



FUNDAMENTOS DE LA VISIÓN HUMANA

Carlos Alberola López

Lab. Procesado de Imagen, ETSI Telecomunicación

Despacho 2D014

caralb@tel.uva.es,

<http://poseidon.tel.uva.es/~carlos/ltif10001/ltif10001.html>

EI OJO HUMANO (I)

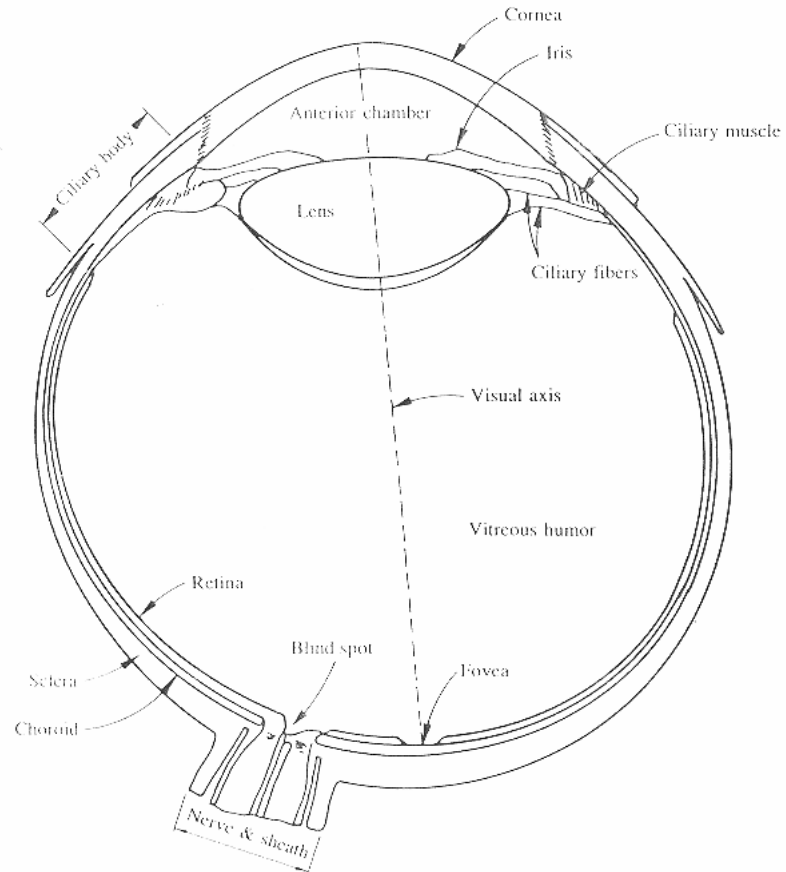
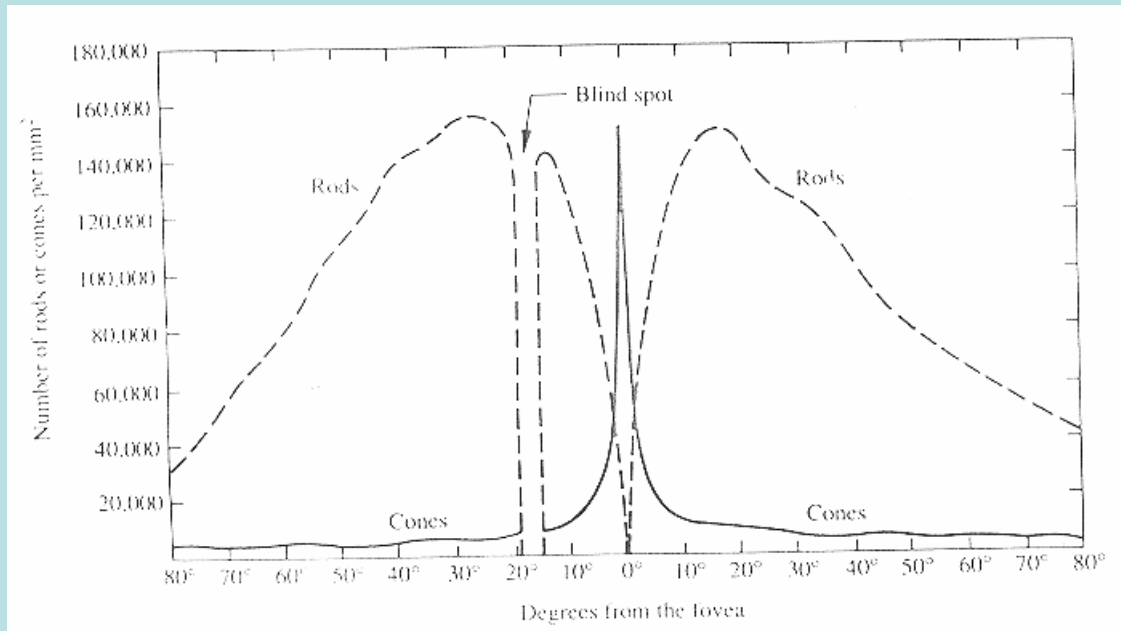


Figure 2.1 Simplified diagram of a cross section of the human eye.

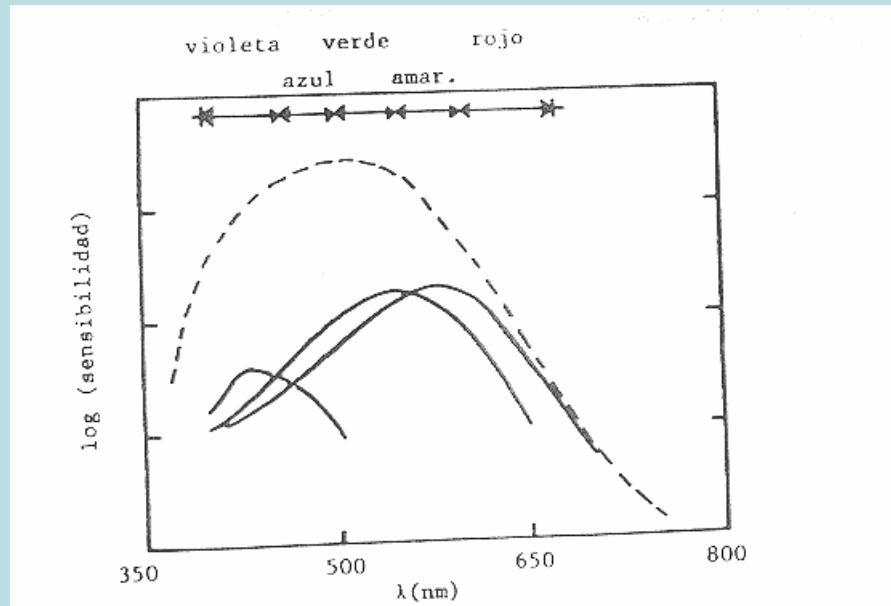
EI OJO HUMANO (II)

Densidad de conos y bastones



EI OJO HUMANO (III)

