

La luz:

Llamamos luz a toda energía radiante capaz de ser distinguida por el ser humano como sensación visual.

Desde el punto de vista puede explicarse a través de 2 teorías compatibles entre sí: **Teoría corpuscular y Teoría electromagnética.**

Teoría corpuscular

En 1905, Einstein publicó una teoría que explicaba el fenómeno fotoeléctrico de la luz. Según esta teoría, la luz se compone de partículas (paquetes sin masa de energía electromagnética concentrada) que más tarde recibieron el nombre de fotones. Nos ocuparemos solo de la naturaleza ondulatoria de la luz y dejaremos su naturaleza corpuscular para más adelante.

Ondas electromagnéticas.

La luz es energía emitida por cargas eléctricas aceleradas, en muchos casos por electrones en el interior de los átomos. Esta energía se propaga en una onda que es en parte eléctrica y en parte magnética. Esta onda es una onda electromagnética. La luz visible es una porción pequeña de una amplia familia de ondas electromagnéticas que incluyen formas tan conocidas como las ondas de radio, las microondas y los rayos X.

La luz es una radiación electromagnética con longitud de onda entre 380 y 780 nanómetros. Estas ondas electromagnéticas tienen la misma velocidad de propagación en el vacío, cualquiera sea la frecuencia.

