}_{XYZ \rightarrow RGB} = 10^{-3} \begin{bmatrix} 23.9729 & -10.7216 & -3.6312 \\ -8.4231 & 15.8159 & 0.2020 \\ 0.6956 & -2.5143 & 9.9432 \end{bmatrix} ; \quad \mathbf{M}^{-1} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} = \begin{bmatrix} 55.44 & 40.67 & 19.42 \\ 29.48 & 84.65 & 9.046 \\ 3.576 & 18.56 & 101.50 \end{bmatrix}$$

Las funciones empíricas (gamma) que relacionan el nivel digital relativo  $NDR_k$  ( $k = R, G, B$ ) y los valores coloriméricos RGB son las siguientes:

$$R = NDR_R^{2.5274} ; \quad G = NDR_G^{2.6279} ; \quad B = NDR_B^{2.8293} ; \quad NDR_k = \frac{ND_k}{255}$$

La normativa internacional vigente especifica que la cromaticidad CIE-xy y la luminancia del Rojo y del Verde del test duocrom deben ser:  $(x,y,Y)_{ROJO} = (0.60, 0.33, 20 \text{ cd/m}^2)$ ,  $(x,y,Y)_{VERDE} = (0.29, 0.55, 20 \text{ cd/m}^2)$ . Se pide:

- Representa en un diagrama cromático CIE (x,y) las posiciones de los primarios RGB.
- Obtén los niveles digitales ND (entre 0 y 255) necesarios del Rojo y Verde del test duocrom para que se visualicen correctamente en pantalla.

a) **Primario Rojo:**

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 55'44 \\ 29'48 \\ 3'576 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} x &= \frac{X}{X+Y+Z} = 0'6265 \equiv x_R \\ y &= \frac{Y}{X+Y+Z} = 0'3331 \equiv y_R \end{aligned}$$

**Primario Verde:**

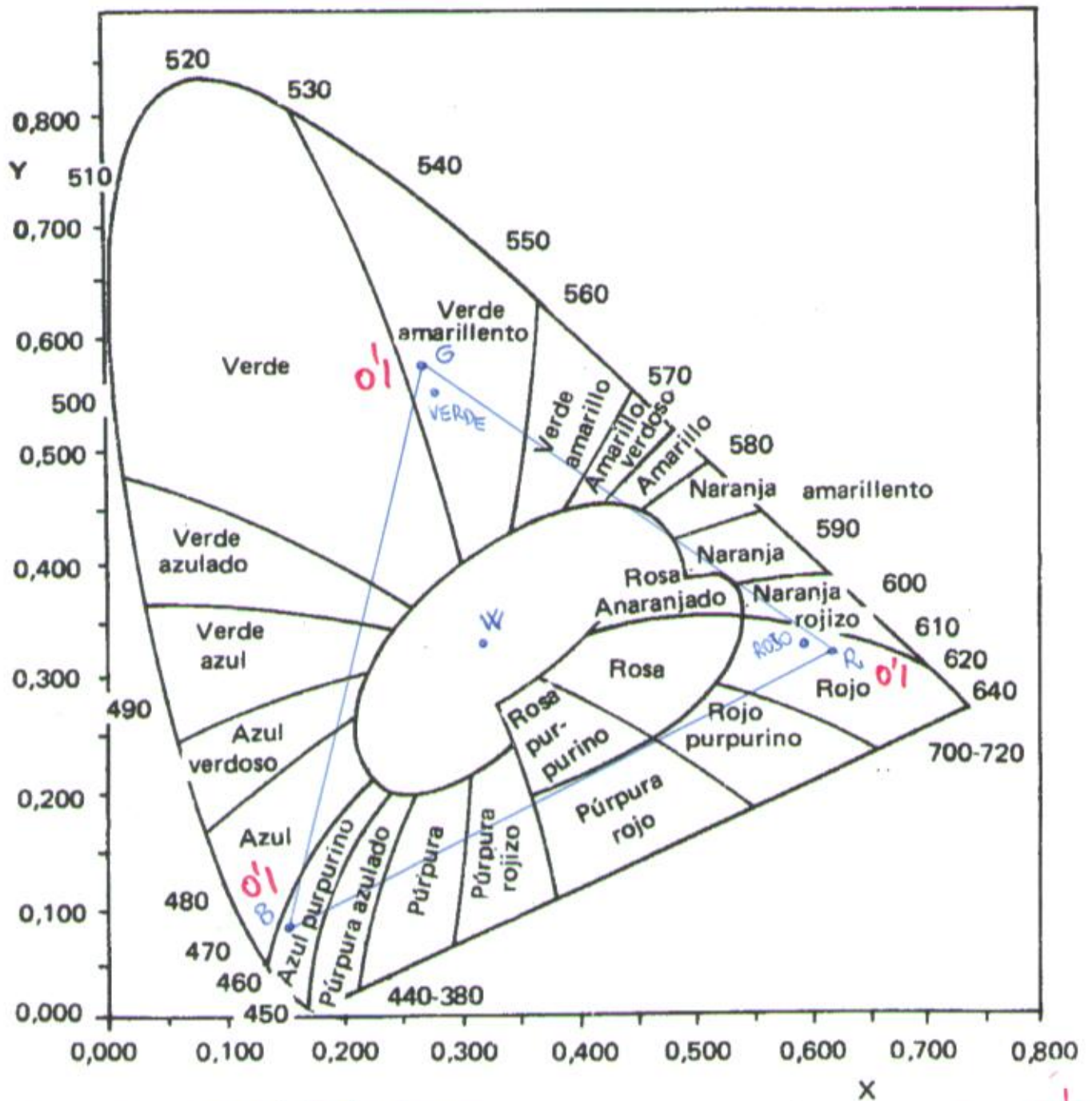
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40'67 \\ 84'65 \\ 18'56 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} x &= 0'2827 \equiv x_G \\ y &= 0'5883 \equiv y_G \end{aligned}$$