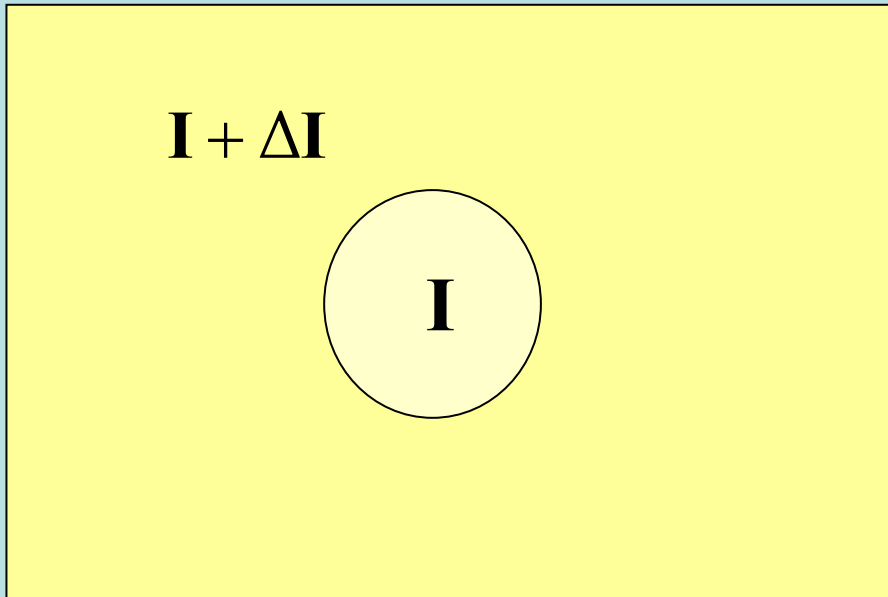
Respuesta espectral de células fotosensibles



- Fundamento de la síntesis de color como superposición de primarios
- Color en visión nocturna y visión diurna.

FENÓMENOS VISUALES (I)

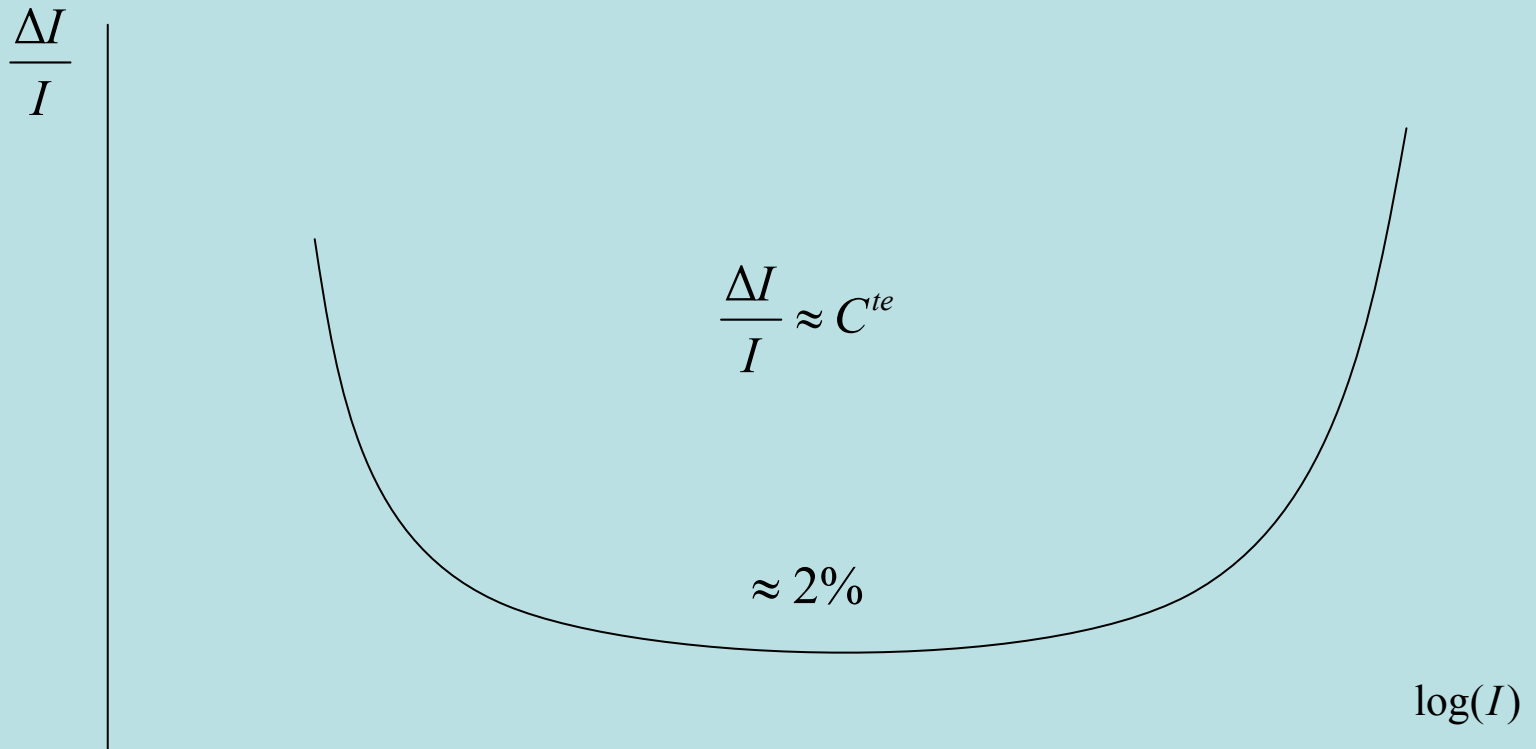
Diferencia mínima perceptible
(jnd, just noticeable difference)



- Se debe responder si se distinguen ambas iluminaciones
- Si $\Delta I \ll I$ no hay diferencias, luego el 50% de las respuestas serán de percepción de diferencia.
- Si $\Delta I \uparrow$ el 100% de las respuestas serán de percepción de diferencia
- jnd: ΔI con 75% de las respuestas.

FENÓMENOS VISUALES (II)

Diferencia mínima perceptible
(jnd, just noticeable difference)



FENÓMENOS VISUALES (III)

Primera ley de Weber: respuesta logarítmica del ojo

$$\frac{\Delta I}{I} \approx C^{te} = \lambda$$

$$I_{jnd}(I) = I + \Delta I(I) = I + \lambda I = (1 + \lambda)I$$

$$I_{jnd}(I) - I = (1 + \lambda)I - I = \lambda I$$

Incrementos constantes para jnd en dominio logarítmico

$$c = \log(I)$$

$$c_{jnd} = \log(I_{jnd}(I)) = \log(1 + \lambda) + \log(I)$$

$$c_{jnd} - c = \log(1 + \lambda) + \log(I) - \log(I) = \log(1 + \lambda)$$

FENÓMENOS VISUALES (IV)

Primera ley de Weber: implicaciones con el ruido

Dado un ruido de una determinada potencia, la ley de Weber predice dónde se percibirá éste más en una imagen.