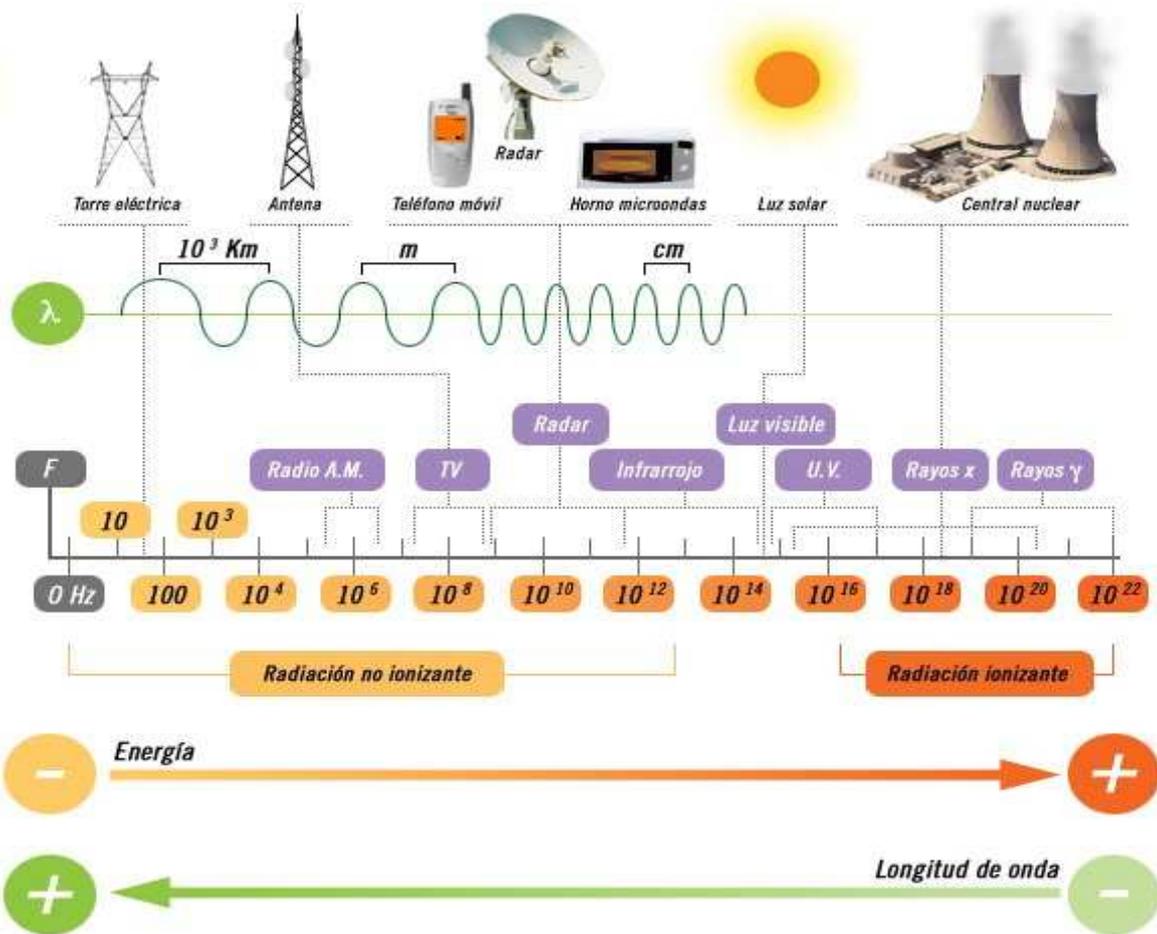
$$C = \lambda \times f$$

$$C = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

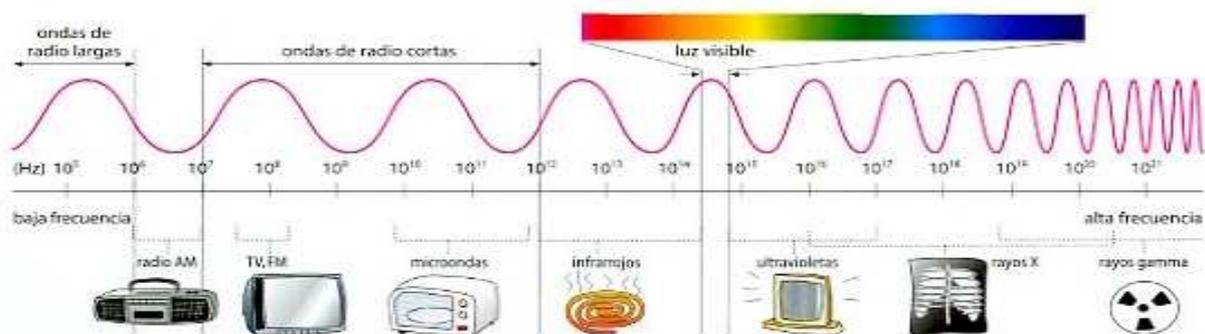
Radiación monocromática: Radiación compuesta por una frecuencia o longitud de onda.

Luz blanca: radiación compuesta por radiaciones monocromáticas con igual energía.

El espectro de frecuencias.



La luz de menor frecuencia que podemos ver es la de color rojo. Las frecuencias visibles más altas casi duplican la frecuencia del rojo y corresponden al color violeta. Las ondas electromagnéticas cuya frecuencia es menor que la de la luz visible roja se llaman infrarrojos. Las ondas electromagnéticas cuya frecuencia es mayor que la de la luz violeta se llaman ultravioleta. Estas ondas de frecuencia más elevada son causantes de las quemaduras de sol.

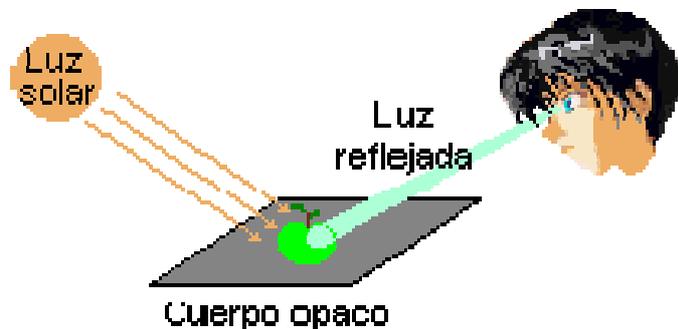


DEFINICIONES REFERENTES AL COMPORTAMIENTO DEL OJO HUMANO.**Proceso de la visión:**

Fuente: Sol, lámpara, fuego, etc.

Objeto, alterador (ventana, filtro, papel, etc.)

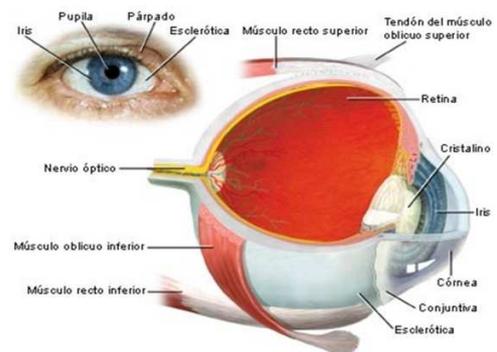
Receptor (ojo) transforma la energía recibida en impulsos nerviosos los que son decodificados por el cerebro.



