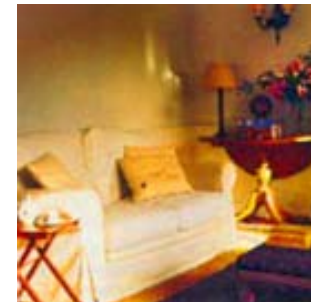
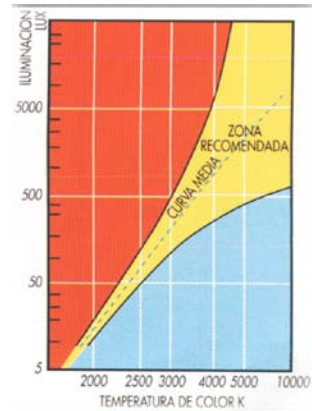
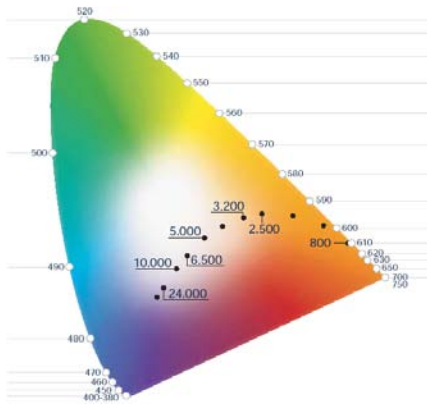


Colorimetría aplicada a la Luminotecnia



Sumario

- Introducción
- Colorimetría CIE básica para fuentes de luz
 - Temperatura correlacionada de color
 - Rendimiento de color
 - Grado de metamerismo
 - Simulación de la luz diurna
- El ambiente cromático
 - Factores psicológicos del color (Luminotecnia y color)

Objetivos de la lección

- ¿Podemos alumbrar artificialmente igual que con luz diurna (solar)?
 - La luz diurna es muy variable → promedio
- ¿Cuáles serían las consecuencias visuales si esto no fuera posible?
- ¿Cuándo es aconsejable elegir lámparas que no simulen la luz diurna?

Introducción

- Elementos a tener en cuenta
 - Flujo luminoso (Φ), en lm
 - Eficacia luminosa: $\varepsilon = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$
 - Constancia del color?
 - Tipos de lámparas
 - Incandescentes
 - Descarga
 - Luminarias
 - Diseño de iluminación (en Ergonomía Visual)
 - Interiores
 - Exterior (vía pública)



Incandescencia

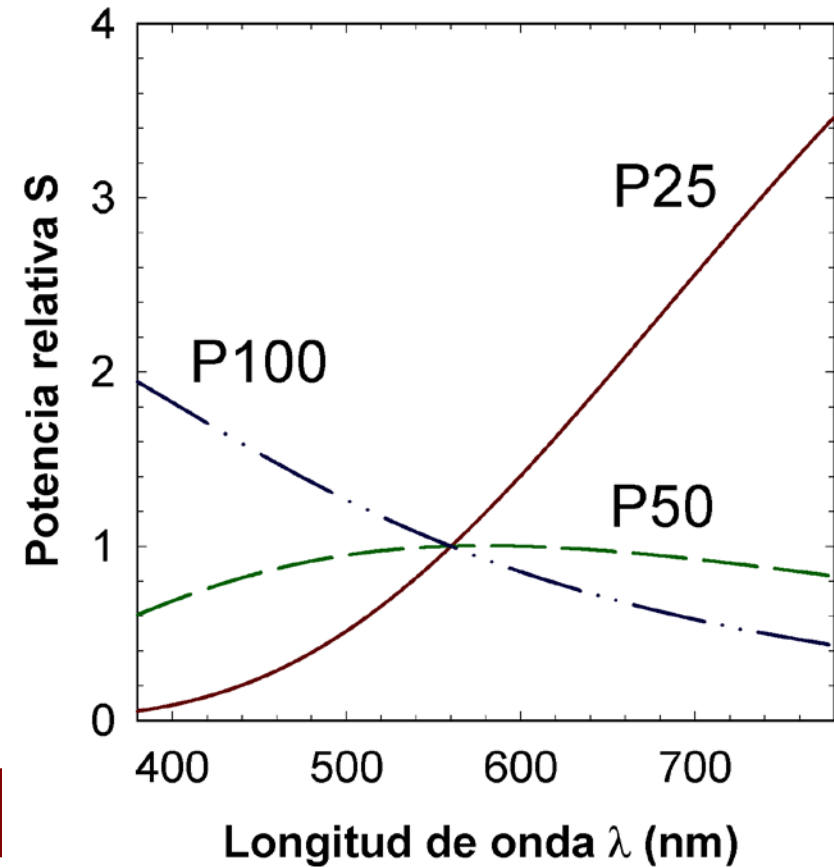
- Radiadores planckianos
 - Forma del espectro de emisión:

$$S_P(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right]$$


$$c_1 = 3.742 \cdot 10^{16} \left[\text{W} \cdot \text{m}^2 \right]$$

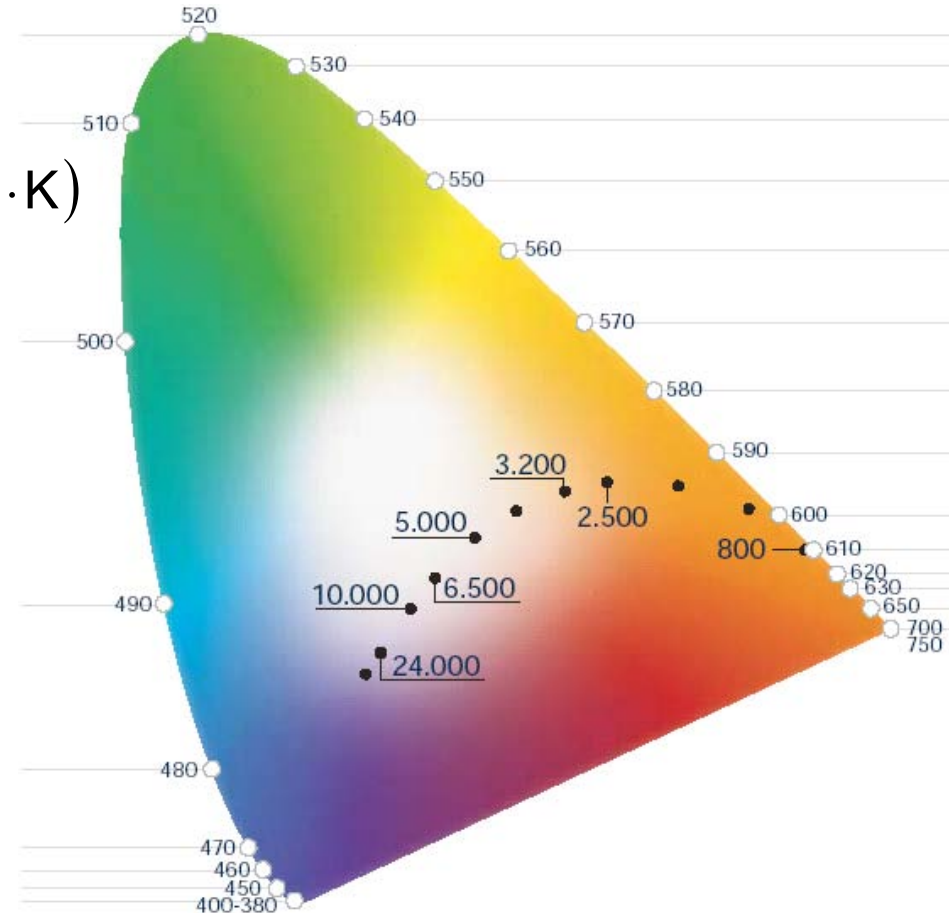
$$c_2 = 1.4388 \cdot 10^{-2} \left[\text{m} \cdot \text{K} \right]$$

