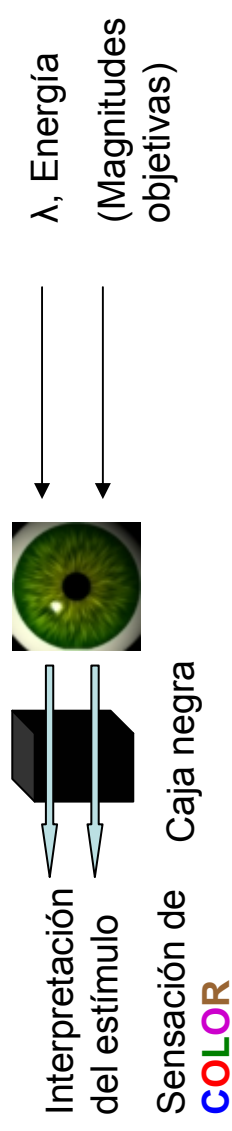
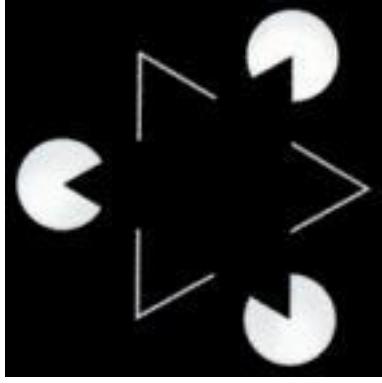


El color

Color como magnitud física ¿?

- Hay magnitudes físicas que son detectables objetivamente (mediante aparatos) como energía, tiempo, longitud, peso.
- Sin embargo, cuando las magnitudes físicas se convierten en estímulos de algún órgano sensorial humano, la medida de dicho estímulo no es algo objetivo (diferentes sujetos pueden percibir diferentes estímulos en las mismas condiciones físicas).
- El problema reside en que el **estímulo** que produce en nosotros una magnitud física como puede ser una radiación luminosa en el caso del color, **no es un medida de la misma sino una interpretación** que hace nuestro sistema sensorial y nuestro cerebro. Lo denominamos **sensación**. Este es el origen de las ilusiones ópticas



Color como magnitud física ¿? (2)

- La magnitud física que produce el estímulo del color es la radiación electromagnética compuesta por la superposición de ondas electromagnéticas de diferente frecuencia (luz no monocromática, luz blanca,...). La representamos como la oposición perpendicular de dos campos, uno eléctrico **E** y otro magnético **B** viajando ambos en dirección perpendicular a ambos.
- La magnitud que caracteriza a la luz es su longitud de onda (λ) o su inversa la frecuencia $\lambda = c / f$
- La clasificación de la luz por su λ se denomina espectro y cada región del espectro electromagnético corresponde a una familia de ondas, entre ellas el espectro de la luz visible por los humanos, que es una estrecha franja de todo lo existente..

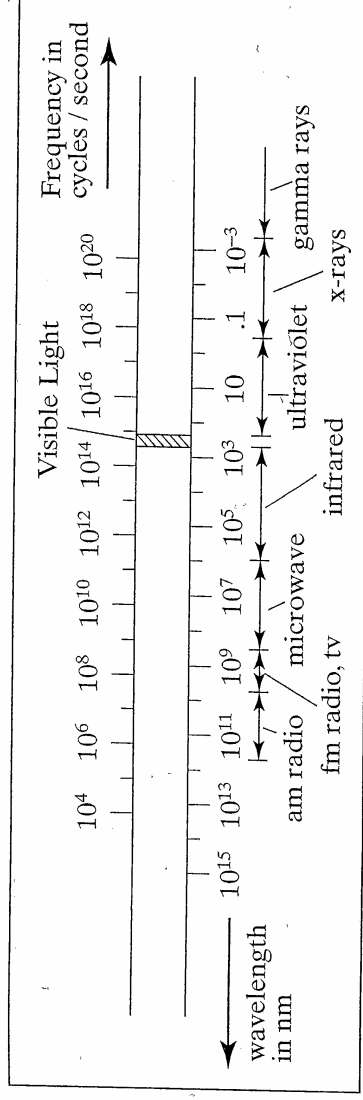
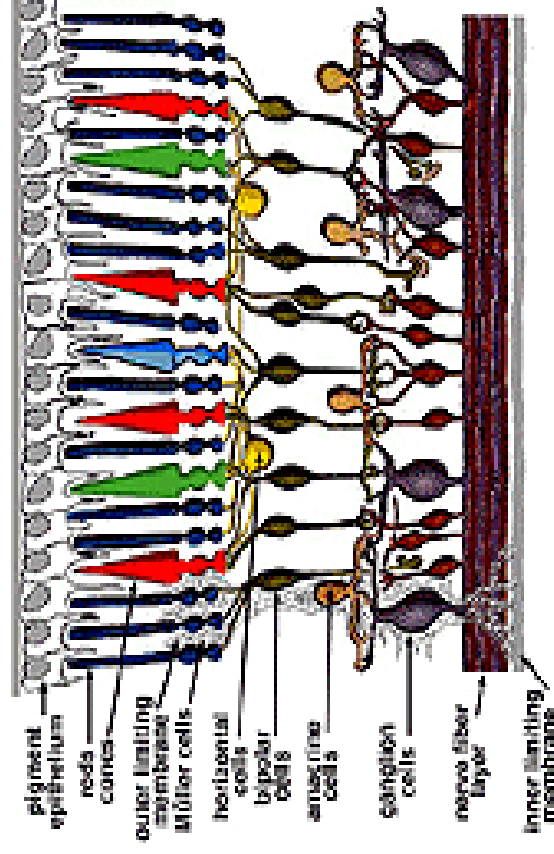


FIGURE 12.1 Electromagnetic spectrum.