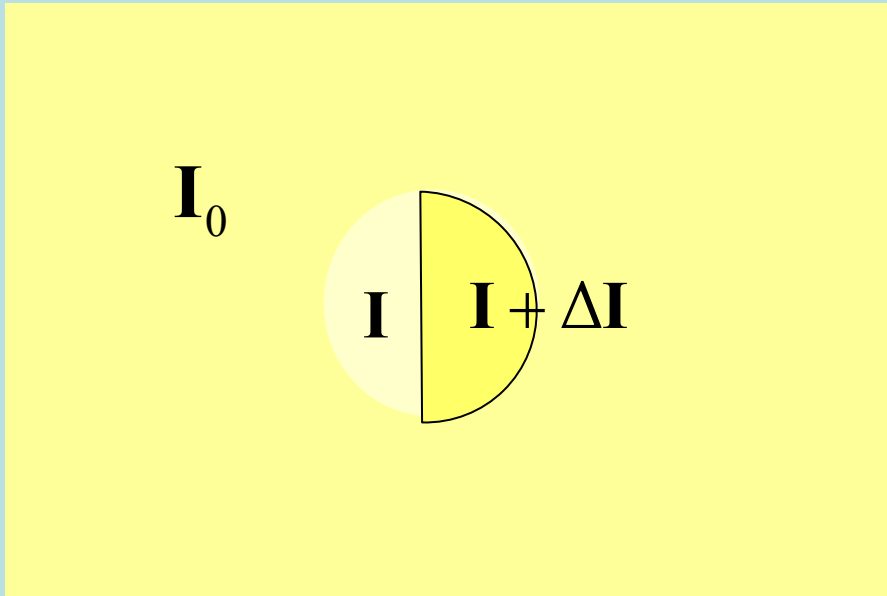
$$\frac{\Delta I}{I} \approx C^{te} = \lambda$$

$$I_{jnd}(I) = I + \Delta I(I) = I + \lambda I = (1 + \lambda)I$$

$$I_{jnd}(I) - I = (1 + \lambda)I - I = \lambda I$$

FENÓMENOS VISUALES (V)

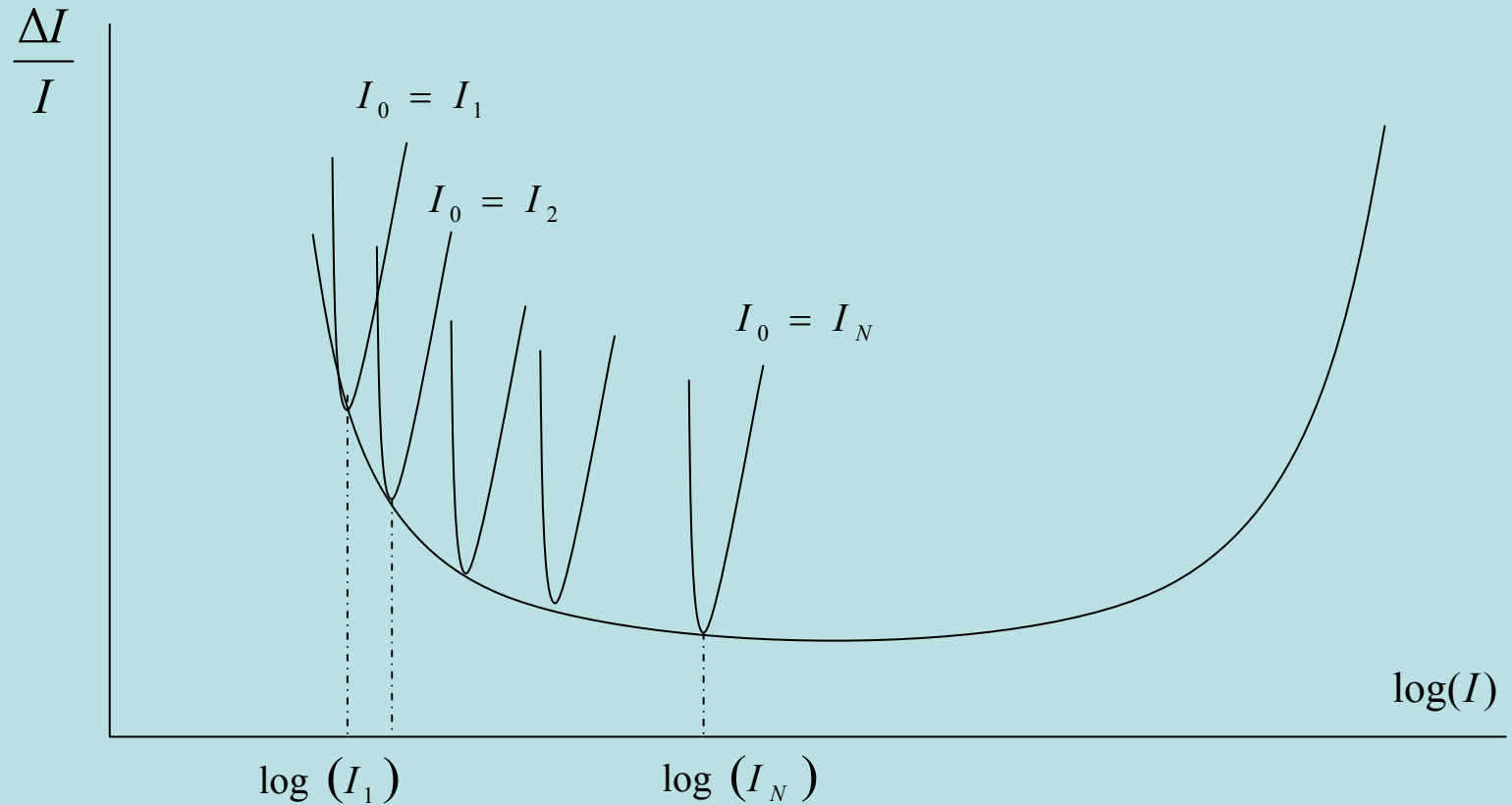
2ª Ley de Weber



- Se debe responder si se distinguen ambas iluminaciones
- Cambia con respecto al caso anterior el contexto en que se realiza el experimento.

FENÓMENOS VISUALES (VI)