Temperatura de color



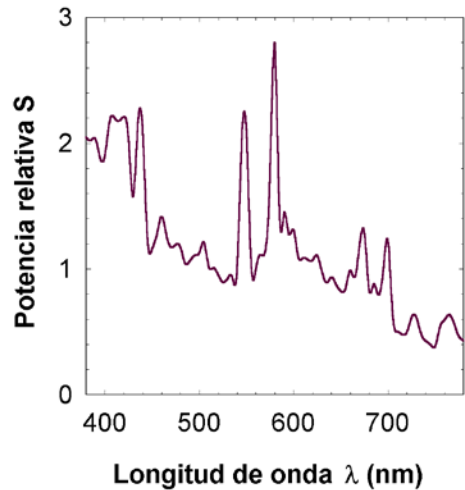
Temperatura de color

- Radiadores planckianos
 - Temperatura de color (T)
 - Ley de Wien: $\lambda_{MAX} \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ (m} \cdot \text{K)}$
 - Ley de Boltzmann: $L \propto T^4 \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2})$
- 
- Colores fríos y cálidos
 - Apariencia cálida: $T < 3300 \text{ K}$
 - Apariencia neutra: $T < 5300 \text{ K}$
 - Apariencia fría: $T > 5300 \text{ K}$



Temperatura de color

- Temperatura correlacionada de color (T_c)
 - ¿Qué pasa cuando el espectro de una lámpara no se parece a ningún radiador planckiano?
 - ¿Cómo indicar que el color de “ésta lámpara” se parece al de un radiador planckiano específico?



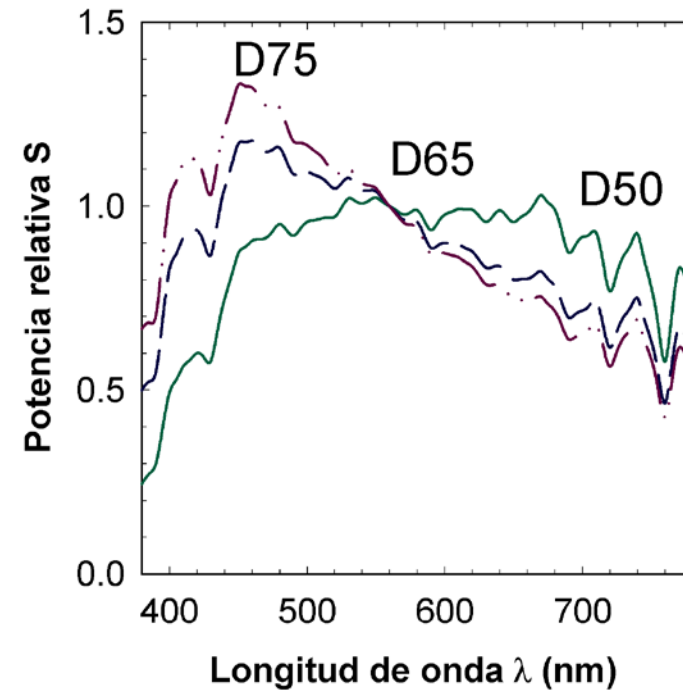
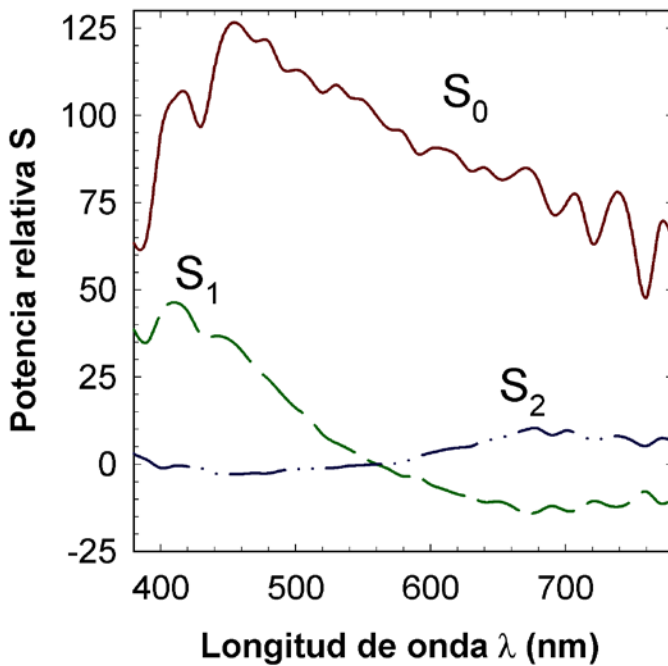
¿XYZ?

¿ T_c ?

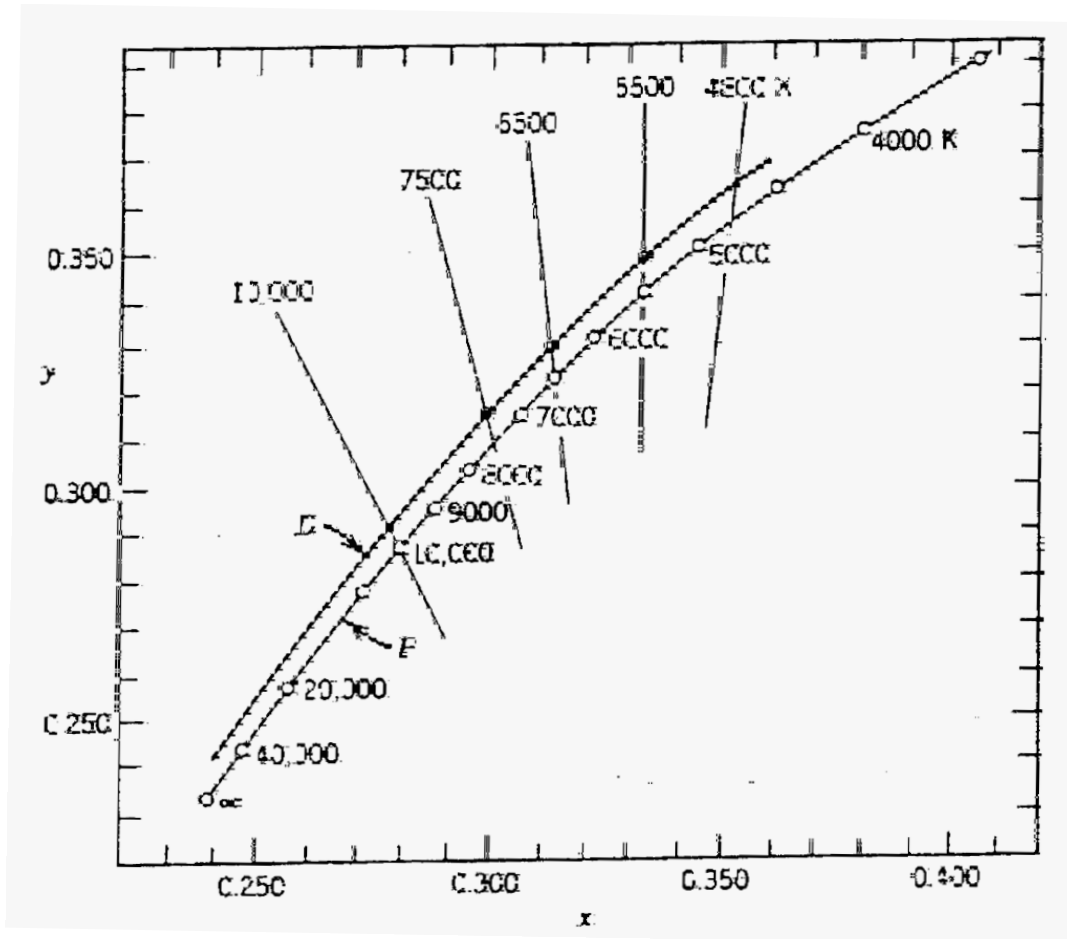
Temperatura de color

- Ejemplo: fases de luz diurna

- Forma del espectro de emisión $S_D(\lambda) = S_0(\lambda) + a_1 S_1(\lambda) + a_2 S_2(\lambda)$