**Primario Azul:**

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 19'42 \\ 9'046 \\ 101'50 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} x &= 0'1494 \equiv x_B \\ y &= 0'0696 \equiv y_B \end{aligned}$$

**Blanco W:**

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \mathbf{M}_{RGB \rightarrow XYZ} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 115'53 \\ 123'176 \\ 122'527 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{aligned} x_W &= 0'3188 \\ y_W &= 0'3399 \end{aligned}$$



b) Reproducción del test duocrom:

$$(x, y, Y)_{\text{ROJO}} = (0'60, 0'33, 20 \text{ cd/m}^2) \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} X(R) \\ Y(R) \\ Z(R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 36'36 \\ 20 \\ 4'24 \end{bmatrix} \text{ cd/m}^2 \quad \text{o'l}$$

$$X = \frac{x}{y} Y$$

$$Z = \frac{1-x-y}{y} Y$$

diagrama cromático o'l

$$(x, y, Y)_{\text{VERDE}} = (0'29, 0'55, 20 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}) \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} X(G) \\ Y(G) \\ Z(G) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10'55 \\ 20 \\ 5'82 \end{bmatrix} \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \quad \text{o'l}$$

b) Transformación inversa a la del apartado a)

Valores colorimétricos del test duocrom:

$$\begin{bmatrix} R(\text{ROJO}) \\ G(\text{ROJO}) \\ B(\text{ROJO}) \end{bmatrix} = M_{XYZ} \rightarrow RGB \begin{bmatrix} 36'36 \\ 20 \\ 4'24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'6418 \\ 0'0109 \\ 0'01717 \end{bmatrix} \quad 0'1 \quad (\text{ROJO})$$

→ Aplicando las funciones "gamma" inversas:

$$ND_R(\text{ROJO}) = 255 \left[ R(\text{ROJO}) \right]^{1/2'5274} = 214 \quad (\text{valor entero}) \quad 0'1$$

$$ND_G(\text{ROJO}) = 255 \left[ G(\text{ROJO}) \right]^{1/2'6279} = 46 \quad 0'1$$

$$ND_B(\text{ROJO}) = 255 \left[ B(\text{ROJO}) \right]^{1/2'8293} = 61 \quad 0'1$$

$$\begin{bmatrix} R(\text{VERDE}) \\ G(\text{VERDE}) \\ B(\text{VERDE}) \end{bmatrix} = M_{XYZ} \rightarrow RGB \begin{bmatrix} 10'55 \\ 20 \\ 5'82 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0'0173 \\ 0'2286 \\ 0'0149 \end{bmatrix} \quad 0'1 \quad (\text{VERDE})$$

$$\rightarrow ND_R(\text{VERDE}) = 255 \left[ R(\text{VERDE}) \right]^{1/2'5274} = 51 \quad 0'1$$

$$ND_G(\text{VERDE}) = 255 \left[ G(\text{VERDE}) \right]^{1/2'6279} = 145 \quad 0'1$$

$$ND_B(\text{VERDE}) = 255 \left[ B(\text{VERDE}) \right]^{1/2'8293} = 58 \quad 0'1$$

El test duocrom es reproducible en este monitor porque sus cromaticidades (x,y) quedan dentro del triángulo de reproducción, es decir, que los niveles digitales ND son todos positivos.