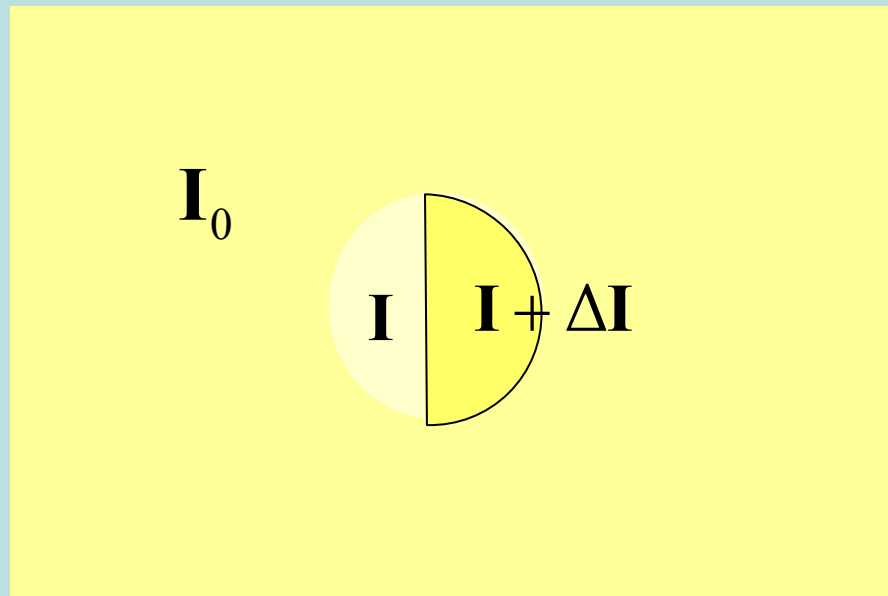
2ª Ley de Weber



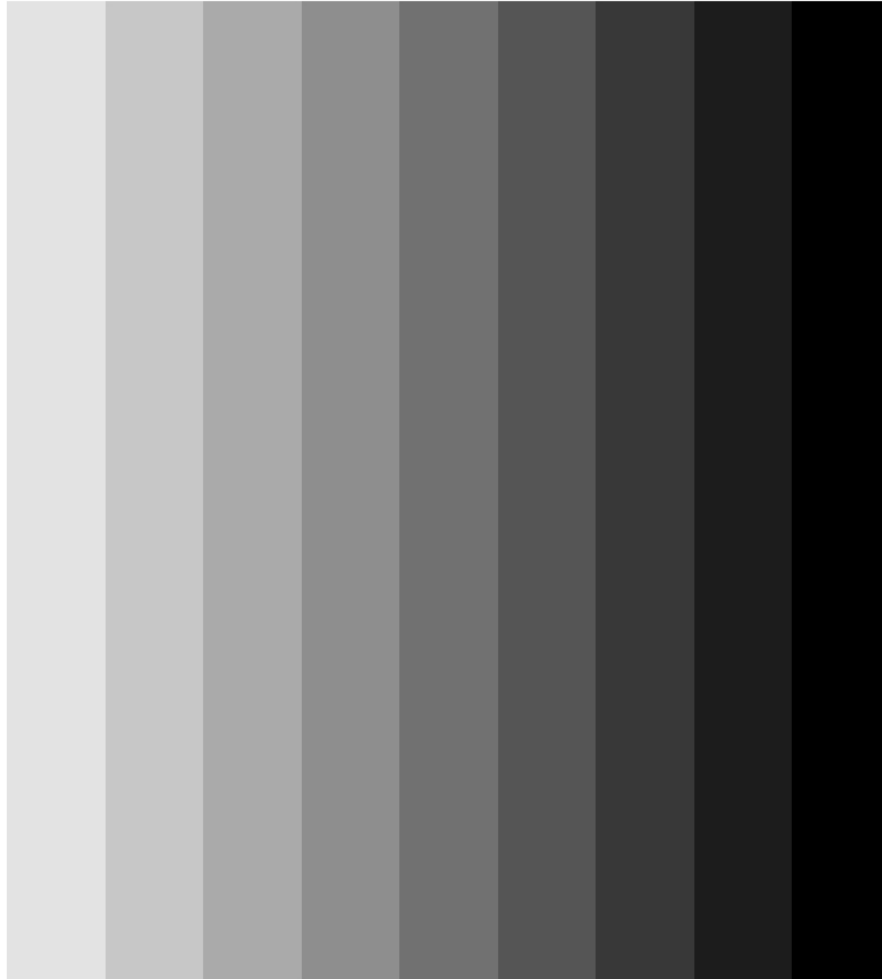
FENÓMENOS VISUALES (VII)

2ª Ley de Weber

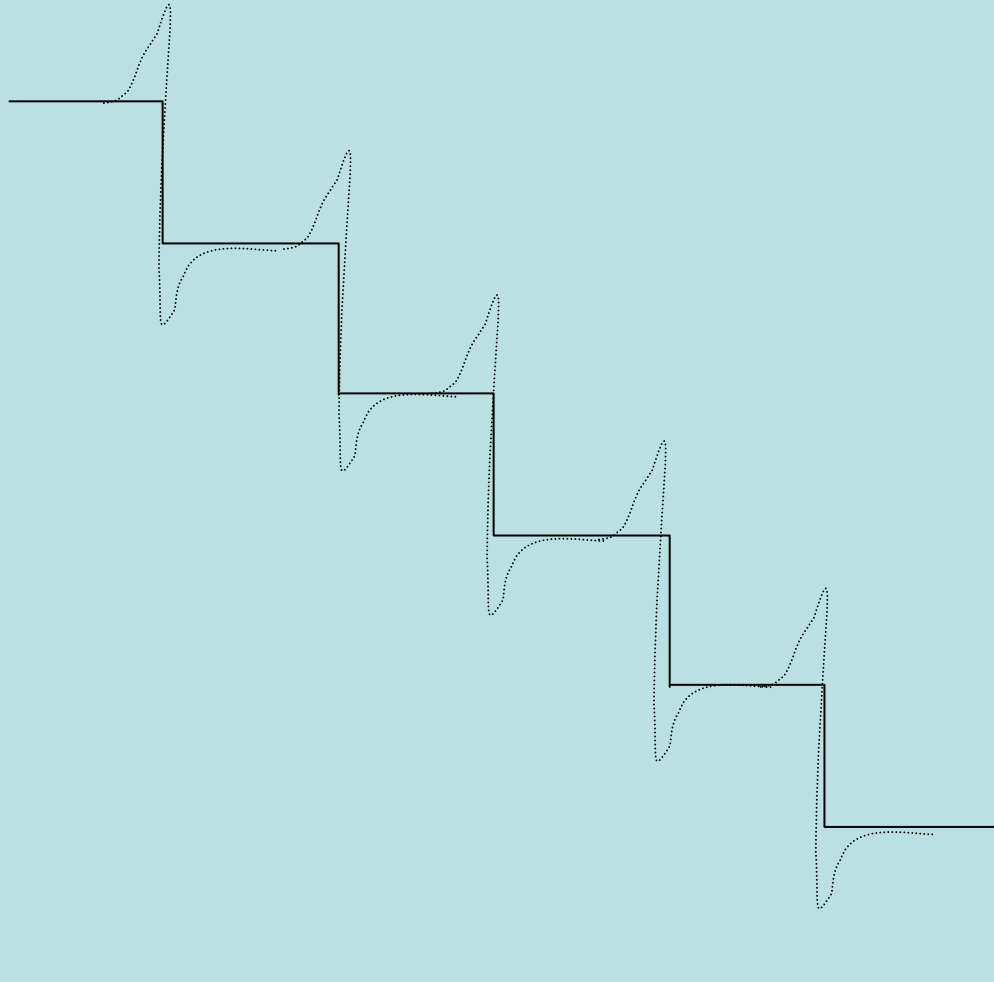
Dado un ruido de una determinada potencia, la segunda ley de Weber Predice en qué zonas de la imagen se percibirá éste más



FILTRADO ESPACIAL (I)



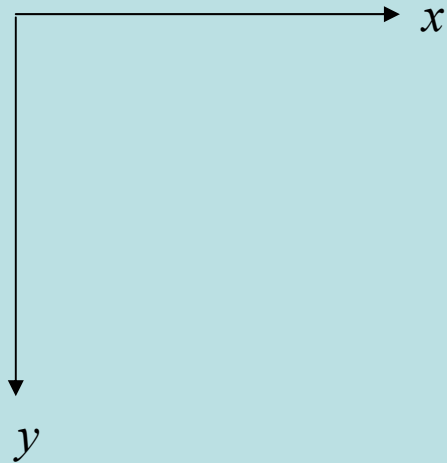
FILTRADO ESPACIAL (II)