Temperatura de color



Temperatura de color

- Cálculo de T_C para cualquier lámpara

Espectro $S(\lambda)$



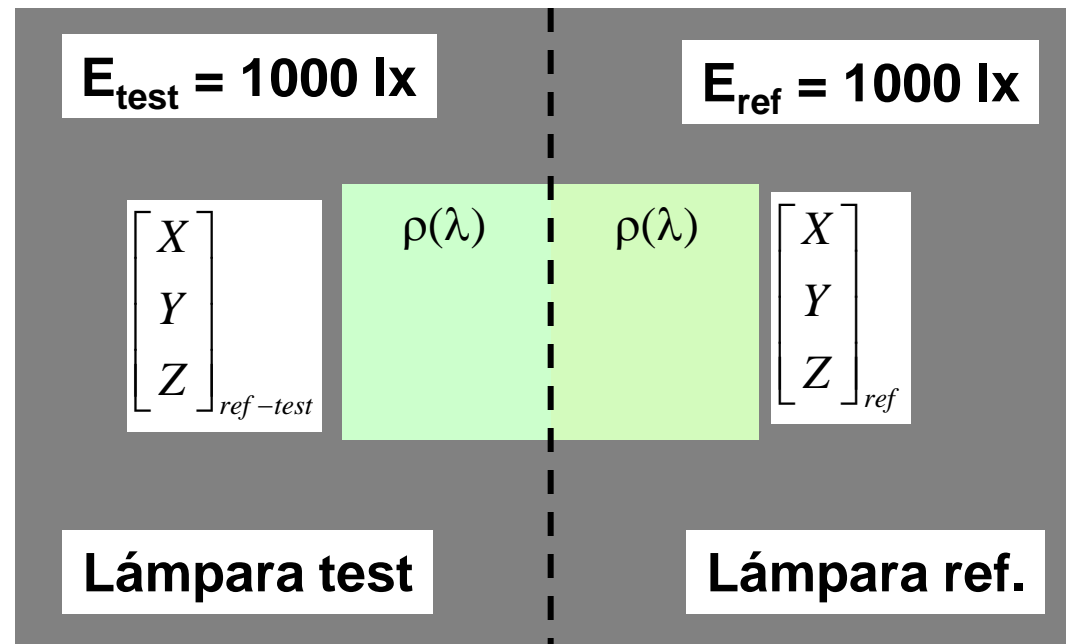
Coordenadas x, y

$$n = \frac{x - x_e}{y - y_e} \Rightarrow T_C = A_0 + A_1 \exp\left(-\frac{n}{t_1}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{n}{t_2}\right) + A_3 \exp\left(-\frac{n}{t_3}\right)$$

x_e	y_e	A_0	A_1	t_1	A_2	t_2	A_3	t_3
0.3366	0.1735	-949.863	6253.803	0.92159	28.706	0.20039	0.00004	0.07125

Rendimiento en color

- ¿Cuál es el efecto que la lámpara tiene sobre la apariencia de los colores en comparación con la de una fuente luminosa de referencia?



Rendimiento en color

- Índices especiales R_i
 - Índices generales R_a (los 8 primeros) y R_b (los 14)