El ojo

- El ojo es una lente óptica que dirige los rayos de la luz visible sobre una región de terminaciones nerviosas denominada retina.
- La retina esta formada por células nerviosas de dos tipos **conos** y **bastones**.
- Los **conos** son los encargados de discriminar entre diferentes longitudes de onda y por tanto son los que generan los estímulos del color. Las longitudes de onda que estimulan estas células van de 400 nm (violeta) hasta 700 nm (rojo)
- Hay conos especializados en discriminar luz que es traducida en colores rojo, verde o azul.
- Existen en la retina del orden de 6 ó 7 millones de conos
- Los **bastones** perciben intensidades de la luz . Hay del orden de 150 millones de bastones en la retina. Esto hace que percibamos mejor las intensidades (volúmenes y formas) de los objetos que su color en condiciones de poca luz.



Dibujo: web
Univ. Utah

Comportamiento del sistema visual humano frente a los estímulos

La fracción de radiación absorbida para discriminar el color azul es mucho menor que para otros colores. Esto se traduce a que la gama de azules es percibida con menos poder de discriminación que para otros colores como el verde o el amarillo.

Esto se puede observar en el segundo diagrama donde la máxima sensibilidad (y por tanto poder de discriminación) se alcanza en las tonalidades verde-amarillas

En el tercer diagrama se muestra en ordenadas la variación de longitud de onda necesaria para percibir dos luces similares como distintas. Podemos ver cómo la mayor sensibilidad de discriminación corresponde a la zona entre 550 y los 600 nm

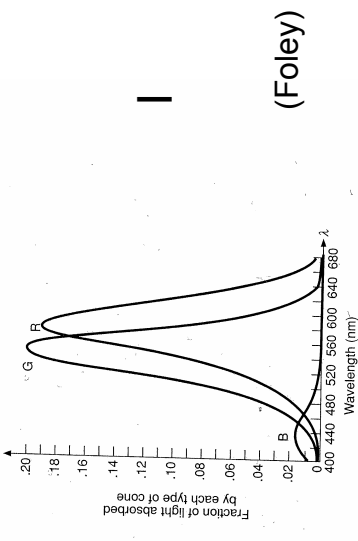


Fig. 13.18 Spectral-response functions of each of the three types of cones on the human retina.

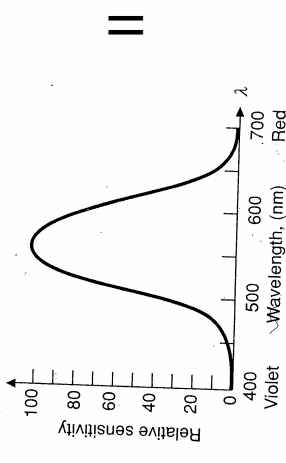


Fig. 13.19 Luminous-efficiency function for the human eye.

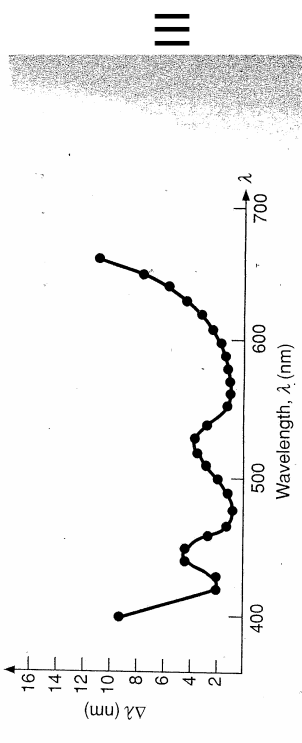
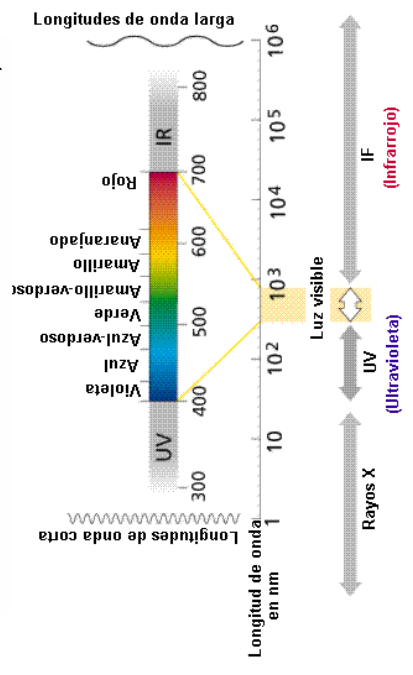


Fig. 13.21 Just-noticeable color differences as a function of wavelength λ . The ordinate indicates the minimum detectable difference in wavelength between adjacent color samples. (Source: Data are from [BEDF58].)