FILTRADO ESPACIAL (III)

Imagen sinusoidal

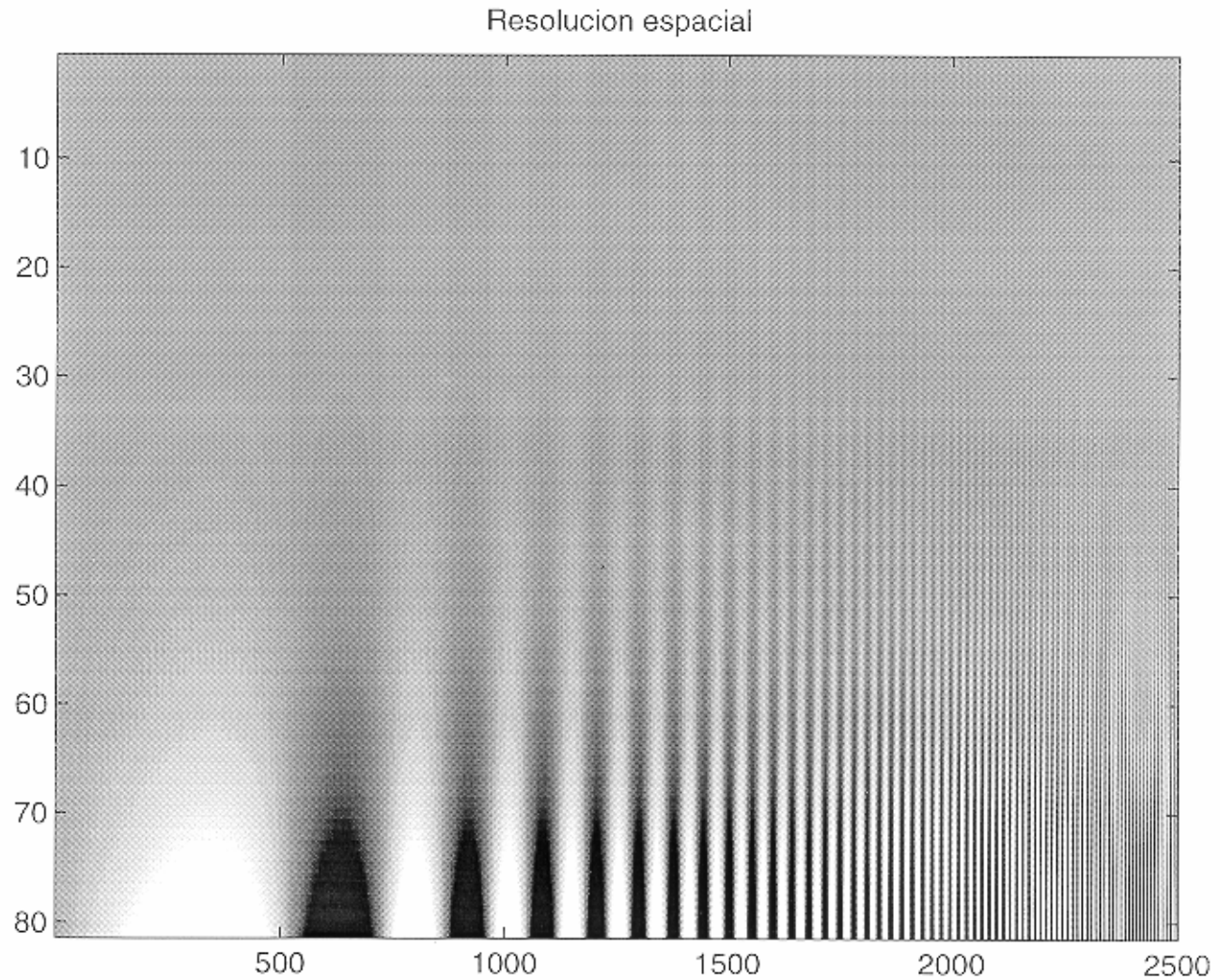
$$I(x, y) = A(y)\cos(\omega(x)x) + C^{te}$$



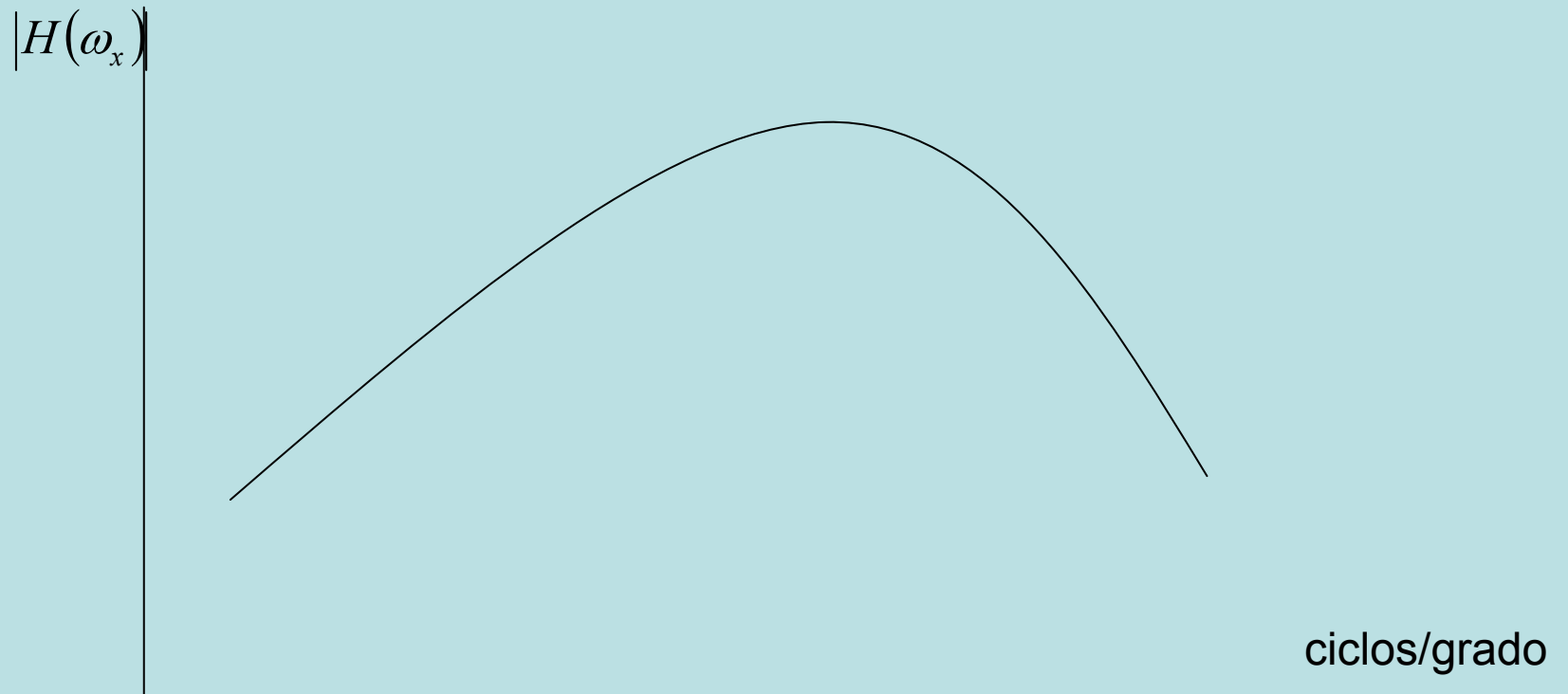
$A(y)$ y $\omega(x)$ monótonas crecientes

