

## **2: PROPIEDADES COLORIMÉTRICAS DE LA LUZ**

### **Introducción teórica**

Las propiedades colorimétricas de la luz quedan determinadas según el diagrama cromático. En este diagrama ocupan los vértices del triángulo los llamados colores primarios (rojo verde y azul). Así pues, cualquier color se puede obtener mezclando dichos colores primarios en las proporciones adecuadas.

### **1ª PARTE: mezcla aditiva de colores primarios**

#### **Modo operativo**

Para realizar esta parte, vamos a necesitar un foco emisor de luz, que está provisto de tres aberturas (una frontal y dos laterales) y una pantalla, situada a unos 25 cm del foco de luz, sobre la que vamos a visualizar los colores.

Primeramente colocamos tapas negras en las aberturas laterales, y en la frontal un filtro rojo. De esta forma determinamos los colores observados y absorbidos apoyándonos en el diagrama cromático. Actuamos de igual manera con los filtros azul y verde.

Filtro	Rojo	Verde	Azul
Color observado	Red	Green	Blue
Color absorbido	Bluish Green	Red Purple	Greenish Yellow

TABLA 1: colores primarios.

A continuación quitamos una de las tapas negras para colocar un espejo. Repetimos el proceso anterior combinando los verde-azul, azul-rojo y rojo-verde. Nos apoyamos de nuevo en el diagrama para anotar los colores observados y absorbidos.

Filtros	Rojo y azul	Rojo y verde	Azul y verde
Color observado	Red Purple	Orange Pink	Bluish Green
Color absorbido	Green	Blue Green	Red

TABLA 2: colores secundarios.

Seguidamente quitamos la última tapa negra para colocar otro espejo, y colocamos el filtro azul en la abertura frontal, y el verde y el rojo en las laterales. Apartamos la pantalla para poder ver el máximo número de colores.

Filtros	Azul, verde y rojo
Color observado	Blanco
Color absorbido	Negro

TABLA 3: color terciario.

Finalmente colocamos en el montaje anterior una varilla a unos 8 cm de la pantalla y anotamos el color de las tres sombras que aparecen.

	Sombra 1	Sombra 2	Sombra 3
Color observado	Red Purple	Greenish Blue	Yellow
Color absorbido	Green	Yellow	Greenish Blue

TABLA 4: color según la sombra.

## **2ª PARTE: mezcla sustractiva de colores complementarios**

### **Modo operativo**

Para realizar esta parte utilizamos el mismo montaje que el anterior; un foco de luz situado a unos 25 cm de una pantalla. En esta ocasión mantendremos cubiertas las aberturas laterales durante todo el proceso, y en la delantera colocaremos el diafragma de puerta.

Primeramente colocaremos el filtro amarillo, después el cian y por último el púrpura en esta abertura. Así determinaremos los colores absorbidos y observados apoyándonos en el diagrama cromático.

Filtros	Amarillo	Cián	Púrpura
Color observado	Yellow Green	Greenish Blue	Red Purple
Color absorbido	Bluish Purple	Yellow	Green

TABLA 5: primera observación.

A continuación colocamos el filtro amarillo en la abertura delantera, y el cian delante del amarillo, seguidamente combinamos los filtros amarillo y púrpura, y cian y púrpura. De igual forma localizamos en el diagrama cromático los colores observados y absorbidos.

Filtros	Cián y amarillo	Amarillo y púrpura	Cián y púrpura
Color observado	Bluish Green	Reddish Orange	Purple
Color absorbido	Red	Blue Green	Yellowish Green

TABLA 5: segunda observación.

Finalmente colocamos los tres filtros y, de la misma forma, localizamos los colores en el diagrama cromático.

Filtros	Amarillo, púrpura y cian
Color observado	Negro
Color absorbido	Blanco

TABLA 5: tercera observación.

### **Discusión**

Para encontrar los colores absorbidos nos guiamos por el diagrama, siendo los que se sitúan enfrente de los observados. Bajo nuestro punto de vista esto no es muy estricto porque aunque el ojo humano es muy sensible a la luz, no lo es en un grado tan alto a los colores, y esto nos puede llevar a un error en la determinación de los mismos y, por consiguiente, también nos lleva a error en los colores absorbidos. De todas formas no pensamos que tenga una importancia muy trascendental. Sí cabe destacar la gran diferencia entre ambas partes, y a las conclusiones que llegamos. En la primera parte efectuábamos una adición de colores, es decir,

los hacíamos juntarse valiéndonos de espejos, y al llegar a la suma de todos los colores primarios obteníamos el blanco. De esto podemos intuir, o mejor dicho, deducir, que el blanco es la suma de todos los colores, todo el color. Por otra parte, en la segunda parte hacíamos lo contrario, la sustracción de colores. Esto lo conseguimos sobreponiendo los filtros de color unos a otros, y nos llevó al negro. De esta forma podemos afirmar que el negro es la resta de todos los colores, mejor aún, la absorción de todas las longitudes de onda que componen la luz blanca.