El alterador o un objeto, que a veces modifica el espectro de la radiación, es quien dirige la radiación sobre el ojo.

El receptor actúa transformando la energía en impulsos nerviosos que son decodificados por el cerebro. Lo que el receptor reciba depende de la fuente y del alterador/objeto.

EL OJO HUMANO: El ojo se comporta generalmente como una cámara fotográfica. Simplificando el proceso, podemos decir que la luz proveniente de una fuente primaria o secundaria pasa a través de una abertura (pupila) hasta una lente (cristalino) que hace que en la superficie (retina) se forme una imagen, el nervio óptico transmite esta señal al cerebro, que se encarga de interpretarla, así se puede apreciar: distancia, espacio, volumen, tiempo, intensidad, color, etc.



La pupila controla la entrada de luz, cerrándose cuando ésta es excesiva y abriéndose en caso contrario. Cuando pasamos de un ambiente oscuro a otro muy iluminado, la pupila, abierta para adaptarse al nivel de iluminación bajo, requiere tiempo para reducirse; durante ese tiempo la cantidad de luz que entra al ojo es excesiva y se produce encandilamiento que impide la visión, este es el caso típico de la salida de un túnel. El proceso inverso se da al entrar a un lugar oscuro, caso en que debemos esperar para que la pupila se abra para poder ver. Cuando estamos en un ambiente en que hay zonas muy claras y muy oscuras sentimos discomfort, debido a que la pupila debe adaptarse continuamente a distintos niveles.

Esclerótica: es la capa exterior del ojo (lo blanco de la parte visible)

Coroides: es un recubrimiento negro (actúa como "cámara oscura")

Córnea: Es transparente, compuesta de cinco capas, con foco fijo, hace de filtro de las radiaciones U.V.

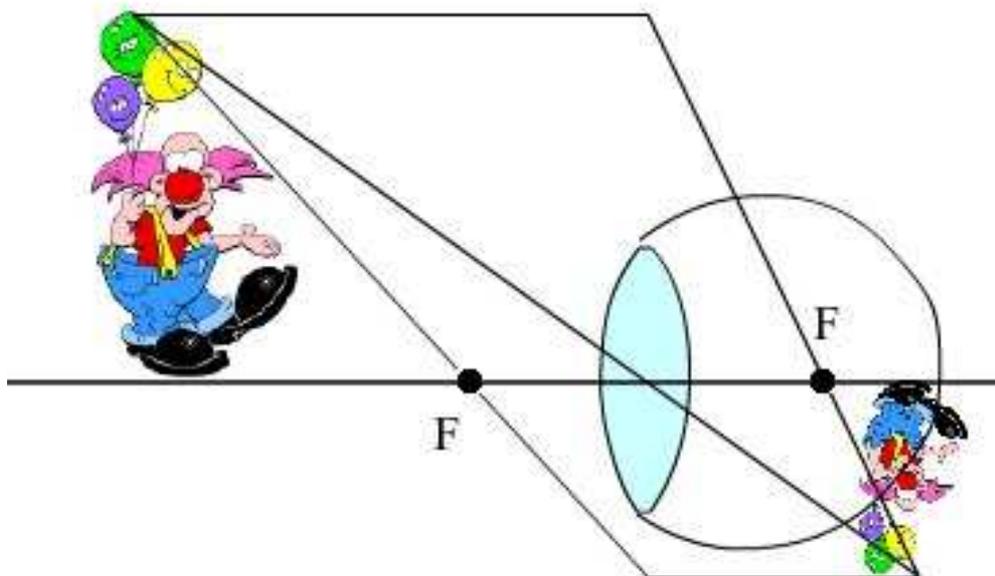
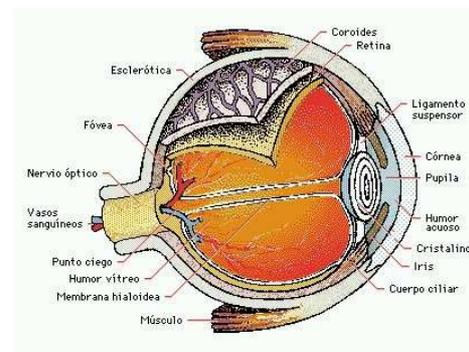
Iris: es la parte coloreada del ojo, el diafragma que determina la abertura de la pupila controlando la cantidad de luz incidente en la parte posterior del ojo.