7.5R 6/4



5Y 6/4



5GY 6/8



2.5G 6/8



10BG 6/4



5PB 6/8



2.5P 6/8



10P 6/8



4.5R 4/13



5Y8/10



4.5G 5/8



3PB 3/11



5YR 8/4

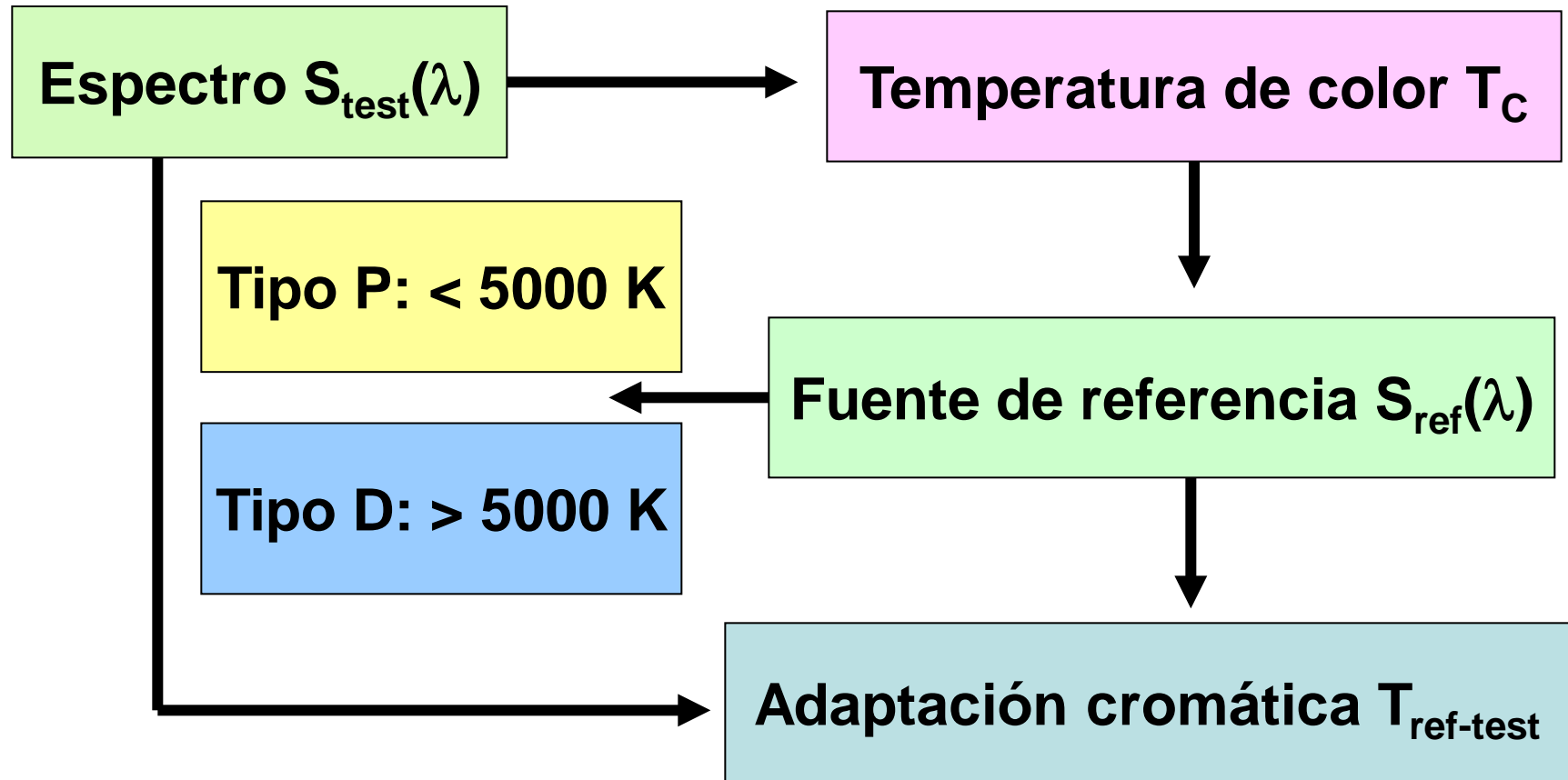
↓
Piel humana



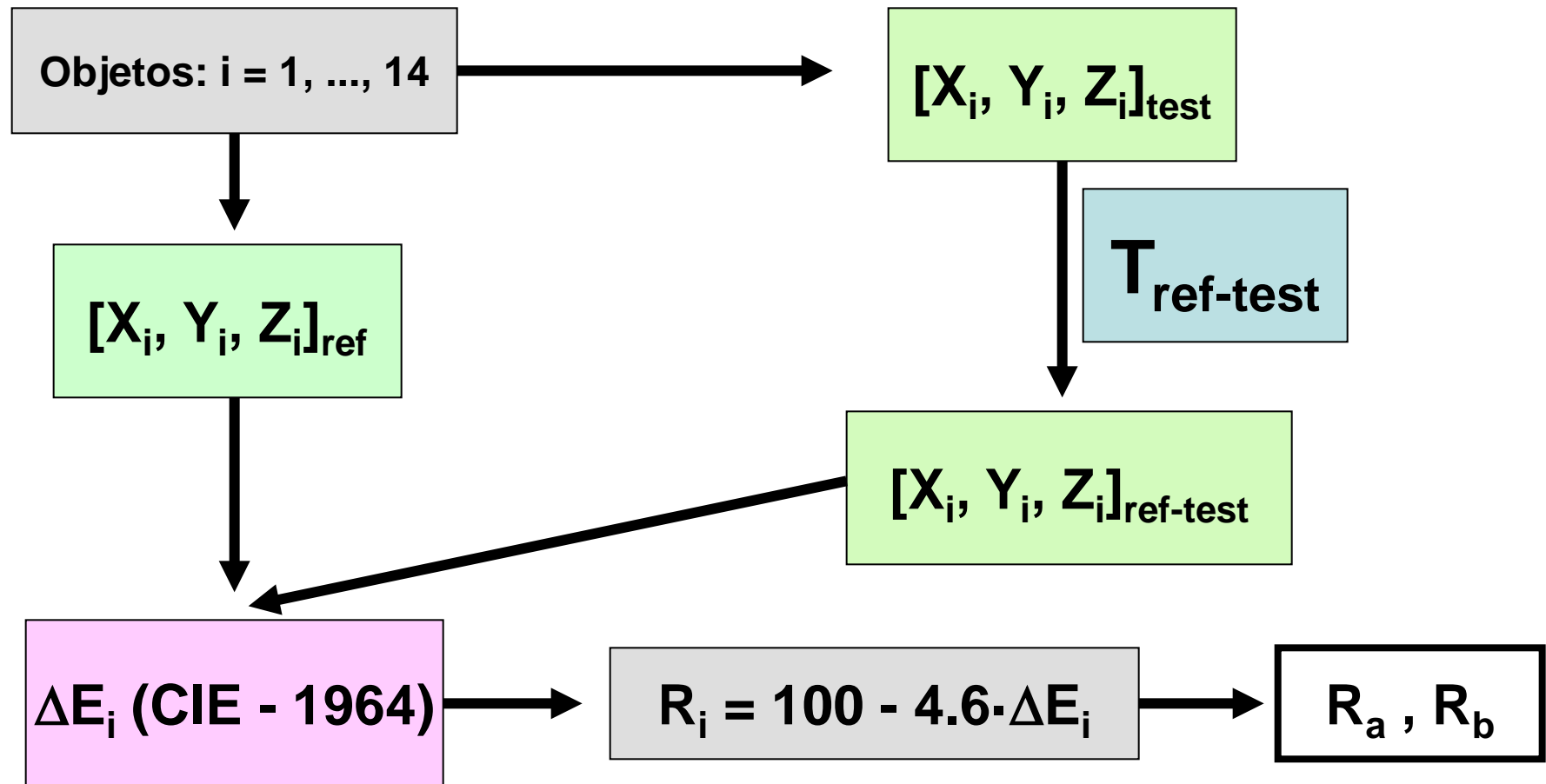
5GY 4/4

↓
Verde oliva

Rendimiento en color



Rendimiento en color



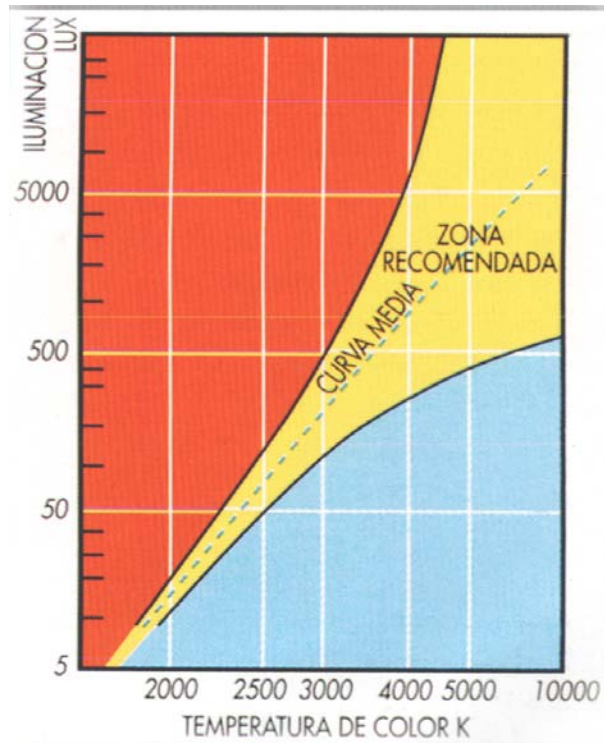
	Descarga de Hg				Descarga de Na	
	Baja presión	Alta presión	Luz mezcla	Halogenuros metálicos	Baja presión	Alta presión
Potencia nominal [W]	58	50	160	70	55	50
Flujo luminoso [lm]	5200	1800	3100	5500	8100	4000
Eficacia luminosa [lm/W]	89.65	36	19.37	78.57	147.27	80
Vida útil [h]	7500	14000	6000	12000	14000	16000
Tiempo de encendido	5 min	4 min	2 min	10 min	15 min	5 min
Tiempo de re-encendido	10 min	5 min	en frío	10 min	2 min	10 min
Temperatura de color [K]	3000 6500	3500 4200	3500 4200	3000 6000	1800	2100
Rendimiento en color	85	50	50	60 - 93	nulo	20 - 65

Rendimiento en color

Grupo	Rango de R_a	Apariencia del color	Uso preferible	Uso aceptable
1A	[90, 100[Cálido Neutro Frío	Igualaciones de color, exploraciones clínicas, galerías de arte	
1B	[80, 90[Cálido Neutro	Hogares, hoteles, restaurantes, tiendas, oficinas, escuelas, hospitales	
		Neutro Frío	Artes Gráficas, industrias textil y papelera, trabajo industrial	
2	[60, 80[Cálido Neutro Frío	Trabajo industrial	Oficinas, escuelas
3	[40, 60[Industrias que manejan objetos grandes	Trabajo industrial
4	[20, 40[

Rendimiento en color

- Zona de confort visual de Kruithof (1941):
 - Luz blanco-amarillenta (cálida) → poca luz
 - Luz blanco-azulada (fría) → mucha luz