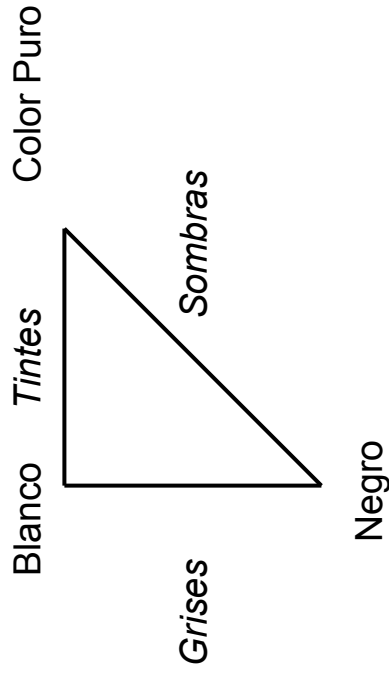


Colorimetría

- Por colorimetría entendemos el conjunto de métodos utilizados para describir colores y diferenciarlos entre sí. Se trata de medir UN ESTIMULO y por lo tanto, una respuesta humana a la interacción con una magnitud física.
- Este conjunto de métodos podemos clasificarlo en dos grandes grupos:
 - Métodos psicológicos basados en la sensación fisiológica del color
 - Métodos instrumentales, basados en magnitudes físicas que actúan como parámetros discriminantes
- **Métodos psicológicos.**
- **El color para los pintores.**
- Desde antiguo los pintores han conocido que los colores podía distinguirse o construirse mediante la variación de tres parámetros subjetivos que posteriormente han formado el llamado **sistema de coordenadas psicológicas del color.**
- Estos parámetros son:
 - **TONO o MATIZ**, que permite diferenciar el color amarillo del naranja o del verde por ejemplo
 - **SATURACIÓN**, que da idea de la pureza del color, siendo ésta la proporción de blanco que tiene el color. Un color será tanto más saturado contra menos componente de blanco posea.
 - **BRILLO**, que indica la intensidad de la luz que provoca el estímulo.

Colorimetría (2)

- Estos tres parámetros son puramente psicológicos, en este sentido son características diferenciadoras medibles de la sensación del color, no del estímulo físico que lo produce.
- Los artistas han tomado tres “**colores puros**” (**Amarillo** , **Magenta y Cyan**), el **blanco** para establecer las gradaciones de saturación y el **negro** para reflejar los cambios de intensidad, así a la combinación de estos pigmentos básicos los denominan “**tonos**” , “**grises**” , “**tintes**” y “**sombras**”

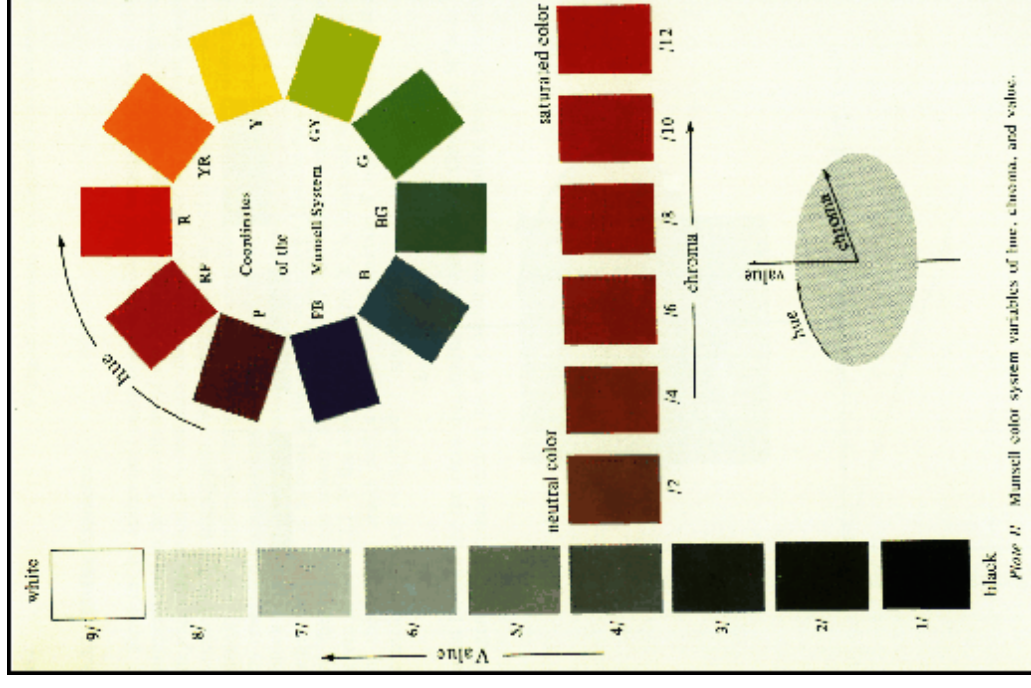


Los Atlas de color

Otro método muy extendido para la clasificación de colores es la comparación con patrones. Se establecen patrones de colores que a veces son objetivos, como mezclas estequiométricas de pigmentos estándar y a veces son subjetivos “verde amarillento pálido sucio” . Estos patrones se establecían en tablas organizados por tonalidades.

Colorimetría (3)

- De esta manera un color se clasifica con el parecido a un patrón de la tabla.
- Dos tablas muy utilizadas son:
- **Munsell (1915)** donde los patrones de color se describen con los tres parámetros usados por los artistas (**Huge = tono, Chroma = saturación o pureza, Value = Brillo**). Es utilizado muy habitualmente para la fabricación de pinturas



Colorimetría (4)

- **Pantone:** Es una tabla de color utilizada para la elección de tintas en la industria de impresión gráfica sobre papel. En ellas cada color está clasificado con un número. Al convertirse en un estándar de la industria, muchas empresas tienen sus mezclas clasificadas por los números Pantone. Estas tablas se reemplazan cada año para que el envejecimiento del soporte no desvirtuara el color representado.
- Pantone es una casa comercial que, aparte de distribuir dicha tabla, también produce las tintas.