Cristalino: es una lente deformable que cambia su espesor concentrando la imagen en la retina.

Retina: "pantalla" tapizada de dos tipos de nervios; conos y rodillos o bastones, los que por un proceso químico transmiten una señal que se decodifica por el cerebro. Estos nervios son sensibles a los estímulos luminosos y es en ellos donde se transforma la energía luminosa en sensación o energía nerviosa.

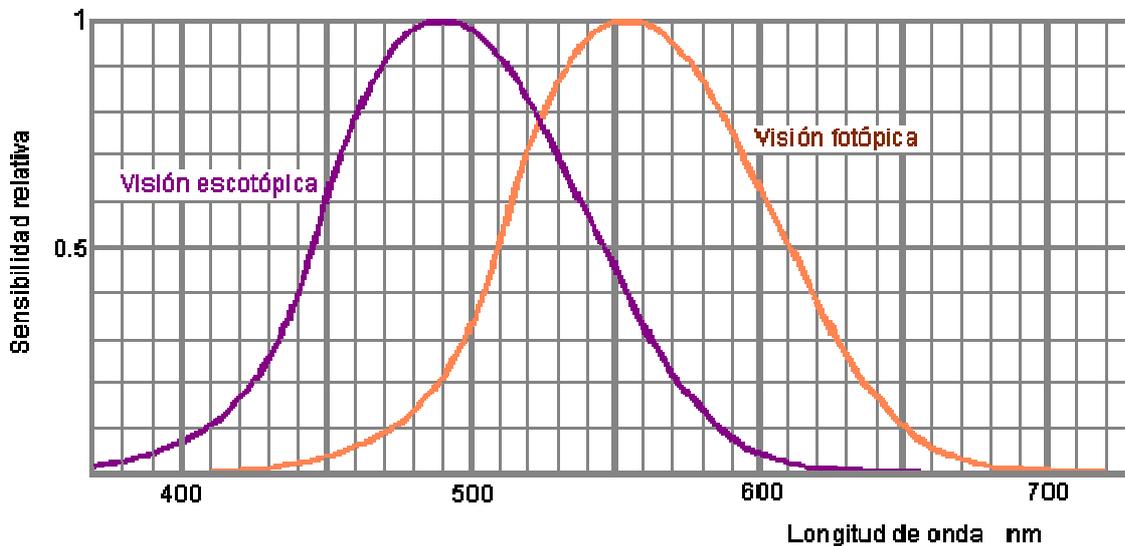
FORMACIÓN DE IMÁGENES

De los objetos iluminados o con luz propia situados en el campo visual, parten rayos luminosos que atraviesan la córnea y el humor acuoso, llegando al cristalino donde se refractan y van a la retina, en la cual se forma la imagen de éstos objetos en forma invertida, pasando mediante el nervio óptico al cerebro que se encarga de su interpretación y de rectificar su posición.



CURVA DE SENSIBILIDAD DEL OJO

Los límites de la sensibilidad del ojo humano a la luz están entre 380nm (violeta) y los 780nm (rojo), fuera de este sector del espectro el ojo es ciego a toda radiación.



