

# 2. LA LUZ COMO ESTÍMULO PARA LA VISIÓN

## 2.1 La luz

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

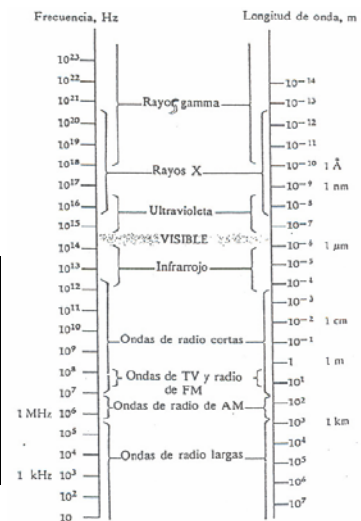
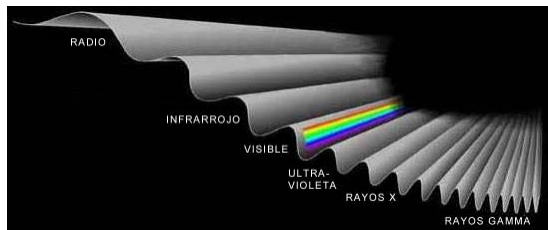
## 2.4 Ley de Abney

## 2.5 Filtros

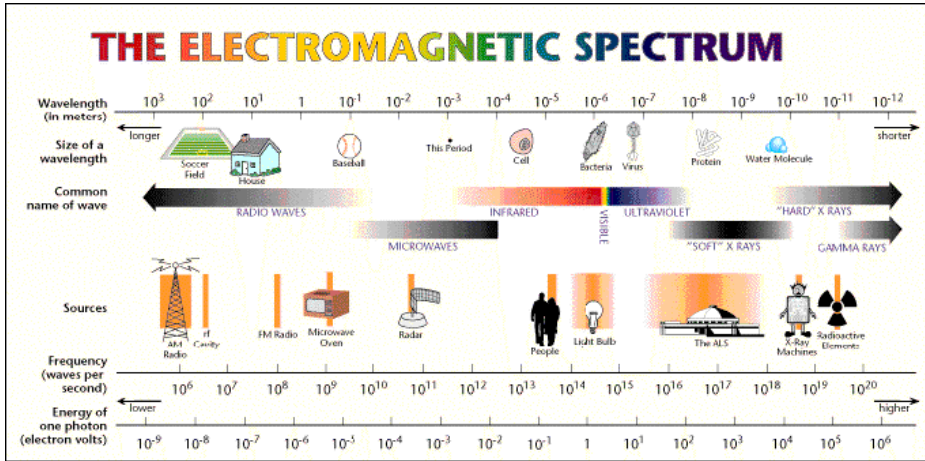
## 2.6 Contraste y modulación

## 2.1 La luz

- a) Energía radiante
- b) Espectro electromagnético
- c) Luz



## 2.1 La luz

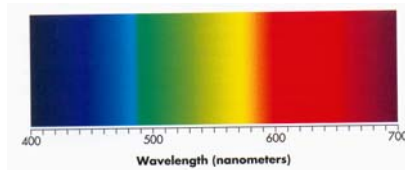


TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.3

## 2.1 La luz



Color	Longitud de onda	Frecuencia
rojo	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
naranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarillo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 520-565 nm	~ 580-530 THz
cian	~ 500-520 nm	~ 600-580 THz
azul	~ 450-500 nm	~ 670-600 THz
añil	~ 430-450 nm	~ 700-670 THz
violeta	~ 380-430 nm	~ 790-700 THz

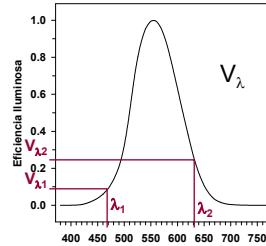
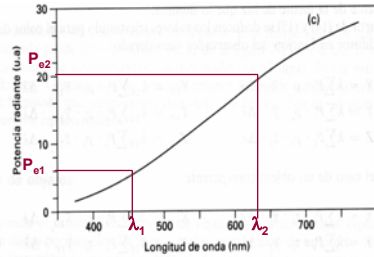
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.4