2. Aplicando la ley de Bouguer-Beer, calcula y representa gráficamente 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 y corregidas de la interfase aire-materia, para dos valores de concentración efectiva o escalares  $ec_1 = 2\%$  y  $ec_2 = 10\%$ .

$\lambda$ (nm)	400	500	600	700
$\tau_1$	0.616	0.821	0.946	0.968
$\tau_2$	0.170	0.568	0.928	0.959

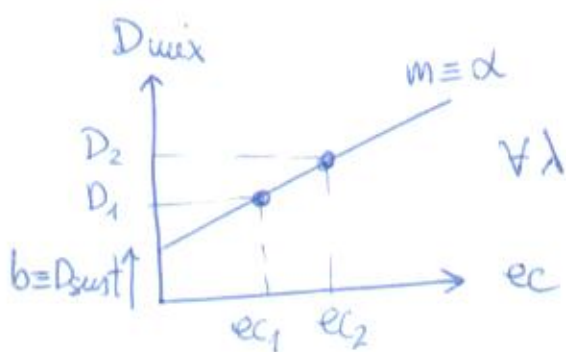
¿Cuál es el tono principal del tinte?

ley de Bouguer-Beer:  $D_{mix}(\lambda) = \alpha(\lambda) \cdot (ec) + D_{sust}(\lambda)$

$D(\lambda) = -\log \tau(\lambda)$  0'25

ecuación de una recta  $y = mx + b$   $\forall \lambda$  0'25

$\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   $\downarrow$   
 $D_{mix}$   $\alpha$   $(ec)$   $D_{sust}$



**PLANTEAMIENTO:**

Ecuación general de la recta (interpolación lineal con 2 pts):

$(ec_1, D_1), (ec_2, D_2)$

0'25  $m = \frac{D_2 - D_1}{ec_2 - ec_1} \equiv \alpha$

$D_{mix} = \frac{D_2 - D_1}{ec_2 - ec_1} (ec - ec_1) + D_1$

0'25  $b = -m(ec_1) + D_1 \equiv D_{sust}$

Como tengo 4  $\lambda$ 's  $\Rightarrow$  debe hacerse 4 veces:

$\lambda = 400 \text{ nm}$ :

$$\alpha(400) = \frac{D_2(400) - D_1(400)}{ec_2 - ec_1} = \frac{-\log \tau_2(400) + \log \tau_1(400)}{ec_2 - ec_1} =$$

$= \frac{0'7095 - 0'2104}{0'10 - 0'02} = 7 \text{ } 0'1$  ;  $D_{sust}(400) = -7 \cdot 0'02 + 0'2104 = 0'0704$  0'1

$\Rightarrow \tau_{mix}(400) = 10^{-D_{sust}} = 0'85$

$$\lambda = 500 \text{ nm}$$

$$\alpha(500) = \frac{D_2(500) - D_1(500)}{ec_2 - ec_1} = \frac{0'2456 - 0'0857}{0'10 - 0'02} = 2 \text{ 0'1}$$

$$D_{\text{sust}}(500) = -2 \cdot 0'02 + 0'0857 = 0'0457 \Rightarrow \tau_{\text{sust}}(500) = 0'90 \text{ 0'1}$$

$$\lambda = 600 \text{ nm}$$

$$\alpha(600) = \frac{D_2(600) - D_1(600)}{ec_2 - ec_1} = \frac{0'0325 - 0'0241}{0'10 - 0'02} = 0'105 \text{ 0'1}$$

$$D_{\text{sust}}(600) = -0'105 \cdot 0'02 + 0'0241 = 0'022 \Rightarrow \tau_{\text{sust}}(600) = 0'95 \text{ 0'1}$$

$$\lambda = 700 \text{ nm}$$

$$\alpha(700) = \frac{D_2(700) - D_1(700)}{ec_2 - ec_1} = \frac{0'0182 - 0'0141}{0'10 - 0'02} = 0'051 \text{ 0'1}$$