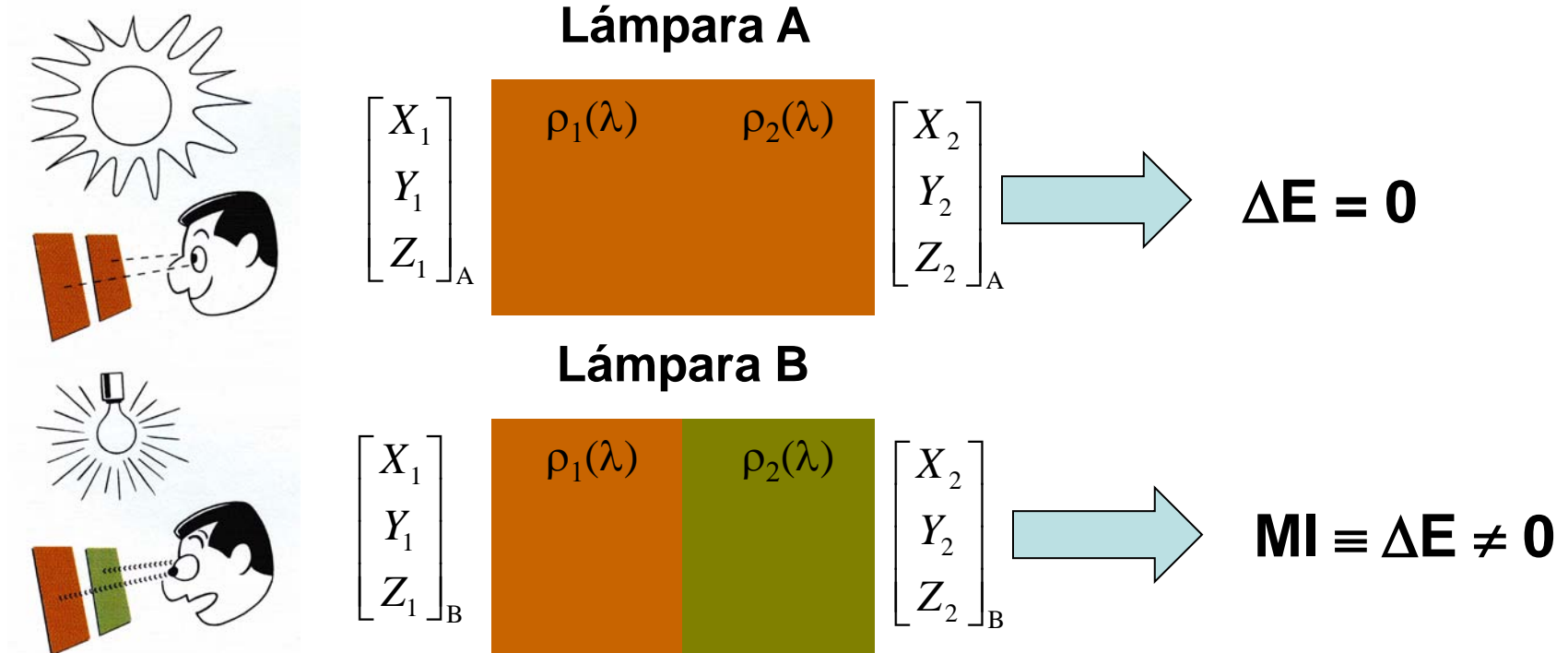


Etiquetado de lámparas



Grado de metamerismo MI

- ¿Cuál es el cambio de color entre dos muestras que parecen iguales bajo una lámpara y diferentes bajo otras?



Simulación de luz diurna

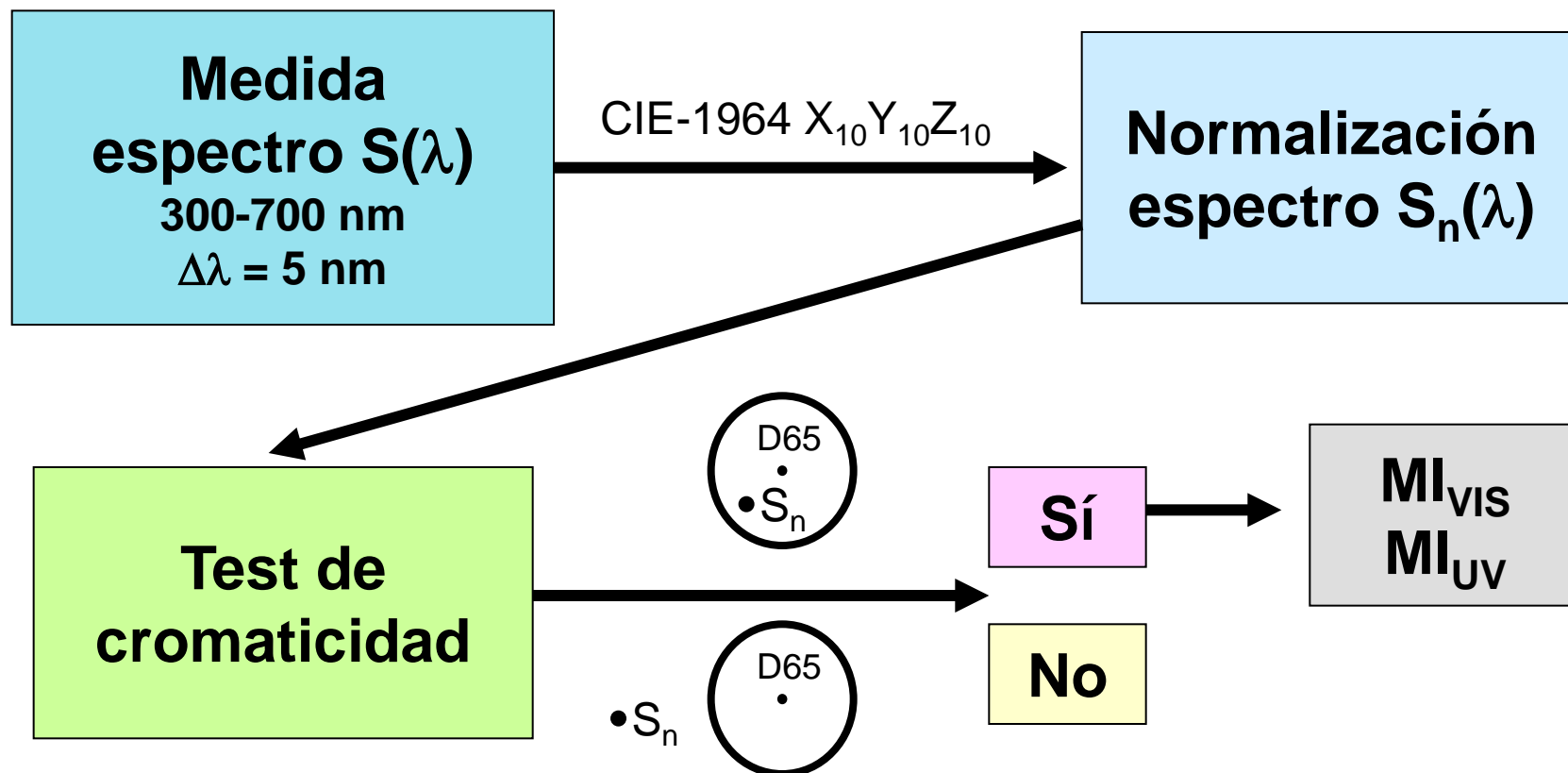
- ¿Grado de metamerismo respecto a D65?
 - Categorías:
 - En el rango visible (VIS): MI_{VIS}
 - Uso de 5 pares de colores metámeros bajo D65
 - En el rango ultravioleta (UV): MI_{UV}
 - Uso de 3 pares de colores (no-fluorescente vs. fluorescente) metámeros bajo D65

$\Delta E (L^*a^*b^*) =$	$[0, 0.25[$	$[0.25, 0.50[$	$[0.50, 1[$	$[1, 2 [$	$[2, +\infty[$
Categoría	A	B	C	D	E

- Ejemplos del índice final: BA, BE, CE, etc

Simulación de luz diurna

- Algoritmo de cálculo: etapas 1 - 2



Simulación de luz diurna

- ¿Grado de metamerismo respecto a D65? → Se establecen categorías según el resultado de medir dos grados de metamerismo:

- En el rango visible (VIS): MI_{VIS}

5 pares de metámeros (D65)