Todos los Atlas de color deben **observarse bajo unas condiciones específicas** que atañen a:

Luz con la que se iluminan las muestras

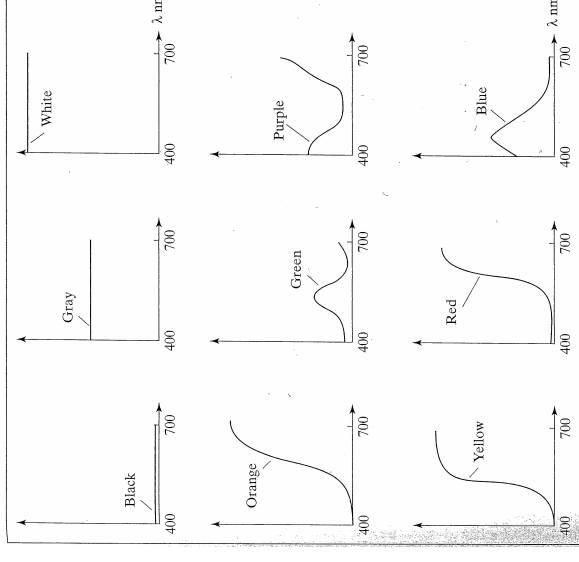
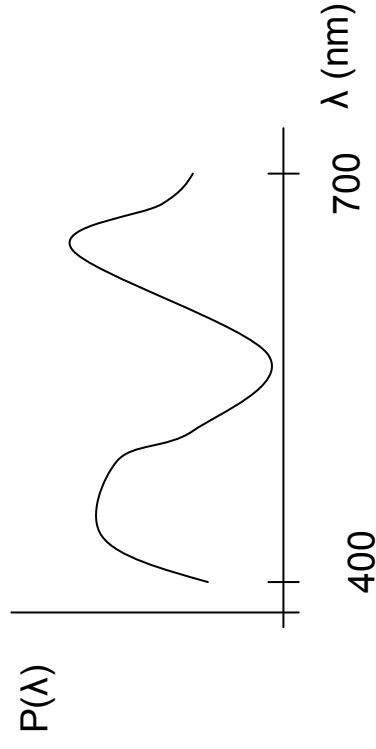
Tamaño de las muestras

Fondo sobre el que se observa

Luz del entorno

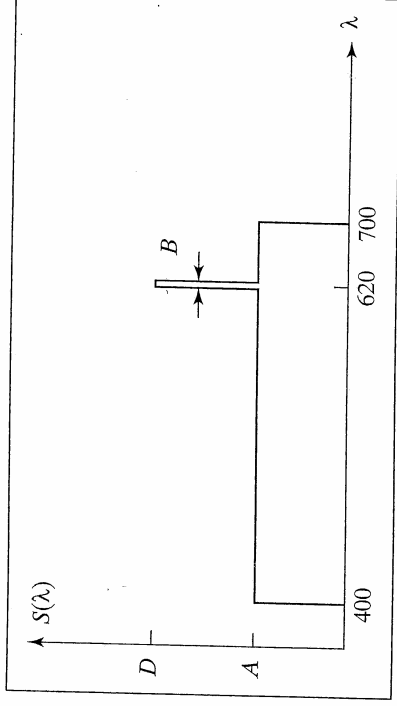
Colorimetría (5)

- **Métodos instrumentales**
- En 1853 Hermann Grassmann sienta las bases de la colorimetría instrumental al indicar que:
 - El ojo puede detectar variaciones graduales en una luz de estos tres parámetros
 - **Longitud de onda dominante** (correspondiente a la λ del color que vemos)
 - **Pureza** (cómo de mezclada está la λ dominante con las otras (luz blanca))
 - **Luminancia** (Intensidad luminosa)
- Cualquier luz percibida como estímulo posee una distribución espectral $P(\lambda)$ que indica la energía de cada luz monocromática que forma la luz percibida.



Colorimetría (6)

- Muchas radiaciones con $P(\lambda)$ DIFERENTES pueden producir en el sistema visual humano la sensación de un mismo color. A las luces que, siendo físicamente diferentes producen una misma sensación de color se las denomina **metámeros**.
- Todos los metámeros pueden ser descritos por la misma terna de parámetros medibles expuestos por Grassmann



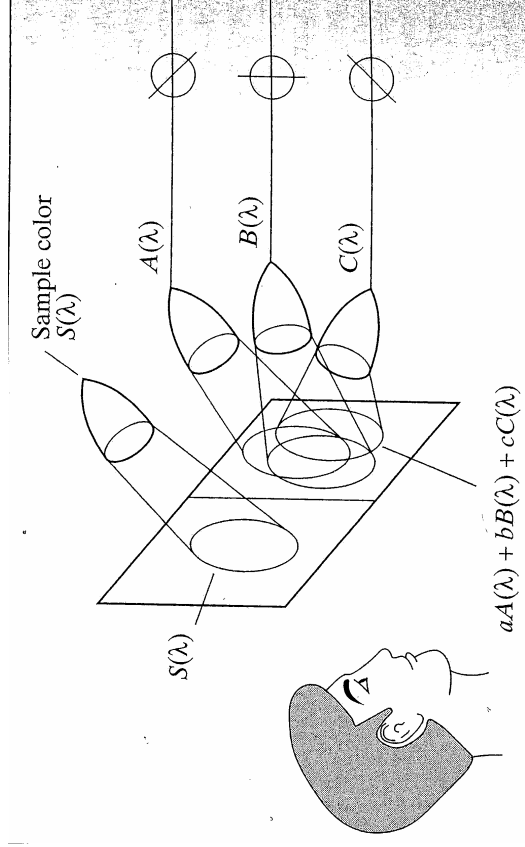
λ dominante: $\lambda = 620 \text{ nm}$

Luminancia = $(D-A) * B + A * (700-400)$

Pureza = $((D-A) * B) / \text{Luminancia} \text{ (En \%)}$

Colorimetría (7)

- **Teoría Tri-Estímulo o aditiva**
- Hemos visto cómo la captación del estímulo luminoso por parte del ojo se hace a través de tres receptores de colores distintos (conos rojo, verde y azul). A partir de este hecho podemos experimentar para comprobar que la **SUPERPOSICIÓN** de luces de diferentes espectros en una misma región del espacio, forma un efecto **ADITIVO** que es percibido como un nuevo color.