C^{te} asegura la no negatividad de la función

FILTRADO ESPACIAL (IV)



FILTRADO ESPACIAL (V)



Inhibición lateral (bandas de Mach)

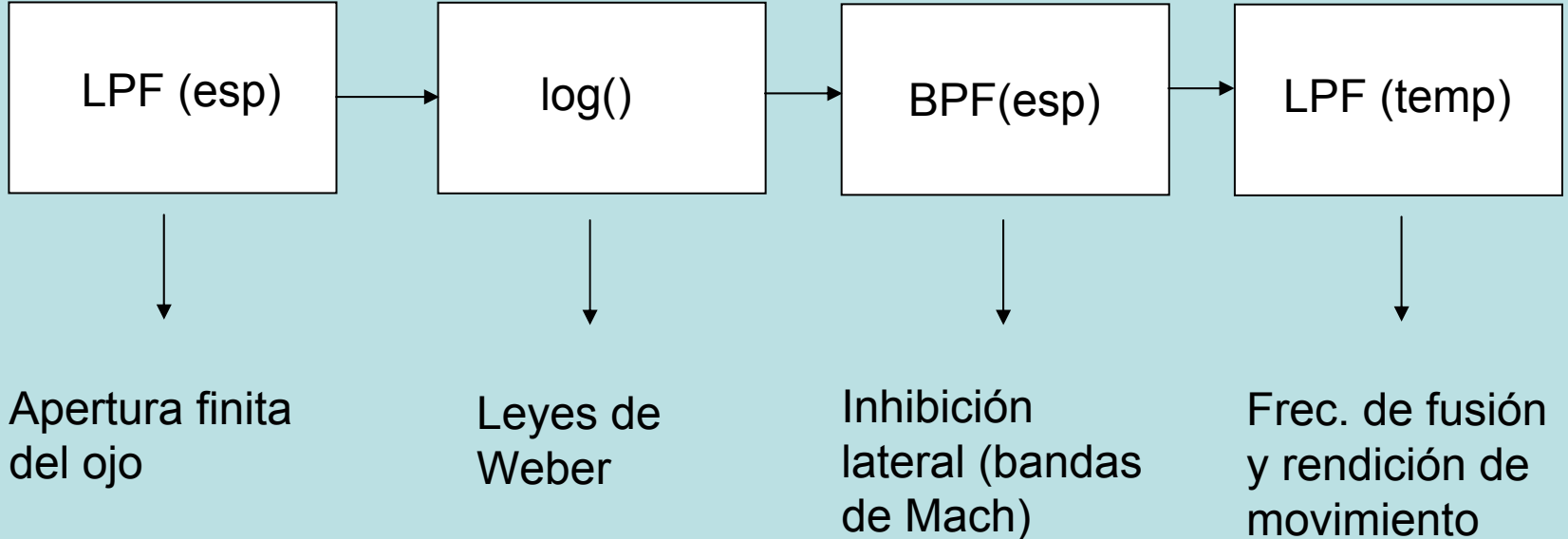
FILTRADO TEMPORAL (I)

- El ojo tiene una respuesta temporal relativamente lenta
- Una única bombilla, encendiéndose de forma intermitente
 - Si la tasa de encendido es baja, se aprecia la intermitencia (tiempo entre encendidos >30 ms)
 - Si el tiempo entre encendidos es suficientemente pequeño, la luz se apreciará como continua.
 - La frecuencia a la que no se percibe el parpadeo se denomina *frecuencia de fusión* (o CFF, critical fusion frequency, la cual podría estar ≈ 30 Hz).
 - Depende del tamaño y del brillo de la fuente
- Aplicaciones: monitores de ordenador, pantallas de cine, sistemas NTSC y PAL etc ...

FILTRADO TEMPORAL (II)

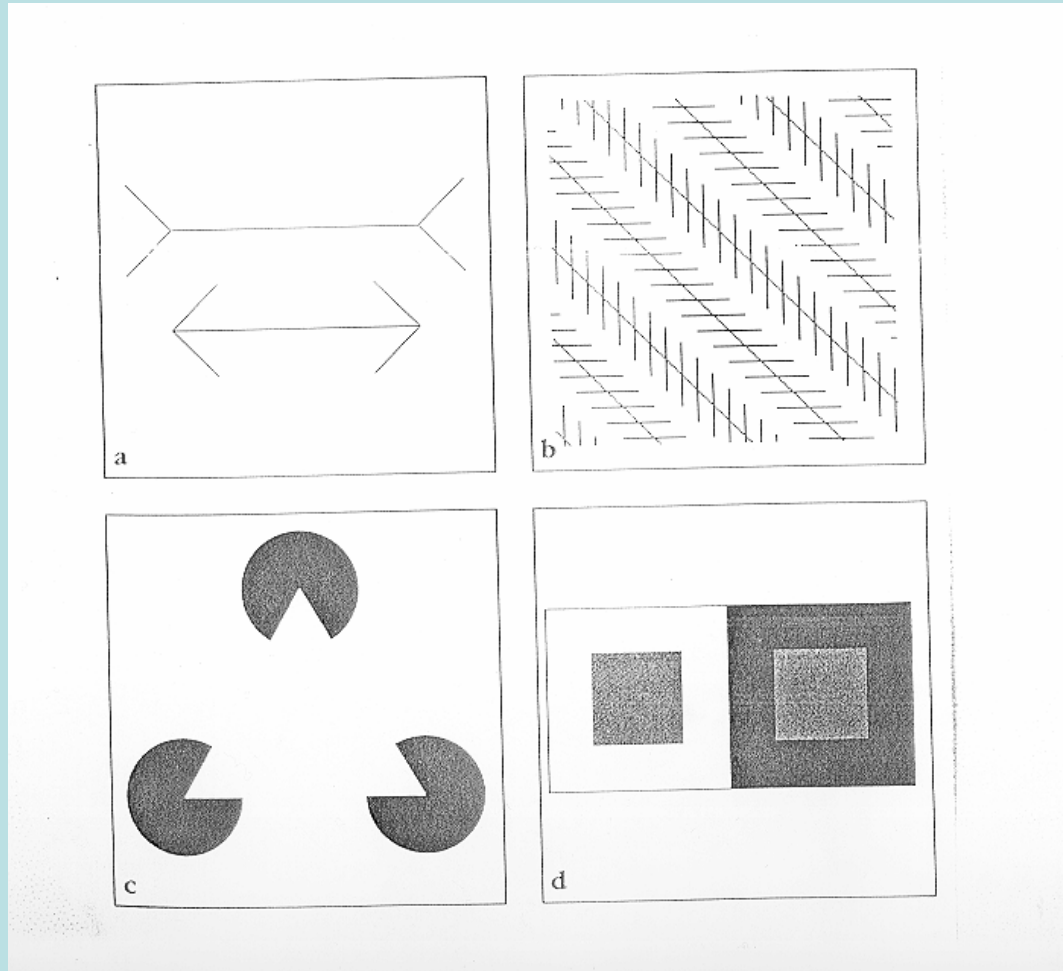
- El ojo tiene una respuesta temporal relativamente lenta
- Dos bombillas intermitentes, con iluminación alternándose (cada una luce aprox. durante 1 msg), separación angular de 1 grado.
 - Diferencia temporal de encendidos > 1 sg, se perciben como iluminaciones que se alternan.
 - Diferencia temporal de encendidos ≈ 10 msg, se observa un punto de luz viajando de una a otra.
 - Diferencia temporal de encendidos ≈ 1 msg, se perciben como iluminaciones simultáneas.
- Existe por tanto una frecuencia de rendición del movimiento que permite crear sensación de movimiento continuo en base a un conjunto de instantáneas.
- El movimiento percibido, sin embargo, puede no ser siempre el natural si el número de cuadros por segundo no es lo suficientemente alto.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE VISIÓN HUMANA