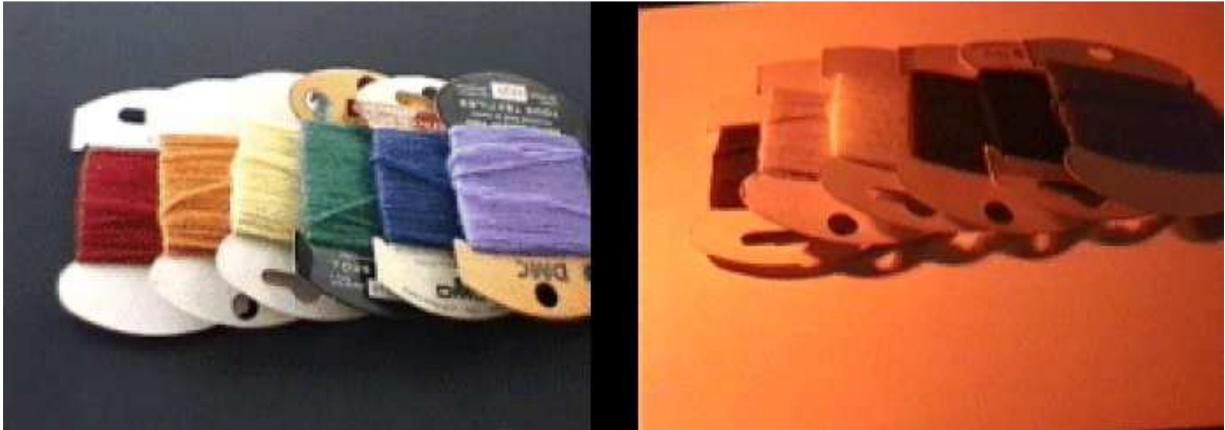
Expresamos mediante un gráfico la relación entre la emitancia mínima necesaria y la requerida para cada longitud de onda obtenemos una curva en forma de “campana de Gauss”. Se observa en esta curva que cuando las luminancias son mayores que $3,4 \text{ cd/m}^2$ (visión fotópica, conos) el máximo de la curva de sensibilidad está en los 555nm y cuando las luminancias son inferiores (visión escotópica, rodillos) el máximo está 505nm.

ACCIÓN DE LOS NERVIOS ÓPTICOS.

Los rodillos son muy sensibles a la luz y casi insensibles al color, mientras que los conos son muy sensibles a los colores y casi insensibles a la luz. Los rodillos perciben la mayor o menor claridad con que están iluminados los objetos y los conos perciben los colores de éstos. Según su participación nos definen:

Visión **fotópica**: intervienen los rodillos y los conos, es la visión a la luz del día o con suficiente luz clara o artificial.

Visión **escotópica**: intervienen esencialmente los rodillos, es la visión nocturna o con poca luz y no se llega a distinguir el color de los objetos.



ADAPTACIÓN

El ojo posee una capacidad de adaptación para ajustarse automáticamente a las diferentes luminancias de los objetos. Este ajuste lo realiza la pupila contrayéndose si la luz es intensa o dilatándose si es escasa. Los tiempos de adaptación son diferentes. Si se pasa de un lugar oscuro a otro bien iluminado el tiempo de adaptación es de solo unos segundos. En cambio si se pasa de un lugar bien iluminado a otro completamente oscuro, el período de adaptación llega a 30 minutos.



ACOMODACION:

La capacidad de acomodación o de enfoque del ojo se realiza variando la curvatura del cristalino. Esta capacidad de acomodación disminuye con la edad a consecuencia del endurecimiento del cristalino.

FACTORES DE LA VISION

Numerosas investigaciones han permitido comprobar que el nivel de iluminación incide en:

- capacidad visual
- estado de ánimo de las personas
- aptitud para desarrollar un trabajo
- poder de relajación, etc.

Por ejemplo, para leer normalmente:

- a los 10 años de edad se requieren 175 lx
- a los 40 años de edad se requieren 500 lx
- a los 60 años de edad se requieren 2500 lx

Algunos elementos que inciden en la visión:

- visibilidad
- acuidad visual
- deslumbramiento
- confort

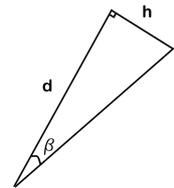
Visibilidad

Es la propiedad de un objeto de ser percibido por el ojo. Es la habilidad de una persona para distinguir detalles críticos de un objeto, ubicado sobre un **fondo**, con una determinada **velocidad** y **precisión**.

Umbral o tamaño umbral

Es el menor ángulo que subtende un objeto y que es distinguido como tal en un 50% de los casos.

Tamaño umbral del objeto. Se define en función del ángulo β . (se mide en minutos)



Depende de:

- luminancia de fondo
- contraste
- tiempo destinado a ver el objeto

De éstos tres parámetros, el único modificable por el Proyectista de iluminación es la **luminancia de fondo**.