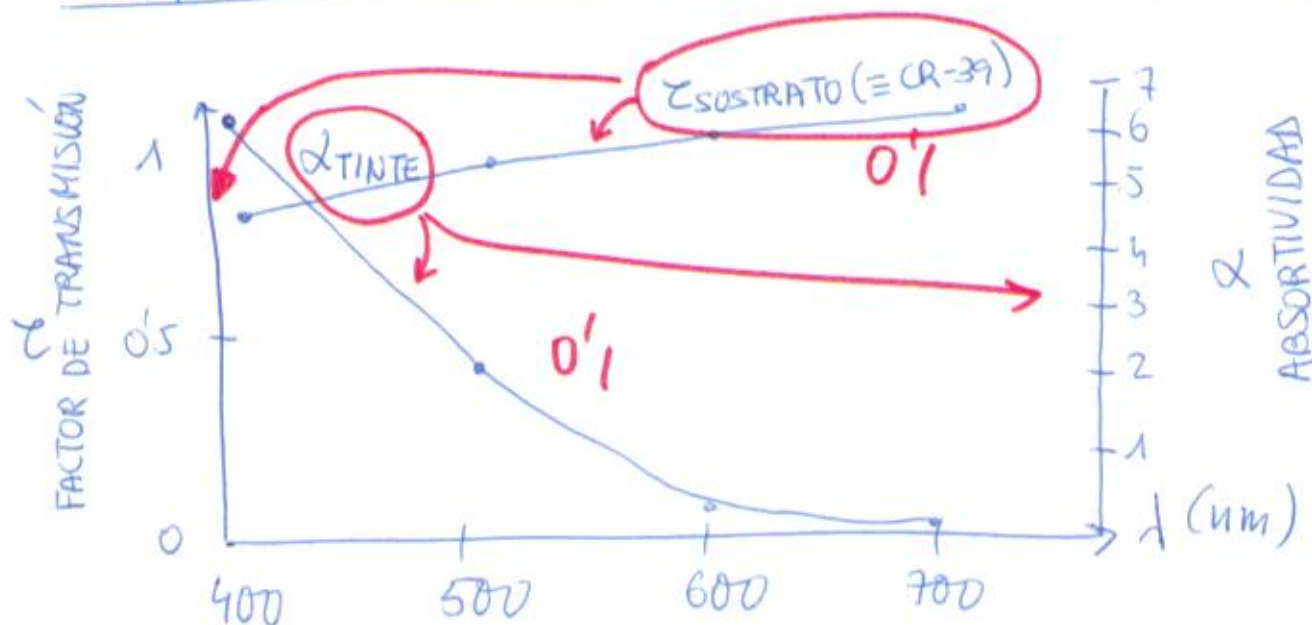
$$D_{\text{sust}}(700) = -0'051 \cdot 0'02 + 0'0141 = 0'013 \Rightarrow \tau_{\text{sust}}(700) = 0'97 \text{ 0'1}$$

Representación gráfica:

$\lambda$	400	500	600	700
$\alpha$	7	2	0'105	0'051
$\tau_{\text{sust}}$	0'85	0'90	0'95	0'97

TINTE  
SUSTRATO

AMARILLO





Especificación triestímulo CIE-XYZ:  $S$  = iluminante ,  $\rho/\tau$  = objeto opaco/transparente

$$X = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{x}(\lambda)\Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda \quad , \quad \text{con} \quad k = \frac{100}{\sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)\Delta\lambda}$$

$$Z = k \sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)\bar{z}(\lambda)\Delta\lambda$$

Espacio de color CIE-L\*a\*b\*C\*h\*:

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_W} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_W} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_W} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad ; \quad C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_W} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_W} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad ; \quad h_{ab}^* = \arctg \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \text{ en deg}$$

Colorimetría diferencial: fórmula mejorada CIE-TC1 29 (1994)

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2} \quad , \quad \Delta H_{ab}^* = 2\sqrt{C_{std}^* C_m^*} \text{ sen} \left( \frac{\Delta h_{ab}^*}{2} \right)$$

$$\Delta E_{94} = \sqrt{\left( \frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H} \right)^2} \quad , \quad S_L = 1, S_C = 1 + 0.045 C_{std}^*, S_H = 1 + 0.015 C_{std}^*$$

Ley de Bouguer-Beer:  $\forall \lambda: D_{mix} = \alpha ec + D_{sust} \quad , \quad D = -\log \tau$

Ley de Kubelka-Munk:  $\forall \lambda: \frac{K}{S} = \frac{(1-\rho)^2}{2\rho} \quad , \quad \left( \frac{K}{S} \right)_{mix} = \left( \frac{k}{s} \right)_c + \left( \frac{K}{S} \right)_{sust}$