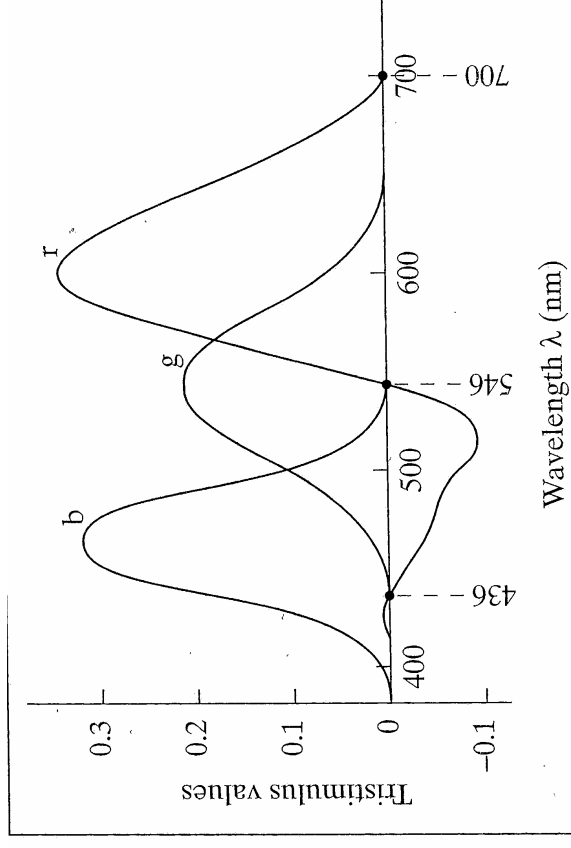
Disponemos de tres luces con densidades espectrales $A(\lambda)$, $B(\lambda)$, $C(\lambda)$, cada una de ellas percibida como Rojo, Verde y Azul. En otra parte de la pantalla ponemos el color que queremos obtener. Modificando la intensidad de cada una de las luces, es un **HECHO EXPERIMENTAL**, que podemos reconstruir el color de muestra $S(\lambda)$.

$$S(\lambda) = a A(\lambda) + b B(\lambda) + c C(\lambda)$$

Colorimetría (8)

- Dos propiedades experimentales acerca de la aditividad de colores:
 - $2 S(\lambda) = 2 a A(\lambda) + 2 b B(\lambda) + 2 c C(\lambda)$
- Dados dos metámeros $S(\lambda)$ y $N(\lambda)$, se cumple que dada otra distribución espectral $P(\lambda)$, se cumple que:
 - $S(\lambda) + P(\lambda) = N(\lambda) + P(\lambda)$
- Debido a esa propiedad de la tricomía de nuestro sistema de percepción podríamos pensar que dado un color C , lo podríamos caracterizar empíricamente como suma de tres intensidades de tres radiaciones electromagnéticas (monocromáticas por ejemplo) de color rojo, verde y azul.
 - $C = rR + gG + bB \Rightarrow C = C(r,g,b)$
- **Lamentablemente**, si construimos la gráfica experimental de percepción del color como suma de tres luces monocromáticas para una luminancia constante obtenemos lo siguiente:

Colorimetría (9)



Esta gráfica tiene una zona [436 nm, 546 nm] en la que la obtención de colores en dicha zona debe hacerse con valores **negativos** de la componente roja.

Esto quiere decir que

$$C = -0.4 R + 0.5 G + 0.75 B$$

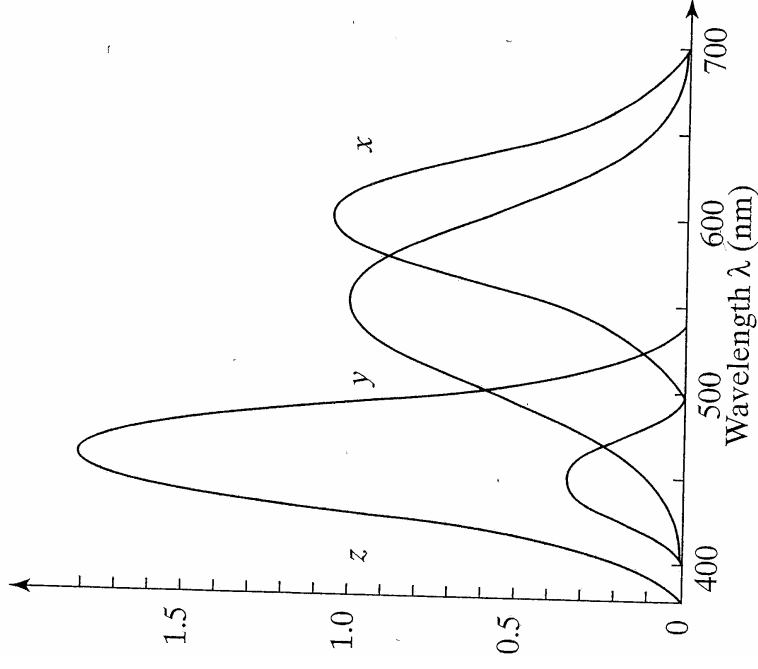
$$C + 0.4 R = 0.5 G + 0.75 B$$

Es decir, que al sumarle a la luz que estamos analizando la componente de rojo, obtenemos el color formado por las componentes verde y azul.

Si utilizamos otras luces para la tricromía, las gráficas cambian de aspecto pero siempre hay una zona negativa.