- Luminancia. Un difusor perfecto emite igual en todas direcciones siendo,

$$\rho = M/E (\%) = \text{cte} \quad \text{siendo } M = \text{excitancia y } E = \text{iluminancia.}$$

Si E aumenta, M aumenta y mejora la acuidad visual.

- Contraste.

$$C = \frac{|L_f - L_o|}{L_f}$$

Siendo L_f = luminancia de fondo y L_o luminancia de objeto.

Si se trata de superficies difusoras perfectas:

$$C = \frac{|\rho_f - \rho_o|}{\rho_f}$$

- Tiempo de visión. Es necesario que transcurra un tiempo para que los procesos fotoquímicos se desarrollen. Transcurrido un tiempo prudencial, el ojo llega a advertir y distinguir muy pequeños detalles.
El tiempo puede ser crítico en tareas en las cuales la velocidad se ve involucrada.
A medida que la luminancia de fondo aumenta, el tiempo de reconocimiento se reduce

Los parámetros involucrados en la luminancia de fondo y el Contraste son:

- posición de la tarea visual
- posición de las fuentes de luz respecto a la tarea
- características reflectivas de la tarea

ACUIDAD:

La capacidad de reconocimiento o agudeza visual es la capacidad que tiene el ojo de distinguir por separado y nítidamente objetos pequeños y próximos entre sí. Esta varía también con la edad y a consecuencia del endurecimiento del cristalino. Una persona de 60 años tiene un 75% menos de agudeza visual que uno de 20 años.

$$1/\text{umbral} = \text{acuidad visual}$$

Deslumbramiento

Es un fenómeno que produce molestia o dificultad para distinguir objetos o realizar eficientemente una tarea. También se conoce como **brillo**.

Es una reacción fotoquímica en el ojo, que le provoca una insensibilización temporal. Se produce en forma directa o indirecta.

Existen diversos tipos de deslumbramiento a saber:

- Deslumbramiento fisiológico
- Deslumbramiento psicológico
- Deslumbramiento o luminancia de velo

El **deslumbramiento fisiológico** es aquel ocasionado por una fuente de luz que hiere directamente la retina. El ejemplo más claro sería el de una linterna enfocada directamente a la vista. La solución será modificar la orientación de la fuente para quitarla de la dirección de visión obligada.

El **deslumbramiento psicológico** implica que existe alguna luminaria o fuente de luz que, encontrándose dentro del campo visual de la persona posee la luminancia suficiente como para producir una molestia al cabo de algún tiempo. Se soluciona apantallando la luminaria o modificando ligeramente su orientación.

La **luminancia de velo** es aquella que deriva de la mala ubicación de las fuentes de luz con respecto al plano de trabajo produciendo un intenso brillo sobre la superficie de lectura que vela parcial o totalmente el texto haciéndolo prácticamente ilegible. Se deberá modificar la posición de las luminarias. La iluminación debe provenir de los laterales y nunca de arriba.

El máximo tolerable por la visión directa es de 7500 cd/m^2 (nits).

Los principales factores que intervienen en el deslumbramiento son:

- las dimensiones de la fuente de luz y la superficie vista por el observador (ángulo)
- posición de la fuente de luz con el ángulo de la visión
- tiempo de exposición

LUMINANCIAS MÁXIMAS		
ÁNGULO CON LA HORIZONTAL	Cd/m ²	Cd/ft ²
45°	7710	715
35°	5500	525
25°	3860	360
15°	2570	240
5°	1700	160

Confort

La situación de confort se define como aquella que permite realizar una tarea con eficiencia en condiciones fisiológicas normales.

Cuando consideramos aspectos térmicos, la reacción es inmediata: sentimos confort o desconfort, frío o calor. En cambio, muchas veces las condiciones lumínicas son incorrectas y no lo notamos; las consecuencias pueden aparecer a corto o a largo plazo (bajo rendimiento o afecciones a la salud).

En la obtención del confort visual influyen varios factores: cantidad y calidad de luz.

Calidad de iluminación: Es muy importante la relación de luminancias entre las superficies comprendidas en el campo visual; se debe evitar que el ojo deba adaptarse continuamente a distintos valores de éstas; debido a la fatiga que se produce y al hecho de que a menudo algunas zonas no llegan a verse.