### **3:PROPIEDADES POLARIMÉTRICAS DE LA LUZ**

#### **Introducción teórica**

Esta propiedad viene determinada por la orientación del campo eléctrico que forma la luz. Un polarizador lineal es un dispositivo que deja pasar el campo eléctrico en la dirección denominada eje del polarizador. Si rotamos este polarizador lineal un ángulo  $\alpha$ , la intensidad de luz que atraviesa el polarizador viene dada por la ley de Malus :

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

donde  $I_0$  es la intensidad máxima, que se obtiene cuando  $\alpha = 0$ , paralelo, mientras que cuando  $\alpha = \pi / 2$ , cruzado, la intensidad es nula. Así podemos medir el grado de polarización lineal de la siguiente manera:

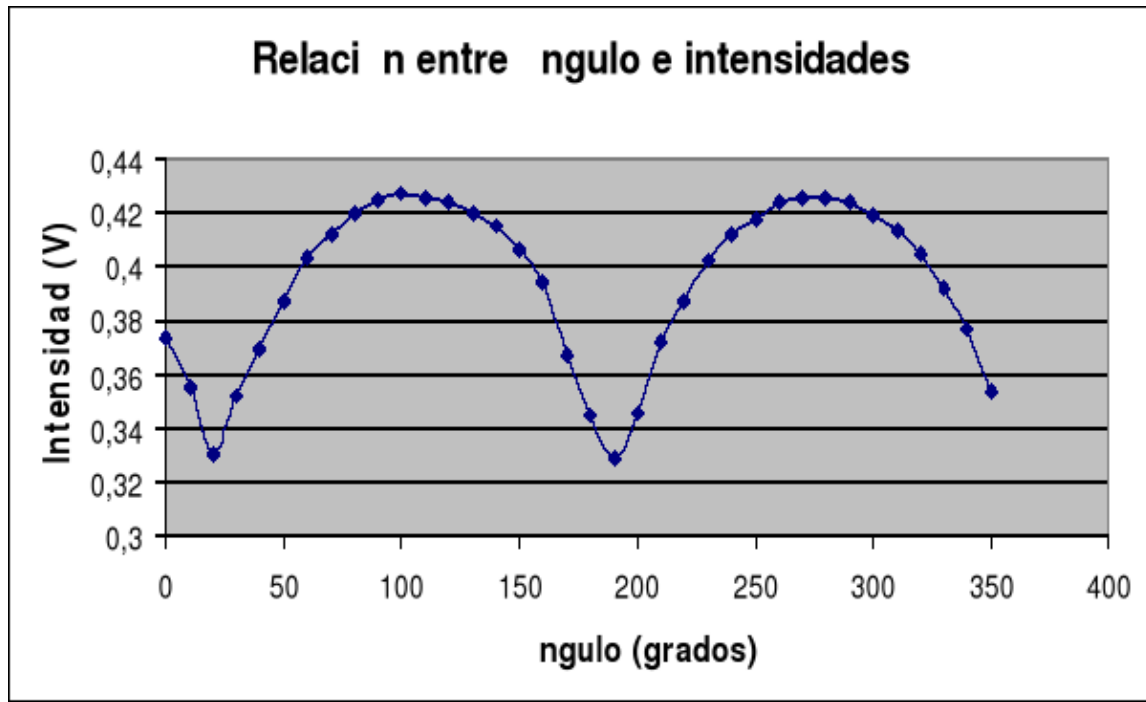
$$G_p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

#### **Modo operativo**

Necesitamos un láser, un polarizador (que pueda rotar) y un detector (que va conectado a un polímetro para medir las intensidades), alineados en el mismo orden en que los hemos nombrado, de forma que el láser incida en el punto medio del polarizador. Giramos el polarizador cada  $10^\circ$ , anotando las intensidades apreciadas, hasta dar una vuelta completa.