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

Transformación entre Radiometría y Fotometría:



$$P \propto P_{e\lambda_1} \cdot V_{\lambda_1} + P_{e\lambda_2} \cdot V_{\lambda_2} + \dots$$

$$P = k_m \cdot \sum_{380}^{780} P_{e\lambda} \cdot V_{\lambda} \cdot \Delta\lambda \quad k_m = 680 \text{ lm} / \text{W}$$

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

- Gràfica per magnituds radiomètriques

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

Comparación  
entre las  
magnitudes  
fotométricas y  
radiométricas

	RADIOMETRIA		FOTOMETRIA	
	Magnitud	Unidad	Magnitud	Unidad
	Flujo Radiante $P_r = dQ_r / dt$ ; $P_r = dQ_r / dt$	Watio (w)	Flujo Luminoso $F = K(P_r)_v V_v$ $F = K \sum (P_r)_v V_v$	Lumen (lm)
Fuente Puntual	Intensidad Radiante $I_r = dP_r / d\omega$	$w \text{ sr}^{-1}$	Intensidad Luminosa $I = dF / d\omega$	$\text{lumen sr}^{-1} = \text{candela (cd)}$
Fuente Extensa	Exitancia Radiante $M_r = dP_r / dS$ $P_r$ : total y en todas direcciones. Emisión. $dS$ : elemento de superficie de la fuente.  Radiancia $L_r = dP_r / (d\omega dS \cos\theta)$ $P_r$ : en una dirección	$w \text{ m}^{-2}$          $w \text{ sr}^{-1} \text{ m}^{-2}$	Exitancia Luminosa $M = dF / dS$ $F$ : total y en todas direcciones. Emisión.  Luminancia $L = dF / (d\omega dS \cos\theta) = L_r / (dS \cos\theta)$ $F$ : en una dirección	$\text{lumen m}^{-2}$          $\text{lm sr}^{-1} \text{ m}^{-2} = \text{cd m}^{-2}$
Superficie Receptora	Irradiancia $E_r = dP_r / dS$ $P_r$ : total y en todas direcciones. Recepción. $dS$ : elemento de superficie del receptor.	$w \text{ m}^{-2}$	Iluminación $E = dF / dS$ $F$ : total y en todas direcciones. Recepción.	$\text{lumen m}^{-2} = \text{lux}$

TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.7

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

Otras unidades de luminancia:

1 stilb: 10.000 cd/m

1 lambert:  $10.000/\pi$  cd/m

1 mililambert:  $10/\pi$  cd/m

1 apostilb = 1 blondel:  $1/\pi$  cd/m

1 footlambert: 3'426 cd/m

Iluminación recomendada en las escuelas: 300 – 500 lx

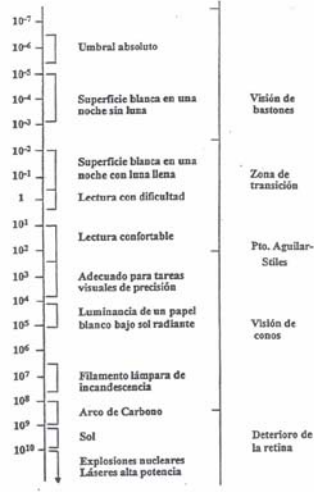
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.8

## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

**Niveles de luminancia con indicación del mecanismo receptor involucrado. El punto Aguilar Stiles marca el nivel al cual los bastones se saturan**



## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

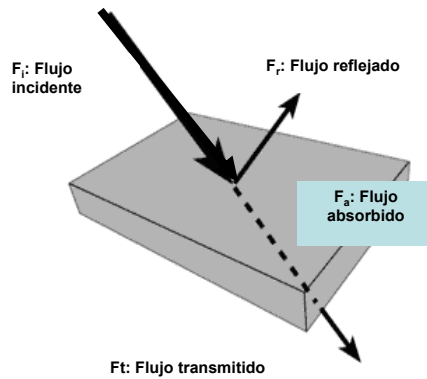
**Absorbancia:**  $A = \frac{F_A}{F_I}$

**Reflectancia:**  $\rho = \frac{F_R}{F_I}$

**Transmitancia:**  $\tau = \frac{F_T}{F_I}$

**Densidad óptica DO:**

$$DO = \log \frac{1}{\tau} \quad \tau = 10^{-DO}$$



## 2.2 Conceptos radiométricos y fotométricos

### Leyes Fotometría:

a) Inversa cuadrado distancia

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2}$$

b) Ley Lambert (difusor perfecto)

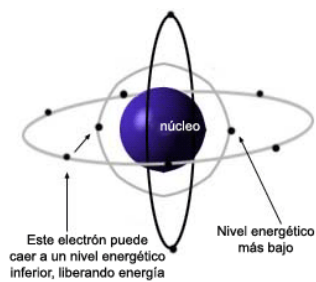
$$I_{\alpha} = I_0 \cdot \cos \alpha$$

c) Relación E - L

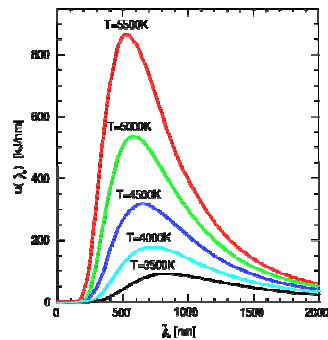
$$\rho \cdot E = \pi \cdot L$$

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

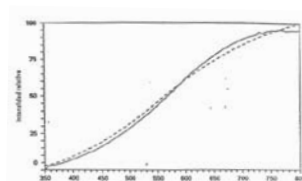
a) INCANDESCENCIA



Cuerpo negro a diferentes temperaturas



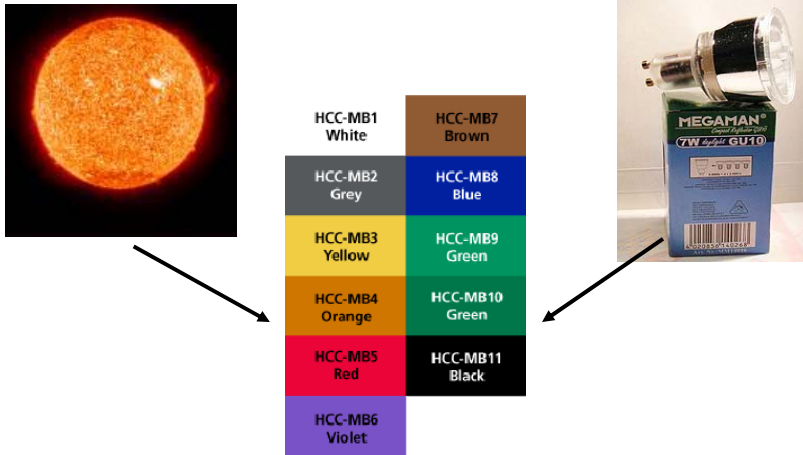
Temperatura de color



Cuerpo negro a 2800 K y lámpara tungsteno

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

### Rendimiento de color: comparación color (muestras Munsell)



TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.13

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

Grupo de rendimiento en color	Índice de rendimiento en color (IRC)	Apariencia de color	Aplicaciones
1	85	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	IRC < 85	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas cálidos)
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas templados)
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos (en climas fríos)
3	Lámparas con IRC <70 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

TEMA 2

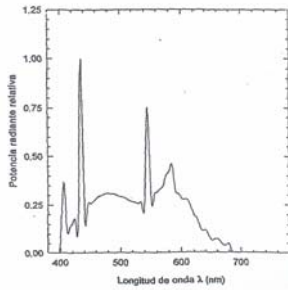
ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.14