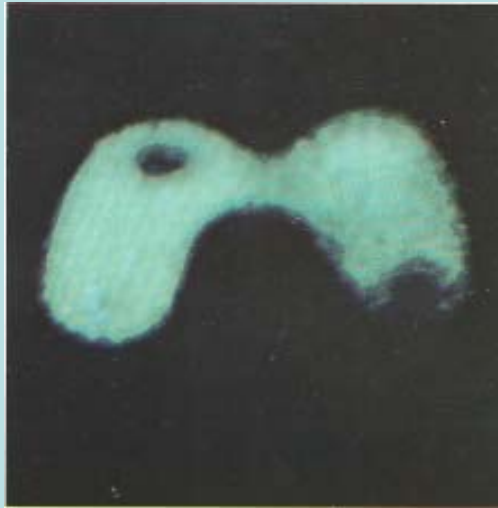


OTROS FENÓMENOS VISUALES

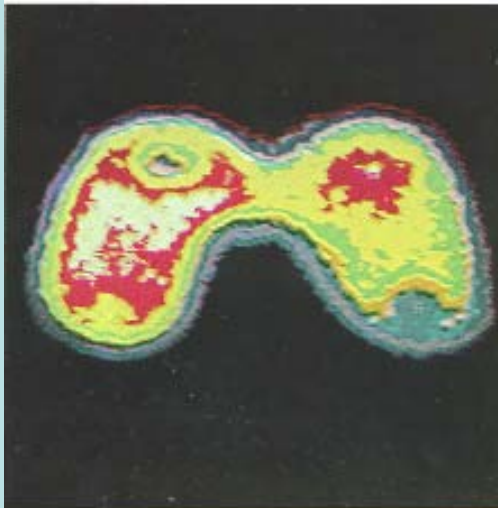
- El comportamiento de la visión a nivel de sistema central es desconocido:



UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (I)



(a)



(b)

El ser humano es mucho más sensible al color que a los niveles de gris

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (II)

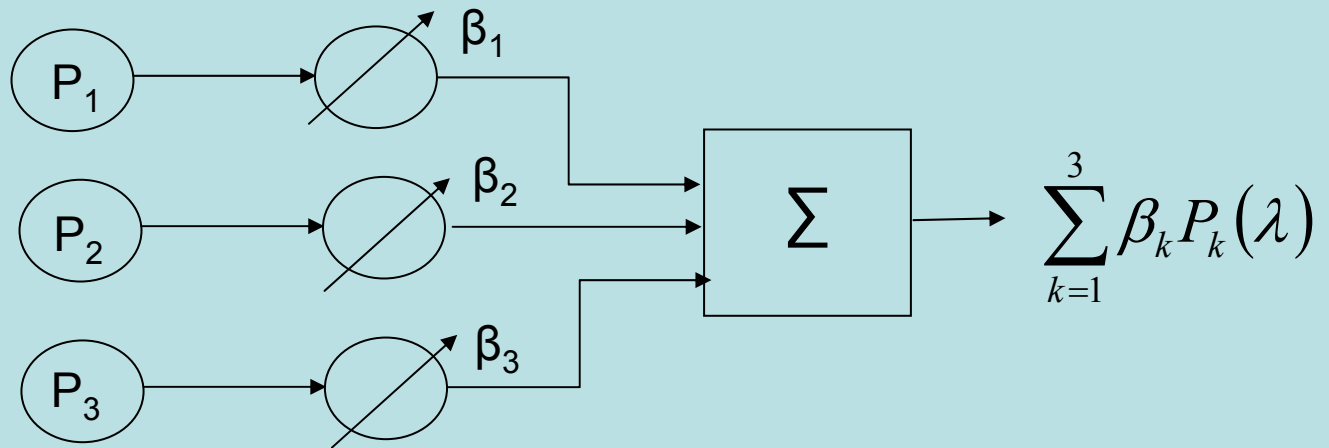
- El color viene definido por el contenido espectral de una determinada radiación, esto es, por $C(\lambda)$.
- Sin embargo puede haber dos radiaciones distintas, $C_1(\lambda)$ y $C_2(\lambda)$, con espectros distintos, es decir, $C_1(\lambda) \neq C_2(\lambda)$, pero que se traduzcan en la misma sensación de color.
- Ello es debido a que la percepción de color es función de tres canales no independientes:

$$\alpha_i(C) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda, i = 1, 2, 3$$

- Dos colores $C_1(\lambda)$ y $C_2(\lambda)$, por tanto se percibirán como iguales si $\alpha_i(C_1(\lambda)) = \alpha_i(C_2(\lambda))$, $i=1, 2, 3$.

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (III)

- Un determinado color $C(\lambda)$ puede sintetizarse en base a la superposición de tres primarios $P_k(\lambda)$ sin más que encontrar los coeficientes β_k apropiados en la mezcla.



UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (IV)

- Un determinado color $C(\lambda)$ puede sintetizarse en base a la superposición de tres primarios $P_k(\lambda)$ sin más que encontrar los coeficientes β_k apropiados en la mezcla.
- Tales coeficientes deberán cumplir que:

$$\begin{aligned}\alpha_i(C) &= \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} \left[\sum_{k=1}^3 \beta_k P_k(\lambda) \right] S_i(\lambda) d\lambda \\ &= \sum_{k=1}^3 \beta_k \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} P_k(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda = \sum_{k=1}^3 a_{ik} \beta_k\end{aligned}$$

• Es decir

$$\begin{bmatrix} \alpha_1(C) \\ \alpha_2(C) \\ \alpha_3(C) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{bmatrix}$$

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (V)

- Es habitual definir los coeficientes con respecto a los coeficientes del blanco de referencia. Así, si estos últimos son los w_k , entonces se define