(rad) $\pm /180$	I (V) $\pm 10^{-3}$	(rad) $\pm /180$	I (V) $\pm 10^{-3}$	(rad) $\pm /180$	I (V) $\pm 10^{-3}$	(rad) $\pm /180$	I (V) $\pm 10^{-3}$
0	0.374	5 /9	0.427	10 /9	0.346	5 /3	0.419
/18	0.355	11 /18	0.426	7 /6	0.372	31 /18	0.414
/9	0.330	2 /3	0.424	11 /9	0.387	16 /9	0.405
/6	0.352	13 /18	0.420	23 /18	0.402	33 /18	0.392
2 /9	0.370	7 /9	0.415	4 /3	0.412	17 /9	0.377
5 /18	0.387	5 /6	0.406	25 /18	0.418	35 /18	0.354
/3	0.403	8 /9	0.394	13 /9	0.424		
7 /18	0.412	17 /18	0.367	3 /2	0.425		
4 /9	0.420		0.345	14 /9	0.426		
/2	0.425	19 /18	0.329	29 /18	0.424		

TABLA 1: relación entre ángulo e intensidad.



Hemos determinado el error del polarizador en  $\pm 1/180$  radianes, es decir, 1 grado, teniendo en cuenta la escala del polarizador. En la lectura del polímetro el error utilizado es de 0.001 V.

También se nos pide elaborar una gráfica de la intensidad medida en función del ángulo. En ella podemos apreciar claramente los máximos y mínimos, lo que nos ayudará a poder hallar el grado de polarización lineal que a continuación determinamos de acuerdo con la fórmula antes expresada.

$$G = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{0.427 - 0.329}{0.427 + 0.329} = 0.129$$

Pero este grado de polarización lineal tiene error, ya que las intensidades lo tienen. Para hallarlo nos valemos de las siguientes fórmulas:

$$\Delta G = \left[ \Delta G_{max}^2 + \Delta G_{min}^2 \right]^{1/2} = 1.88 \cdot 10^{-3}$$

donde  $\Delta G_{max} = \frac{G}{I_{max}} \Delta I_{max} = 1.15 \cdot 10^{-3}$

y  $\Delta G_{min} = \frac{G}{I_{min}} \Delta I_{min} = 1.494 \cdot 10^{-3}$

Por lo que nos resulta el valor final del grado de polarización lineal:

$$G = 0.129 \pm 2 \cdot 10^{-3}$$

Hallamos también, mediante la fórmula de Malus, la intensidad. Para ello elaboramos una tabla:

(rad)	Ic (V)	(rad)	Ic (V)	(rad)	Ic (V)	(rad)	Ic (V)
$\pm 1/180$	$\pm 10^{-3}$	$\pm 1/180$	$\pm 10^{-3}$	$\pm 1/180$	$\pm 10^{-3}$	$\pm 1/180$	$\pm 10^{-3}$

0	0.362	5 /9	0	10 /9	0.334	5 /3	0.042
/18	0.355	11 /18	0.012	7 /6	0.325	31 /18	0.094
/9	0.318	2 /3	0.047	11 /9	0.281	16 /9	0.155
/6	0.305	13 /18	0.100	23 /18	0.226	33 /18	0.216
2 /9	0.264	7 /9	0.165	4 /3	0.162	17 /9	0.271
5 /18	0.211	5 /6	0.230	25 /18	0.098	35 /18	0.307
/3	0.153	8 /9	0.288	13 /9	0.047		
7 /18	0.092	17 /18	0.320	3 /2	0.011		
4 /9	0.043		0.333	14 /9	0.001		
/2	0.011	19 /18	0.329	29 /18	0.010		

TABLA 2: relación entre ángulo e intensidad mediante la ley de Malus.

Según nuestros resultados, nuestros 100° corresponderían con 0° según la fórmula de Malus, y 190° con 90°. Esto se debe a que en esos ángulos obtenemos los máximos y los mínimos, y por tanto están relacionados con los segundos por la ley de Malus.

Para poder utilizar esta ley, debemos hacerle un pequeño arreglo, y nos queda de la siguiente manera:

$$I = I_0 \cos^2 \theta + I_c$$

donde  $I_c$  viene dada según la tabla anterior.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos mediante la ley de Malus son, en cierta manera, coherentes debido a que para que dicha ley se cumpla tenemos de por medio esa intensidad constante. Varía debido a los cosenos, ya que dependiendo del valor del ángulo necesitamos de una mayor o menor intensidad constante.

El valor del grado de polarización lineal nos sale muy bajo debido a que las intensidades medidas son muy bajas también, y el error propagado es muy pequeño porque los errores en las intensidades son muy pequeños también, por lo que parece ser bastante coherente.

## **4: PROPIEDADES BÁSICAS DE LA INTERACCIÓN LUZ-MATERIA**

### **Introducción teórica**

Si un haz de luz atraviesa un medio absorbente, su intensidad disminuye con la distancia que atraviesa de acuerdo con la ley de Lambert-Beer

$$I = I_0 e^{-\alpha d}$$

donde  $I_0$  es la intensidad en el medio,  $d$  la distancia que atraviesa y  $\alpha = -\frac{1}{d} \ln \frac{I}{I_0}$

el coeficiente de absorción que, dependiendo del campo de aplicación, se mide en diferentes unidades.