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

### b) LUMINISCENCIA

**Salto discretos: espectro con máximos y mínimos**



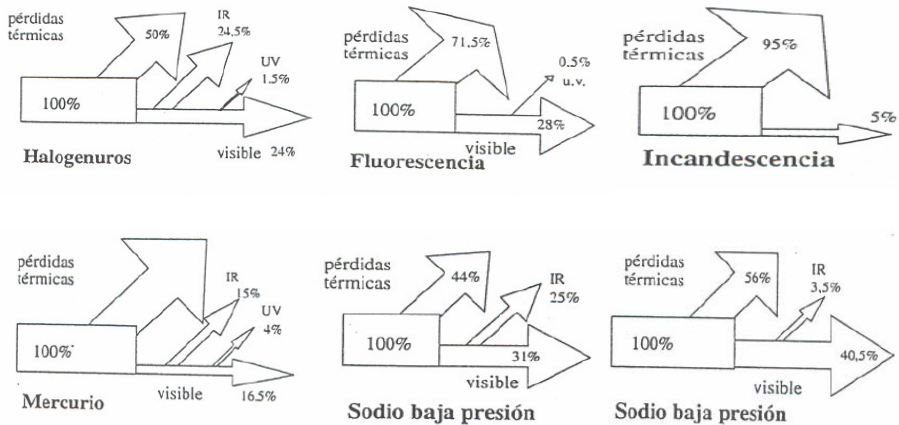
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.15

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

### Balance energético de diferentes fuentes luminosas



TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

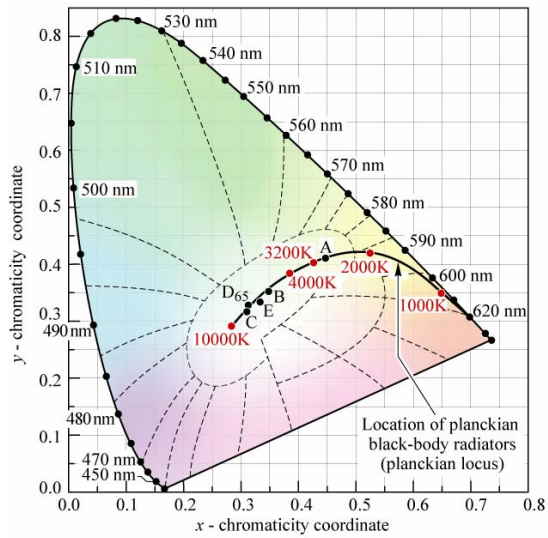
2.16



## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

**Temperatura  
CORRELACIONADA  
de color**

**Representación  
gráfica del Locus  
Planckiano**



TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

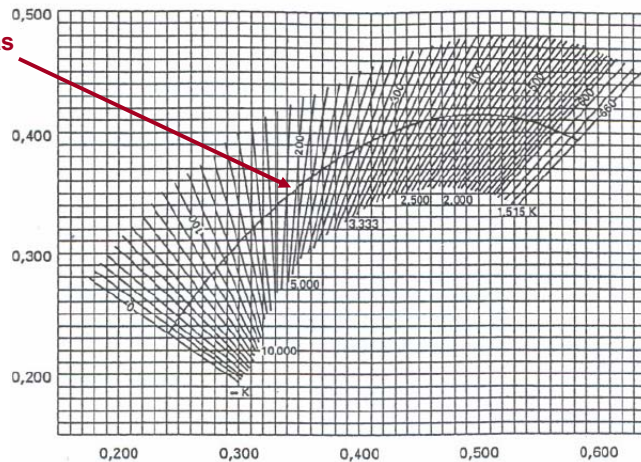
2.17

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

**Líneas de isoterma en el diagrama (x,y) CIE-1931**

**Coordenadas  
cromáticas**

Los valores de las  
temperaturas en  
grados kelvin y  
megakelvin  
recíprocos ( $T_c$ ) se  
encuentran en la  
parte inferior y  
superior de las  
líneas  
respectivamente



TEMA 2

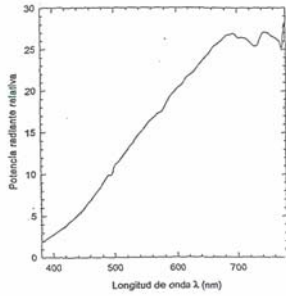
ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.18