ρ_{11}	ρ_{12}	→	$\Delta E_1 (L^*a^*b^*)$
ρ_{21}	ρ_{22}	→	$\Delta E_2 (L^*a^*b^*)$
ρ_{31}	ρ_{32}	→	$\Delta E_3 (L^*a^*b^*)$
ρ_{41}	ρ_{42}	→	$\Delta E_4 (L^*a^*b^*)$
ρ_{51}	ρ_{52}	→	$\Delta E_5 (L^*a^*b^*)$

$$MI_{VIS} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \Delta E_i$$

Simulación de luz diurna

- ¿Grado de metamerismo respecto a D65?
 - En el rango ultravioleta (UV): MI_{UV}

3 pares de metámeros (D65)

ρ_1	β_1	→	$\Delta E_1 (L^*a^*b^*)$
ρ_2	β_2	→	$\Delta E_2 (L^*a^*b^*)$
ρ_3	β_3	→	$\Delta E_3 (L^*a^*b^*)$



$$MI_{UV} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \Delta E_i$$

↓
fluorescente

No
fluorescente

El ambiente cromático

- El color provoca reacciones psíquicas y emocionales → decoración de entornos

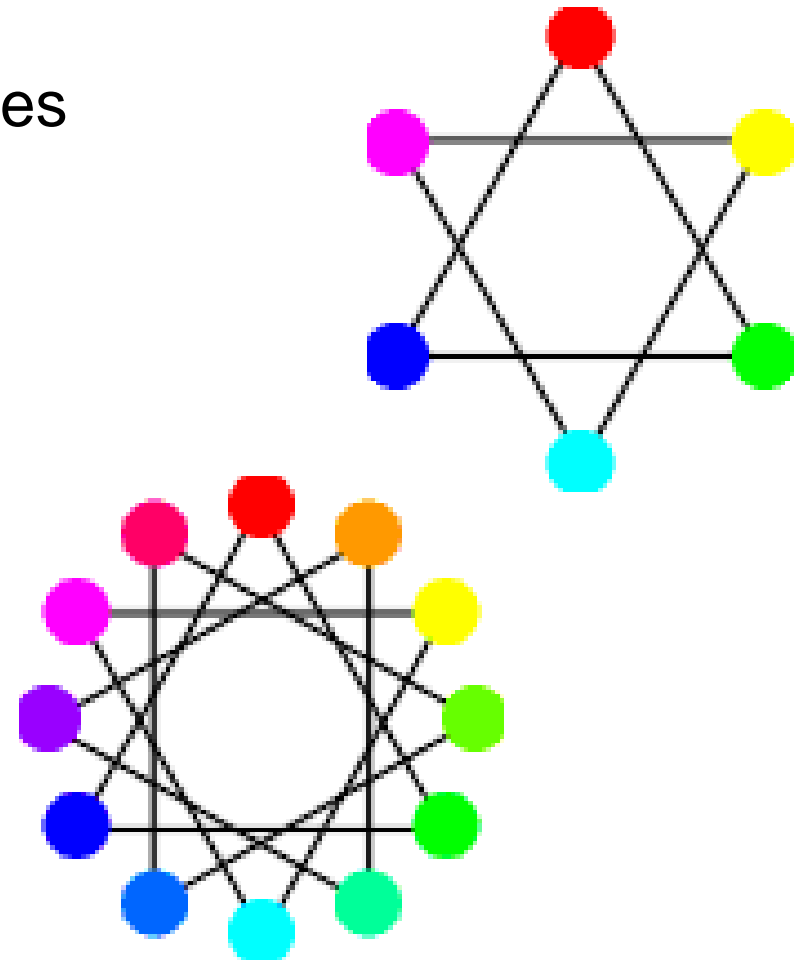
- Colores básicos por preferencia

- Azul
- Rojo
- Verde
- Púrpura
- Amarillo
- Naranja
- Acromático (blanco – gris - negro)



El ambiente cromático

- Armonía de colores: rueda de colores
 - Colores adyacentes:
 - Vecinos, al lado uno de otro
 - Colores complementarios:
 - Separados por otro color (tono)
 - Colores opuestos:
 - En oposición, enfrente uno de otro



El ambiente cromático

- Colores “fríos”: azul, turquesa, violeta
 - Relajantes, lejanos
- Colores “cálidos”: amarillo, naranja, rojo
 - Dinámicos, excitantes, cercanos
- Colores neutros: blanco, gris, negro, marrón, plata
 - Adecuados para fondos
- Colores marginales: verde y magenta
 - Inducción cromática: Área (fondo) \leq Área (test)
 - El color test se desvía en tono hacia el tono oponente del fondo
 - Asimilación: Área (fondo) \gg Área (test)
 - el color test se desvía en tono hacia el tono adyacente del fondo

El ambiente cromático

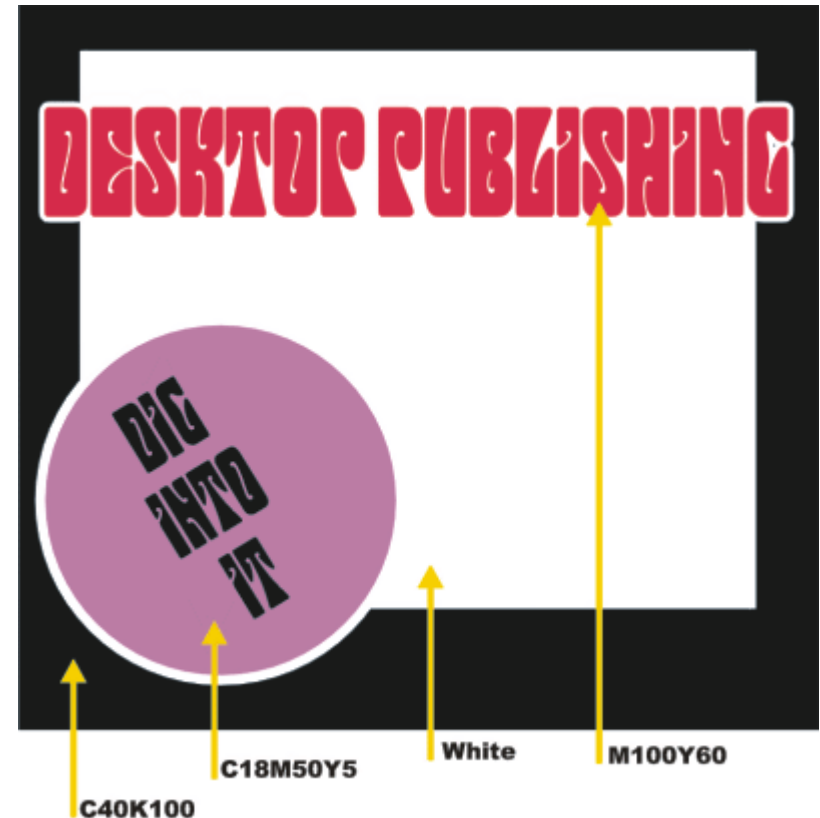
- Diseño de interiores
 - Objetivo: emular los colores de la naturaleza
 - Colores - tierra para el suelo
 - Colores de follaje para las paredes
 - Colores de la atmósfera para el techo
 - Reglas básicas:
 - Colores + claros por encima del observador
 - Colores + oscuros por debajo del observador
- Diseño de moda
 - Colores chillones (muy intensos) para los atrevidos
 - Colores grisáceos o pasteles para los reservados
 - Colores intensos y claros para los niños

El ambiente cromático

- Colores neutros (I): blanco
 - Cualidades positivas:
 - Nieve
 - Pureza
 - Inocencia
 - Paz
 - Claridad
 - Limpieza
 - Cualidades negativas:
 - Frío
 - Clínico
 - Vulnerabilidad
 - Palidez mortal
 - Rendición
 - Esterilidad