Colorimetría (10)

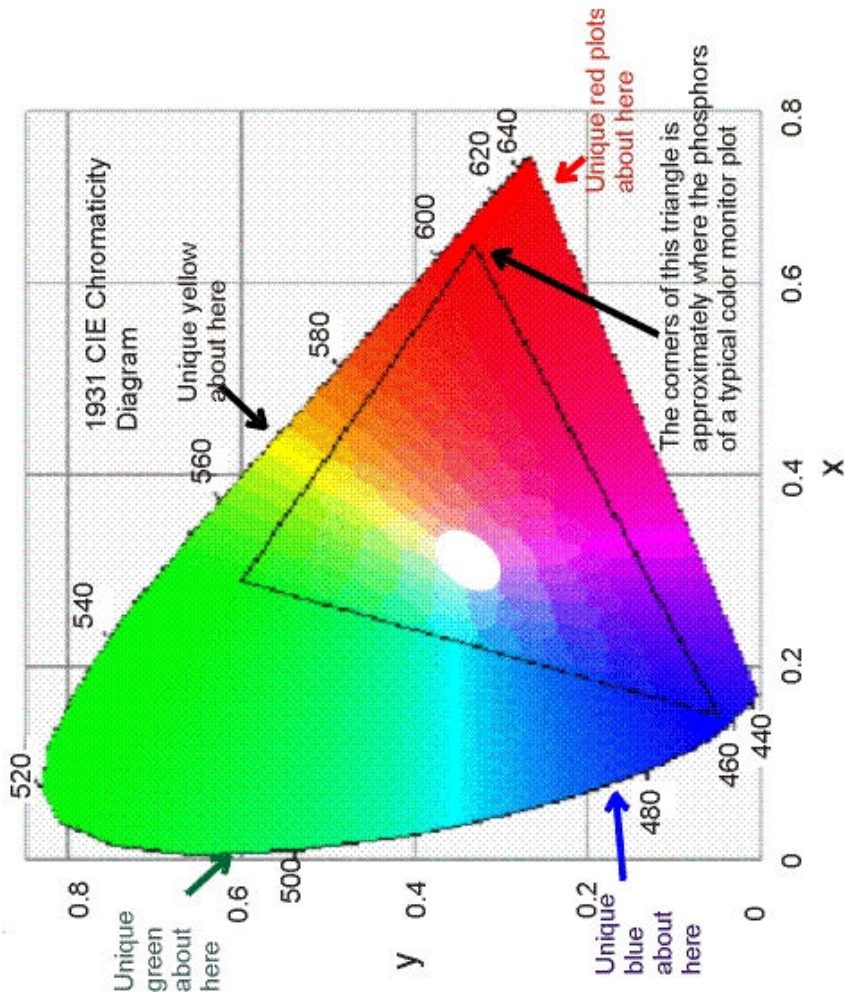
- Conclusión interesante: Ningún dispositivo que use la tricromía con tres colores fijos para representar el color, puede generar toda la gama de colores visibles por el ojo humano (ej. Los monitores de ordenador).
- Una aplicación de la teoría tri-estímulo o tricromía es el **diagrama CIE**
- Se definen 3 colores primarios **X, Y, Z** que **no son colores reales ya que sus curvas de adición para representar los colores son siempre positivas.**
- Habitualmente se trabaja con los valores normalizados de la luminancia. Esto implica que dado un color $c = xX + yY + zZ$, definimos sus componentes normalizadas como
 - $X_N = x / (x+y+z)$ $Y_N = y / (x+y+z)$
 - $Z_N = z / (x+y+z)$