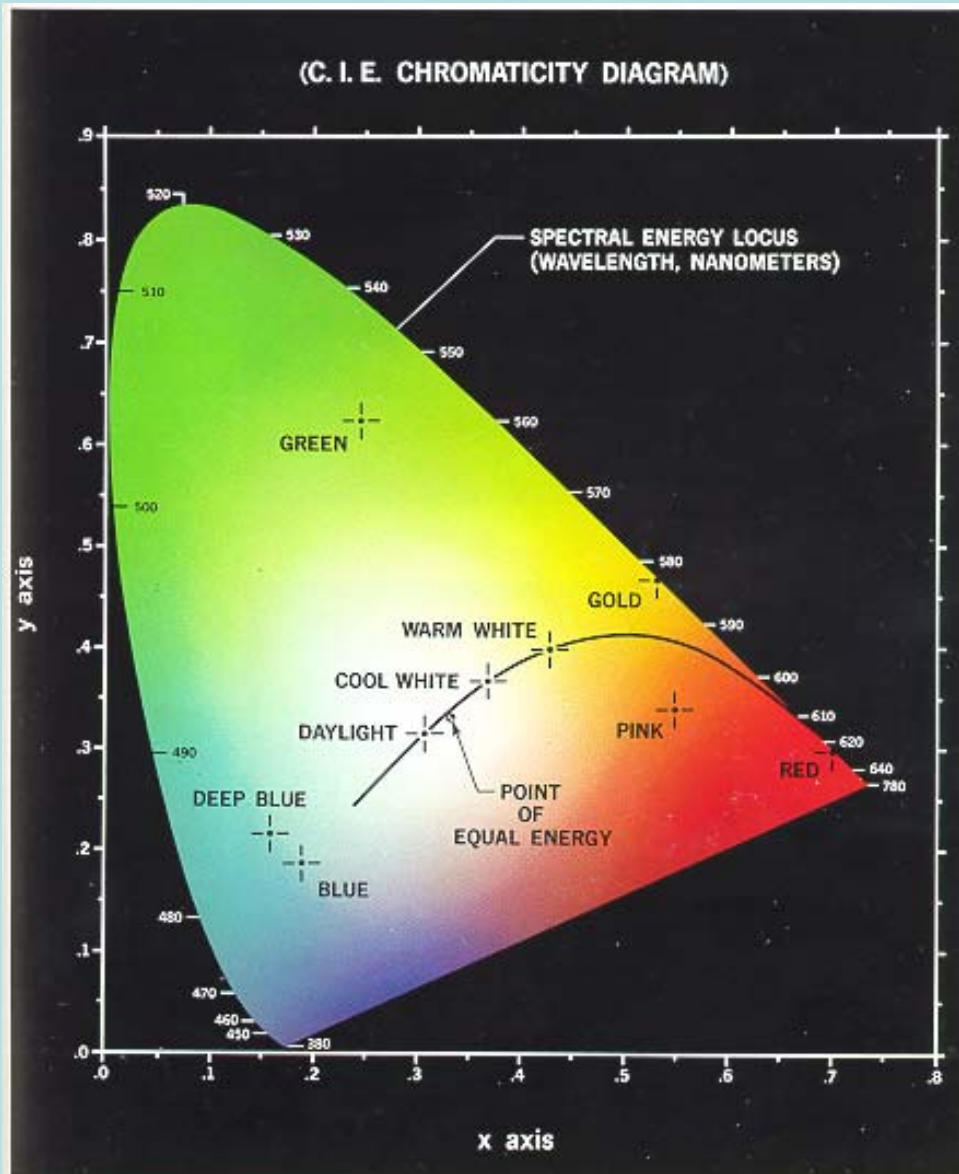
$$T_k(C) = \frac{\beta_k}{w_k}$$

- E incluso normalizar los coeficientes de forma que, a efectos de color, se puedan emplear sólo dos (en lugar de tres)

$$t_k(C) = \frac{T_k(C)}{\sum_{j=1}^3 T_j(C)}$$

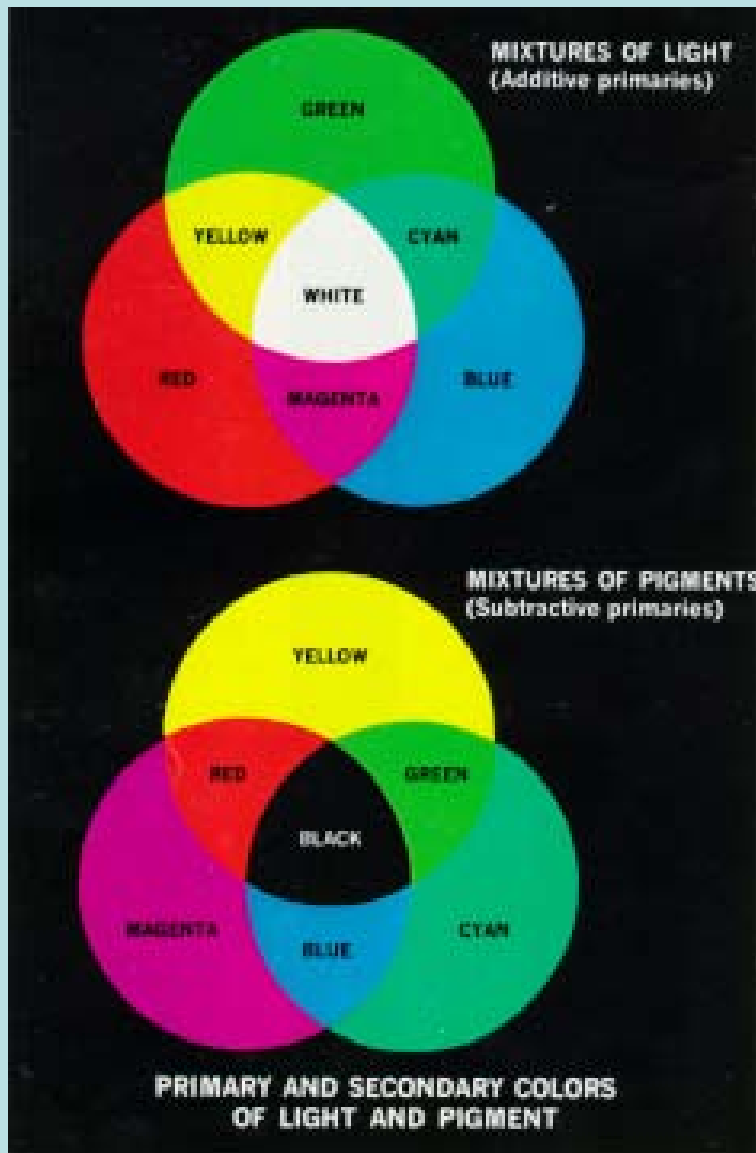
- El color viene unívocamente determinado por dos coeficientes $t_k(C)$ y por la luminancia del color Y .

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (VI)



Carta de color del sistema X,Y,Z (sistema ficticio con coeficientes $T_k(C)$ todos positivos)

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (VII)



Ejemplo de dos sistemas de colores: mezcla de luces (sistema RGB, típico de monitores de ordenador) y mezcla de pigmentos (sistema CMY, típico de impresoras)

UNAS IDEAS SOBRE EL COLOR (VIII)

- Algunos sistemas de color relevantes:
 - R, G, B: pantallas
 - X, Y, Z: sistema ficticio de mezcla de componentes positivas.
 - C, M, Y: impresoras
 - S, H, W:
 - S: saturation: cómo de ancho es el espectro del color.
 - H: hue (tinte)
 - W: brillo
 - Y, I, Q
 - Y: luminancia
 - I, Q: señales de color entrelazadas con la luminancia y moduladas en cuadratura.