El ambiente cromático

- Colores neutros (II): negro
 - Cualidades positivas:
 - Noche
 - Carbón
 - Potencia
 - Estabilidad
 - Formalidad
 - Solidez
 - Cualidades negativas:
 - Miedo
 - Vacío
 - Muerte
 - Secreto
 - Anonimato
 - Maldad

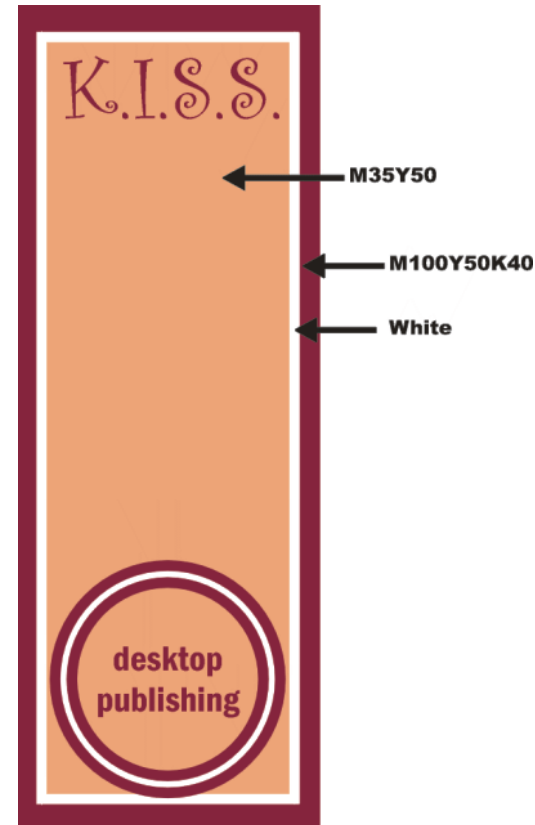


El ambiente cromático

- Colores neutros (III): gris
 - Cualidades positivas:
 - Inteligencia
 - Madurez
 - Riqueza
 - Dignidad
 - Dedicación
 - Moderación
 - Cualidades negativas:
 - Confusión
 - Decaimiento
 - Concreto
 - Sombra
 - Depresión
 - Aburrimiento

El ambiente cromático

- Colores cálidos (I): rojo
 - Cualidades positivas:
 - Victoria
 - Pasión
 - Amor
 - Intensidad
 - Energía
 - Sexualidad
 - Cualidades negativas:
 - Sangre
 - Guerra
 - Fuego
 - Peligro
 - Cólera
 - Satánico



El ambiente cromático

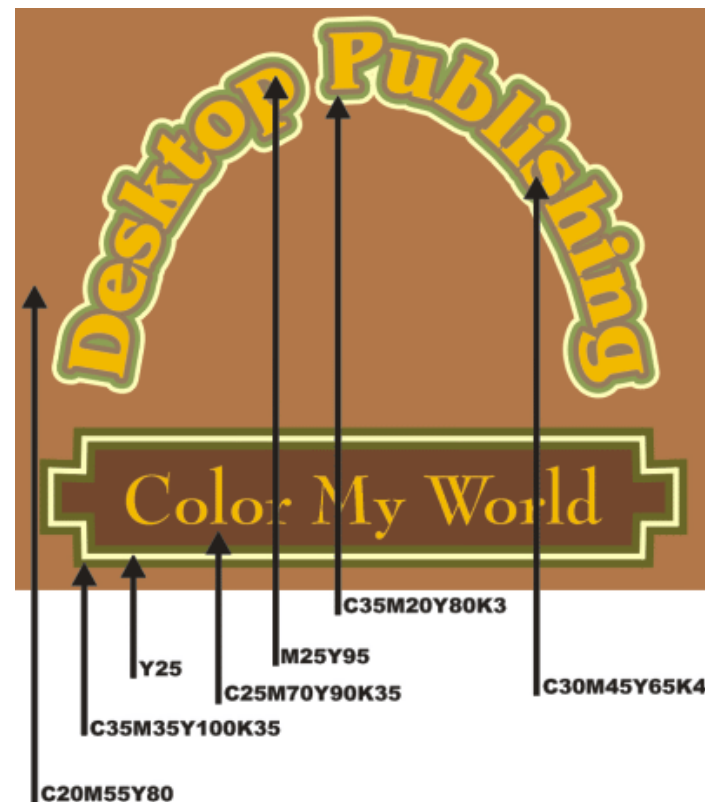
- Colores cálidos (II): amarillo

- Cualidades positivas:

- Sol
- Verano
- Serenidad
- Oro
- Siega de la cosecha
- Innovación

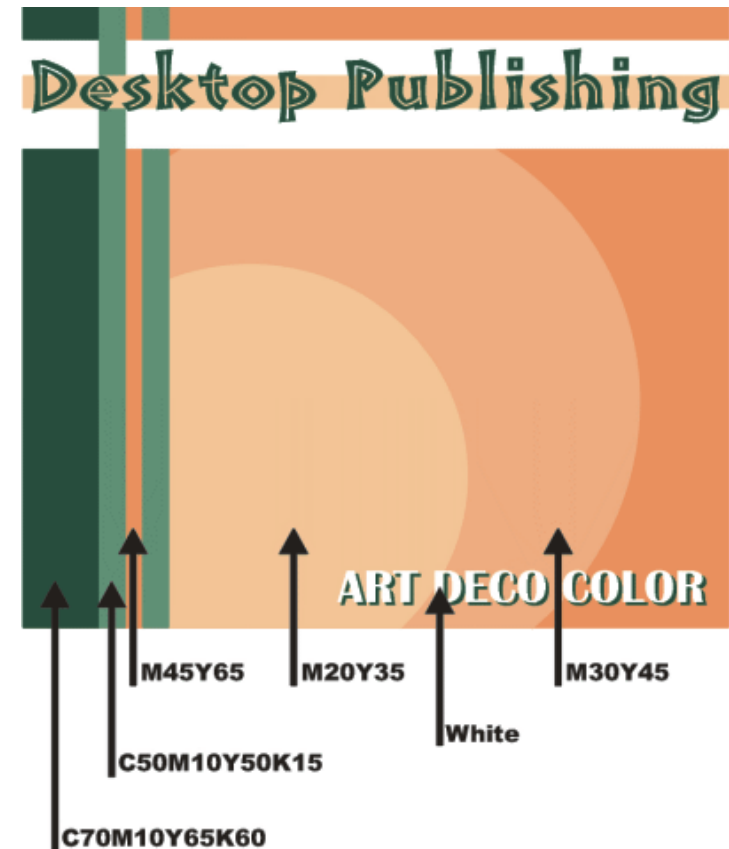
- Cualidades negativas:

- Cobardía
- Traición
- Celos, envidia
- Riesgo
- Enfermedad
- Locura



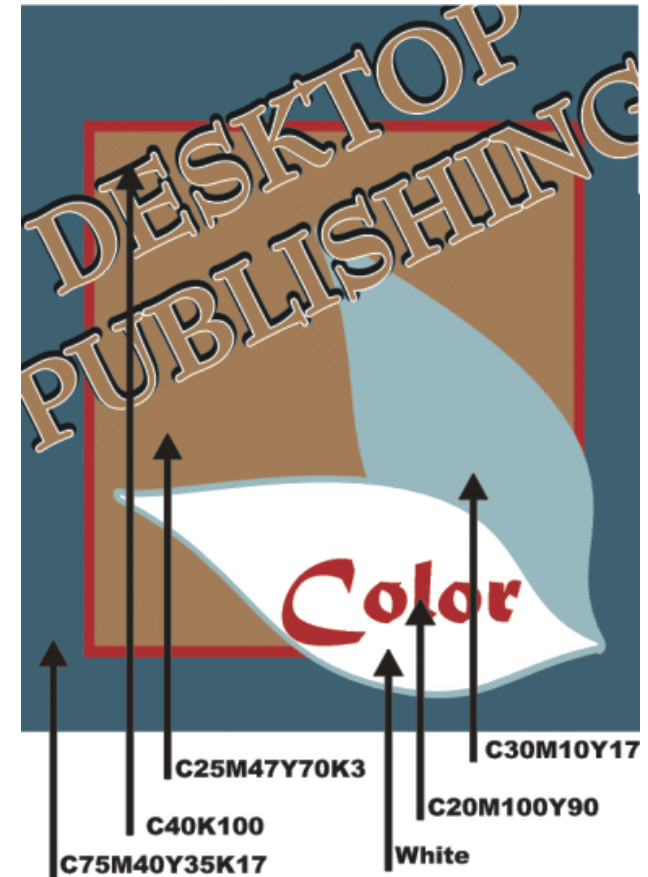
El ambiente cromático

- Colores fríos (I): verde
 - Cualidades positivas:
 - Vegetación
 - Naturaleza
 - Primavera
 - Fertilidad
 - Esperanza
 - Seguridad
 - Cualidades negativas:
 - Decaimiento
 - Inexperiencia
 - Envidia
 - Codicia
 - Fuga
 - Mala suerte