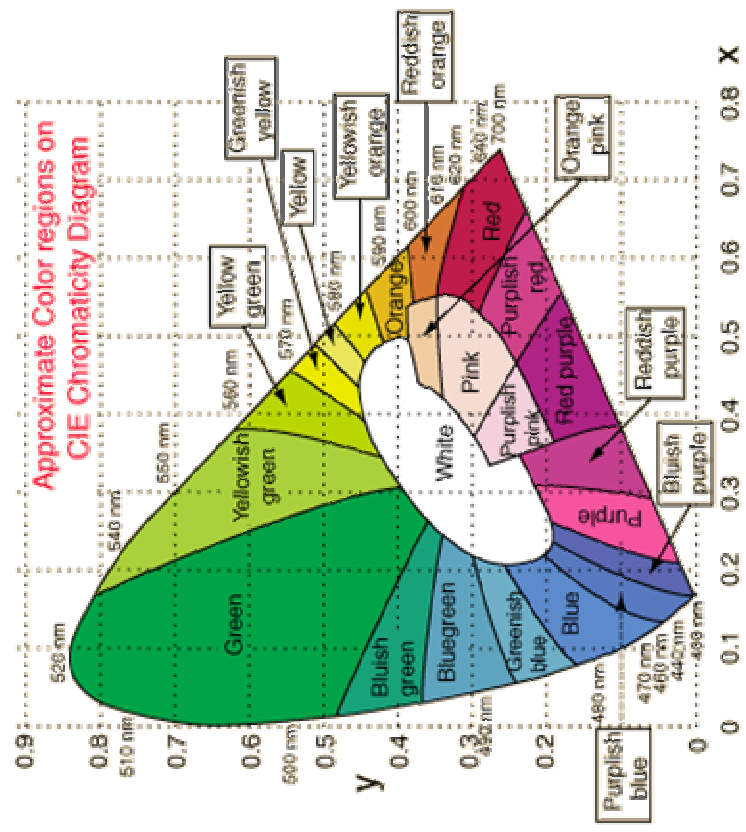
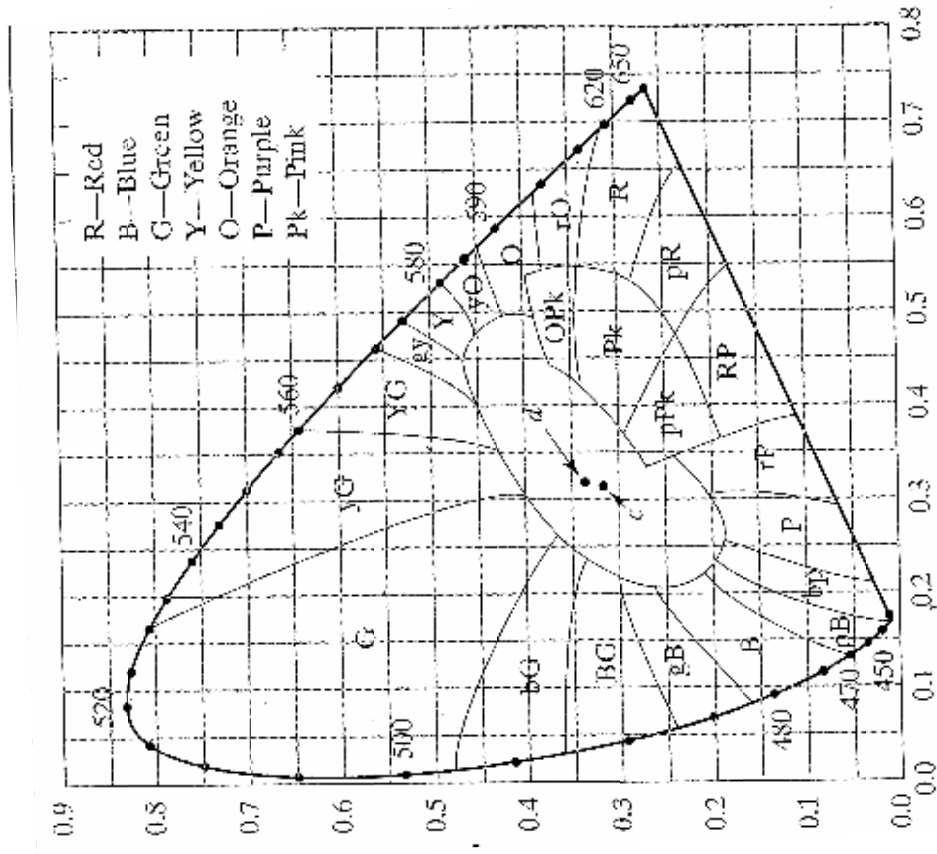


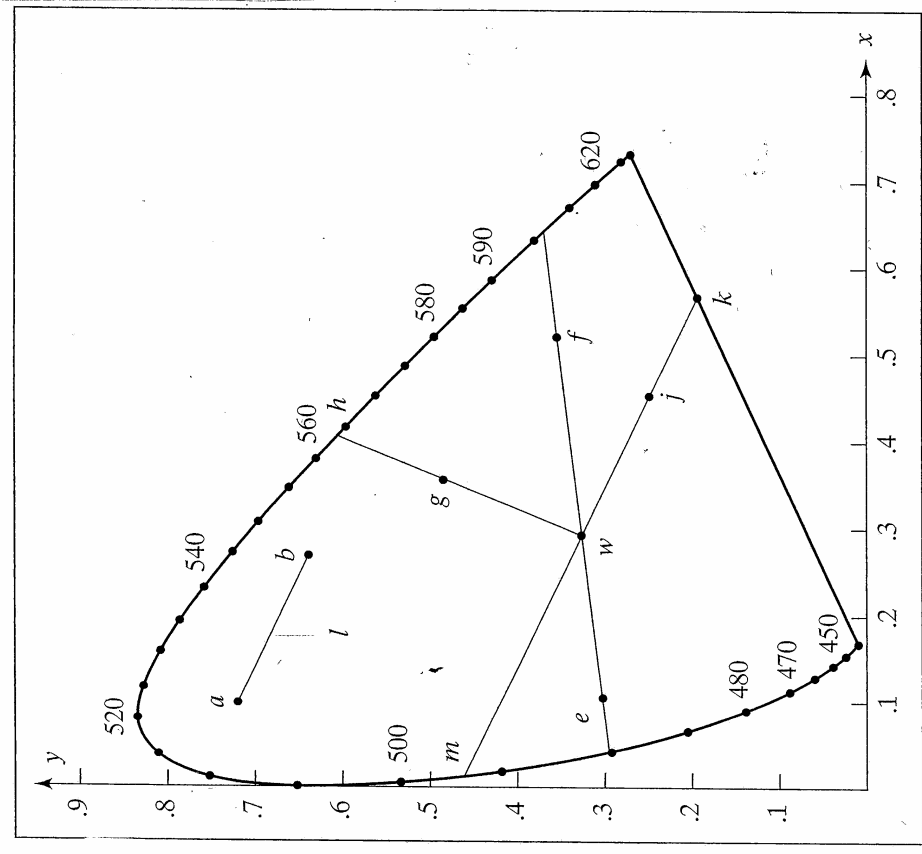
A estos valores normalizados se les llama valores de Cromaticidad y dependen únicamente de la λ dominante y de la Pureza, no de la luminancia

Colorimetría (11)

- El diagrama de cromaticidad del CIE representa al plano $x_N y_N$ ya que $z_N = 1 - (x_N + y_N)$
- Para dar una descripción completa de un color, se da la terna (x_N, y_N, y)
- ya que $x = (x_N / y_N) y$, $z = (z_N / y_N) y$
- No todos los colores están en el plano de la Luminancia unidad. Por ejemplo, los marrones no están porque surgen de una variación de intensidad de los naranjas. Tampoco hay grises por esta razón.