### **Modo operativo**

Necesitamos un láser, un medio absorbente y un detector (que nos proporciona el voltaje) que alinearemos en el mismo orden que los hemos nombrado. Primeramente montamos el sistema de manera que el láser incida en el centro del detector, y a continuación vamos colocando los medios de tal forma que el láser también incida en el centro.

Espeor (m) $\pm 10^{-3}$	0.020	0.030	0.040	0.050
I (V) $\pm 10^{-3}$	0.383	0.359	0.338	0.311

TABLA 1: relación entre ángulo e intensidad.

El valor de la intensidad del láser, cuando incide en el detector sin ningún medio, tiene el siguiente valor:

$$I_0 = 0.438 \pm 10^{-3} \text{ V}$$

Representamos gráficamente la intensidad medida en función del espesor del vidrio. Para poder realizar la gráfica de manera que nuestro coeficiente de absorción sea la pendiente, nos apoyamos en la fórmula del coeficiente, pero haciéndole una ligera variación de la siguiente forma:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\alpha d$$

donde se puede observar claramente que en esta ecuación la pendiente es el coeficiente de absorción.

Para facilitar las operaciones hemos elaborado la siguiente tabla:

$x_i$	$(x_i)^2$	$y_i$	$x_i y_i$	$x_i^2$	$x_i y_i$
0.14	0.0196	-0.9344	-0.03613	0.0054	-0.18314

TABLA 2: tabla para facilitar las operaciones.

Nos valemos de estas fórmulas para determinar el valor de la pendiente y del punto de corte con el eje de coordenadas:

$$p = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{D}$$

$$\text{con } D = n \sum x_i^2 - \left( \sum x_i \right)^2$$

$$c = \bar{y} - p \bar{x}$$

De donde obtenemos el valor aproximado de la pendiente como  $-6.85 \text{ m}^{-1}$  y del punto de corte con el eje de coordenadas como 0.0062. Pero estos datos llevan error, que lo obtenemos mediante las siguientes fórmulas:

$$\Delta p = \Delta y \sqrt{\frac{n}{D}} = 0.28$$

$$\text{y } \Delta c = \Delta y \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{D}} = 0.01$$

donde

$$\Delta y = \sigma_y = \frac{\Delta y_i^2}{n-2}^{1/2} = 7.87 \cdot 10^{-3}$$

y  $\Delta y_i = y_i - (p \cdot x_i + c)$

De esta manera podemos expresar el valor de la pendiente de la siguiente manera:

**p = -6.82 ± 0.28 m<sup>-1</sup>**

El valor que obtenemos de la pendiente se corresponde con el coeficiente de absorción. Este coeficiente de absorción, dependiendo del campo de aplicación, se mide en diferentes unidades, por lo que nosotras vamos a expresarlo en estas diferentes unidades:

- BELIOS: (por unidad de longitud)

$A(B/m) = \alpha$   
 $\log e = 18.625 \text{ B/m}$

- DECIBELIOS: (por unidad de longitud)

$\alpha$   
 $(dB/m) = 10\alpha$   
 $\log e = 186.25 \text{ dB/m}$

Conocido el coeficiente de absorción, vamos a hallar mediante la fórmula  $\ln I_0 = \ln I + \alpha \cdot d$  el valor de la intensidad incidente para cada medio para comprobar hasta que punto nos hemos podido equivocar. Lo vamos a expresar mediante una tabla:

Esesor (m) ± 10 <sup>-3</sup>	0.020	0.030	0.040	0.050
I <sub>0</sub> (V) ± 10 <sup>-3</sup>	0.438	0.440	0.444	0.438

TABLA 3: relación entre esesor e intensidad.

Por lo que podemos observar que nos salen valores muy aproxima-dados, pero eso lo discutiremos a continuación.

### **Discusión**

En esta parte hemos obtenido el coeficiente de absorción de cierto medio, mediante el método de aproximación de mínimos cuadrados, basándonos en la ley de Lambert-Beer. Una vez obtenido este coeficiente hemos hallado la intensidad que incide en el medio mediante esta misma ecuación, llegando a resultados muy parecidos al medido en el laboratorio. Esto nos hace pensar que el método utilizado es fiable, ya que los diferencias obtenidas no sólo difieren mínimamente, sino que en un caso hasta llegan a coincidir.

Estas pequeñas diferencias pueden deberse a que no hemos realizado las medidas con la rapidez necesaria, y por tanto han podido ser causadas por pérdidas en la potencia emitida por al láser.