El ambiente cromático

- Colores fríos (II): azul
 - Cualidades positivas:
 - Cielo
 - Mar
 - Espiritualidad
 - Estabilidad
 - Paz
 - Unidad
 - Cualidades negativas:
 - Frío
 - Depresión
 - Melancolía
 - Obscenidad
 - Misterio
 - Conservación



Consejos para la decoración

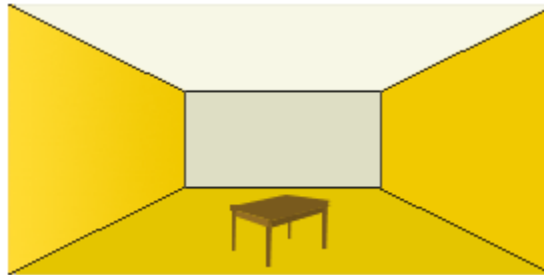
- Ergonomía del color en la decoración
 - La forma en que se utilice el color en las paredes, techo y suelo puede alterar dramáticamente la apariencia de las proporciones del entorno
 - Es posible modificar el largo, ancho y alto de una habitación con el simple uso del color
 - Pasos básicos a seguir:
 - Análisis ergonómico del ambiente
 - Si es correcto: selección de colores para realzar (contraste)
 - Si no es correcto ...

Consejos para la decoración

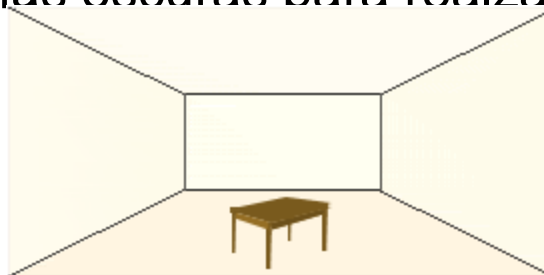
- Efectos psicológicos de los colores
 - Los colores fríos tienden a alejar, empujan hacia atrás las paredes haciendo sentir más espacioso un ambiente
 - Los colores luminosos también logran este efecto
 - Por el contrario, las paredes pintadas con colores cálidos u oscuros parecen estar más cerca
 - Las grandes habitaciones con cielos rasos muy altos pueden resultar poco confortables, por eso si pintamos las paredes y cielo raso en colores cálidos “tranquilos”, lograremos un ambiente más acogedor

Consejos para la decoración

- Subir un cielo raso: pintar el techo más claro
 - Que sea continuo

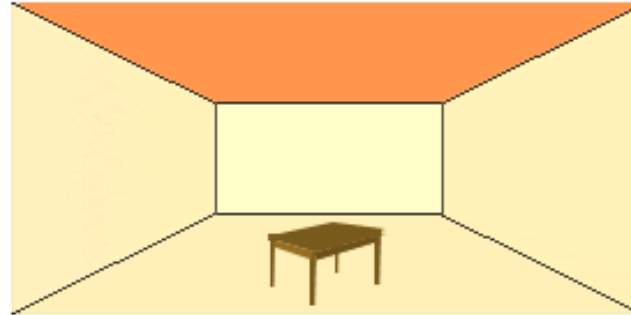


- Dar amplitud: pintar las paredes más claras
 - Pintar las molduras más oscuras para realzar el espacio



Consejos para la decoración

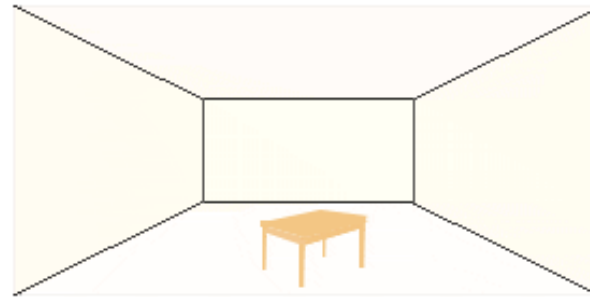
- Bajar el cielo raso: pintar el techo más oscuro
 - Para techos muy altos



- Ambiente con formas irregulares
 - Pintar con un único color claro

Consejos para la decoración

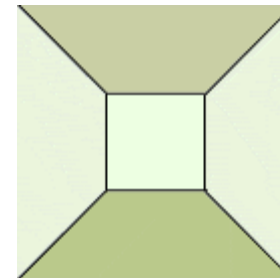
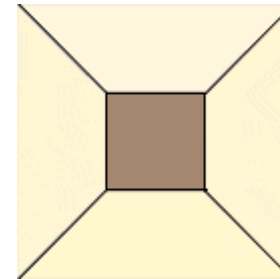
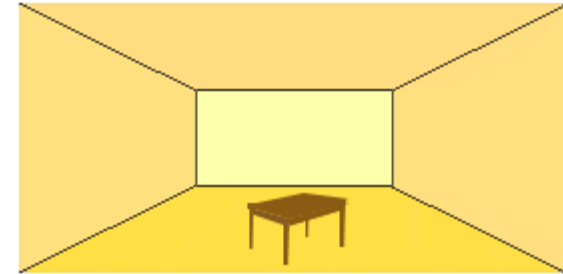
- Ensanchando un ambiente angosto:
 - Pintar con colores claros las paredes y el mobiliario



- Ampliando un ambiente
 - Colores pasteles
 - habitaciones muy luminosas → color pastel frío
 - habitaciones oscuras → color pastel cálido

Consejos para la decoración

- Dar calidez a un ambiente grande
 - Utilizar colores cálidos
 - paredes y el techo: fuertes y brillantes
 - suelo: + oscuro
- Acortar un pasillo
 - Pintar el fondo más oscuro
 - paredes laterales de color pastel
- Alargar y ensanchar un pasillo
 - Pintar el fondo más claro
 - paredes laterales y fondo: + claros
 - suelo y techo: + oscuro



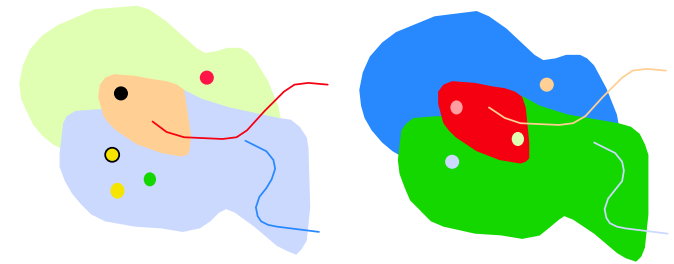
Consejos para la decoración

- Otros usos ergonómicos del color

- Mobiliario urbano



- Legibilidad de texto y esquemas



- Diseño web

Orden 1
Orden 2
Orden 3

Orden 4
Orden 5
Orden 6

Orden 7
Orden 8
Orden 9

- Publicidad