1e CIE

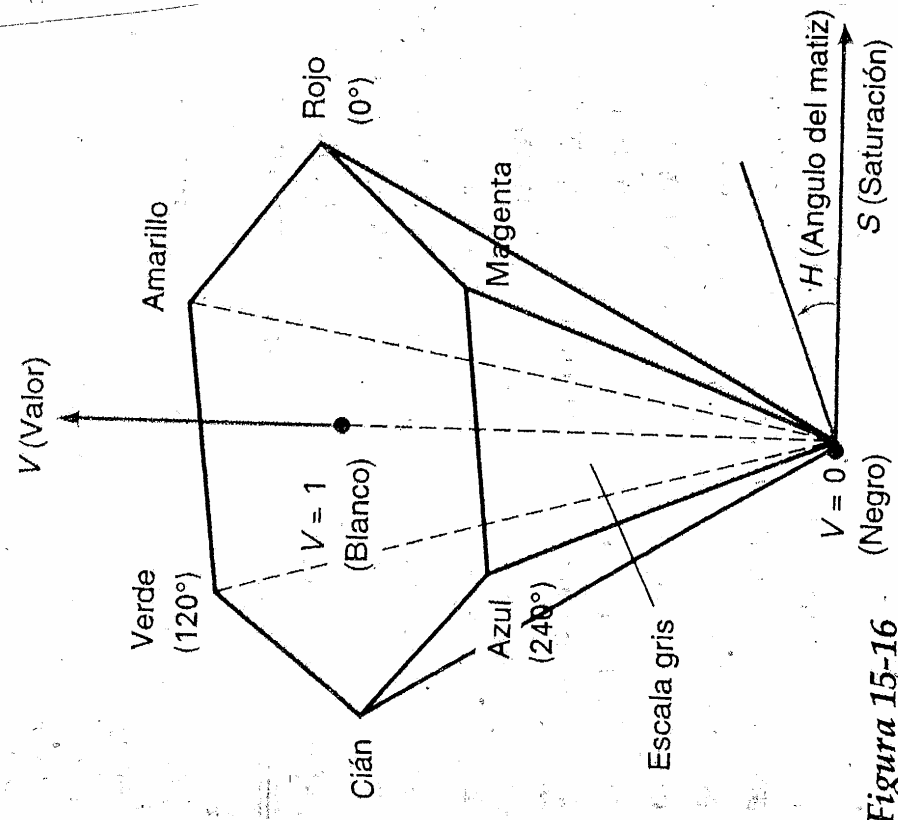
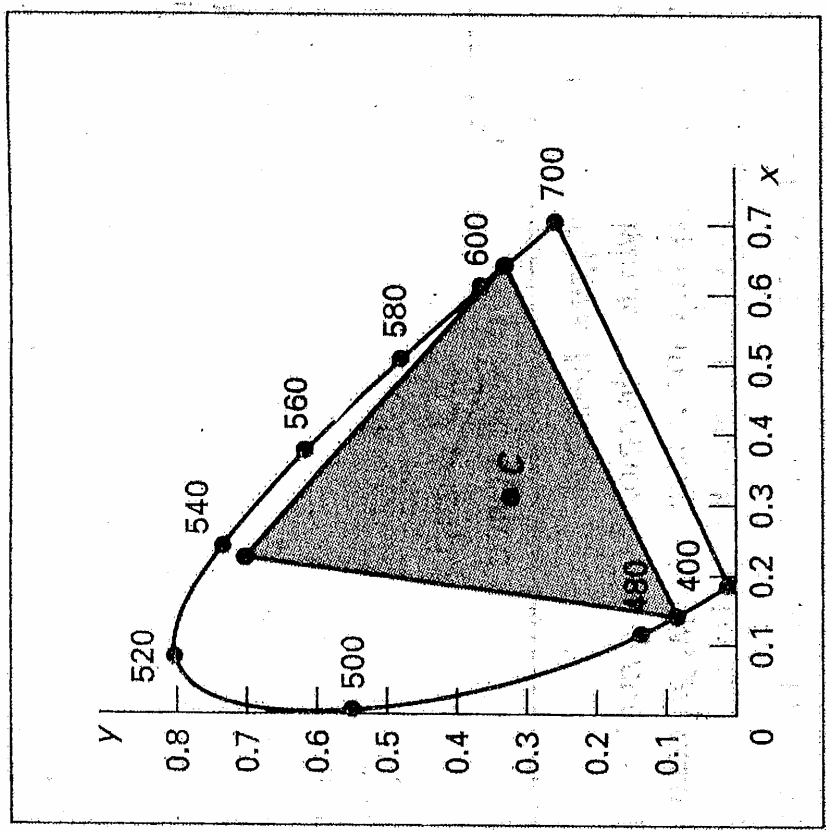


Figura 15-16 Hexacono HSV.



Gama de colores RGB. /

```

procedure hsvToRgb (real h, real s, real v,
var real red, var real green, var real blue)
assumes h, s, and v to be in range [0, 1].
Returns r, g, b in range [0, 1].
var
  a, b, c, f : real;
  i : integer;
begin
  if (s = 0) then
    begin
      must be grayscale
      red := v; green := v;
      blue := v;
    end
  else
    begin
      if (h == 1.0) then b := 0.0;
      h := h * 6.0;
      i := ffloor (h);
      f := h - i;
      a := v * (1 - s); b := v * (1 - (s * f));
      c := v * (1 + (s * f));
      case i of
        0 : red := v; green := c; blue := a;
        1 : red := b; green := v; blue := a;
        2 : red := a; green := v; blue := c;
        3 : red := a; green := b; blue := v;
        4 : red := c; green := a; blue := v;
        5 : red := v; green := a; blue := b;
      end;
    end;
  end;
end;

```