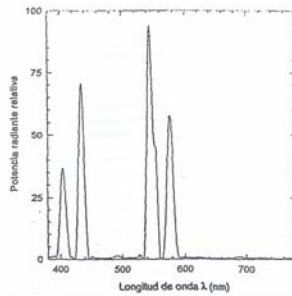
## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

Espectros de emisión:

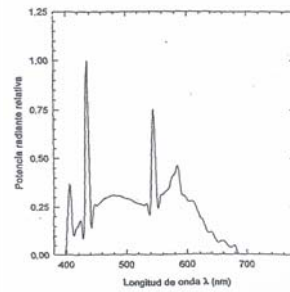
Luz halógena



Luz espectral de mercurio



Fluorescente del tipo luz día

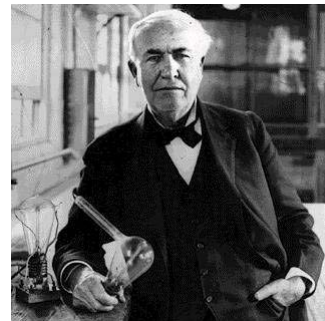
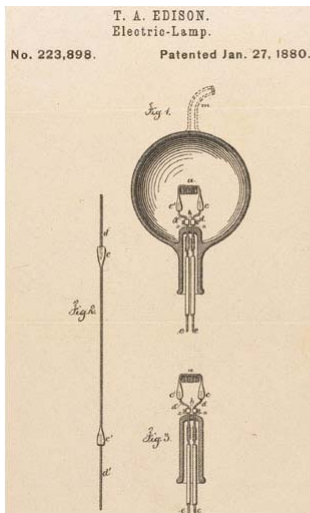


TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.19

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

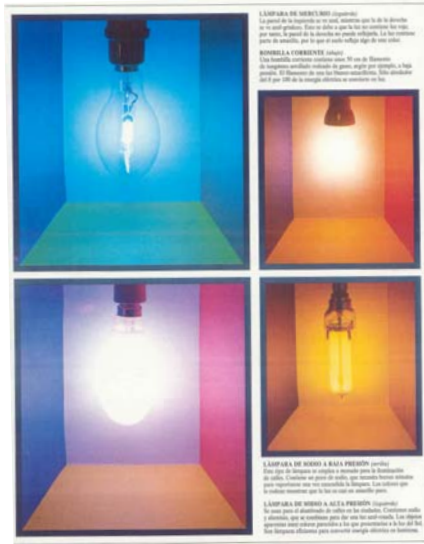


TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.20

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz



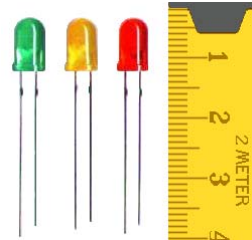
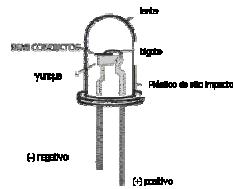
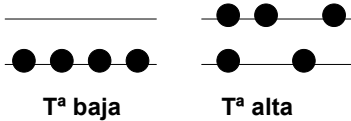
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.21

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

### c) LEDs: semiconductores



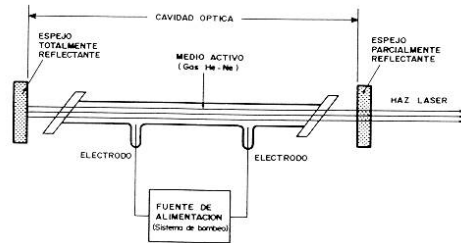
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

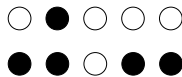
2.22

## 2.3 Características colorimétricas de las fuentes de luz

d) **LASER**: emisión estimulada. Medio activo, cavidad resonante, bombeo



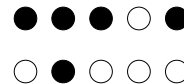
Equilibrio



Energía bombeo



Inversión población



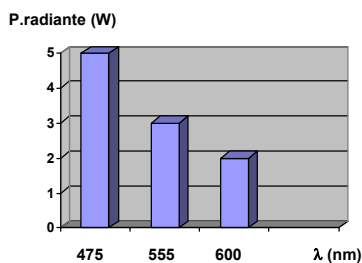
<http://www.unizar.es/lfnae/luzon/CDR3/laser/>

TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.23

## 2.4 Ley de Abney



$5 \text{ W de } 475 \text{ nm} \Rightarrow 0'1.680.5 = 340 \text{ lm}$   
 $3 \text{ W de } 555 \text{ nm} \Rightarrow 1.680.3 = 2040 \text{ lm}$   
 $3 \text{ W de } 600 \text{ nm} \Rightarrow 0'62.680.3 = 1264'8 \text{ lm}$

Experimentos de GUTH et al:



$$C\lambda \equiv B$$



$$[nC_{\lambda} + 0'5B] = B$$

TEMA 2

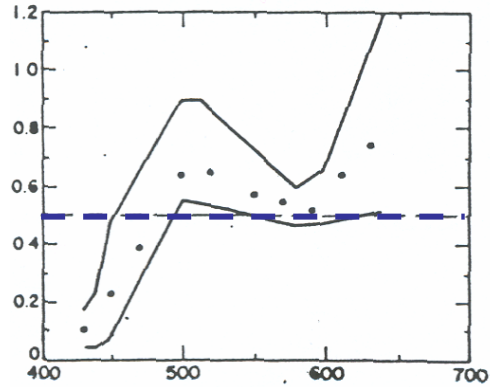
ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.24

## 2.4 Ley de Abney

EXPERIMENTOS DE GUTH et al:

Valor n



$n > 0.5$  subaditividad  
 $n < 0.5$  superaditividad

Si los puntos hubieran coincidido con la línea discontinua azul, se habría cumplido la ley de ABNEY

Longitud de onda  $\lambda$  (nm)

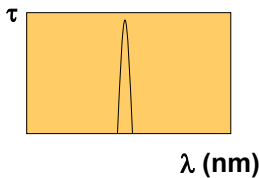
TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

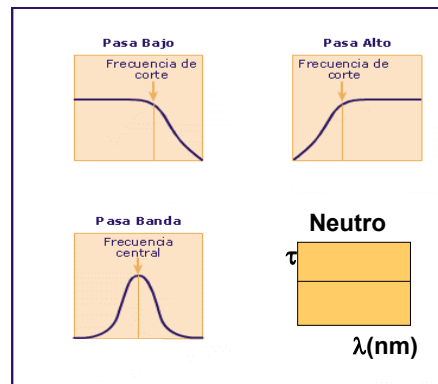
2.25

## 2.5 Filtros / 2.6 Contraste y modulación

- PASA-BANDA: narrow o broad
- PASA ALTOS y PASA BAJOS
- NEUTROS
- DE INTERFERENCIA



- Pico
- Ancho banda a mitad de altura



$$K = \frac{L_a - L_b}{L_a} \quad m = \frac{L_a - L_b}{L_a + L_b}$$

TEMA 2

ÓPTICA FISIOLÓGICA II

2.26

## Bibliografía y figuras

- Artigas, J.M, Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. Óptica Fisiológica. Psicofísica de la Visión. Interamericana Mac Graw-Hill, 1995
- Le Grand, Y. Optique Physiologique tome II: Lumière et couleurs. 10 ed. Masson, 1972
- Wyszecki, G. Color Science 2nd ed. Wiley and Sons, 1982
- Tipler, P.A. Física 3ª ed. (2 volúmenes). Reverté, 1994
- Philips. Manual de Alumbrado 4ª ed. Paraninfo, 1975

Las figuras y fotografías que aparecen en esta presentación y que no son de creación propia han sido extraídas, bien de Internet, bien de los libros:

- Artigas, J.M. et al Óptica Fisiológica. Psicofísica de la Visión
- Tipler, P.A. Física 3ª ed. (2 volúmenes).

Lo que se cita para preservar los derechos de los autores