Un caso común de mala relación de luminancias se produce cuando hay entrada directa de sol en un local, ya que en la zona que éste incide se llega a valores muy alto, el ojo termina acomodándose a la luminancia más alta y no llega a ver lo que está en las zonas mas oscuras.

En general las relaciones admisibles son:

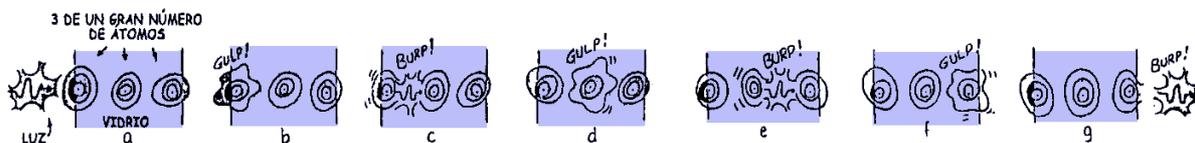
- Entre la tarea y la superficie inmediata (entre un cuaderno y el escritorio): 3 a 1
- Entre la tarea y la zona más oscura dentro del campo visual: No mayor de 10 a 1
- Entre la tarea y la zona más brillante dentro del entorno del campo visual: Menor de 10 a 1
- Entre la ventana y las zonas próximas de menor brillo: No más de 20 a 1

La luz y los materiales transparentes.

La luz es energía transportada por una onda electromagnética generada por cargas eléctricas que vibran. Cuando la luz incide en la materia obliga a los electrones de la misma a vibrar. Así pues las emisiones de un emisor se transfieren al receptor.

La respuesta exacta de un material receptor a una onda de luz que incide en él depende de la frecuencia de la luz y de la frecuencia natural de los electrones del material. La luz vibra con gran rapidez, en el orden de 10^{14} hertz. Para que un objeto con carga responda a estas vibraciones ultrarrápidas debe tener muy poca inercia. La masa de los electrones es lo bastante pequeña para que pueda vibrar con esta rapidez.

El vidrio y el agua son dos materiales que permiten el paso de la luz en línea recta. Decimos que son transparentes a la luz. Para entender como atraviesa la luz un material transparente como el vidrio, visualiza los electrones de un átomo conectados por resortes imaginarios. Cuando una onda de luz incide en ellos comienzan a vibrar.



Todo material elástico responde más a ciertas frecuencias de vibración que a otras. Las frecuencias naturales de vibración de un electrón dependen de la firmeza con la que está unido al núcleo más cercano. Los distintos materiales tienen diferentes "fuerzas de resorte" eléctrico.

Los electrones del vidrio tienen una frecuencia natural de vibración que corresponde a la región ultravioleta. El átomo puede transmitir la energía que recibe a los átomos vecinos por colisión, o bien remitirla en forma de luz. Si la luz ultravioleta interactúa con un átomo cuya frecuencia

natural coincide con la de la onda, la amplitud de vibración de los electrones se hace muy grande. Típicamente, el átomo retiene esta energía durante un tiempo bastante largo (100 millonésimas de segundo). **Durante este tiempo el átomo experimenta muchas colisiones con otros átomos y cede su energía en forma de calor.** Es por esto que el vidrio no es transparente a la luz ultravioleta.

Pero cuando la frecuencia de la luz electromagnética es menor que la de la luz ultravioleta, como es el caso de la luz visible, los electrones se ven forzados a vibrar con amplitudes mas pequeñas. El átomo retiene la energía por menos tiempo, con menor probabilidad de chocar con los átomos vecinos, y se transfiere menos energía en forma de calor. **La energía de los electrones que vibran se reemite como luz transmitida.** El vidrio es transparente a todas las frecuencias de la luz visible.

La diferencia principal es un leve retardo entre la absorción y la reemisión. Este retardo tiene como consecuencia que la velocidad promedio de la luz en un material transparente es menor que en el vacío. En el vacío la velocidad es constante de $c = 3,0 \times 10^8$ m/s, en el agua la velocidad es de $0,75c$, en el vidrio es de $0,67c$ (dependiendo del tipo de vidrio) y en el diamante es de $0,40c$.

Cuando la luz emerge de estos materiales y pasa de nuevo al aire se propaga con la velocidad original, c .

Las ondas infrarrojas, cuya frecuencia es menor que la de la luz visible, hacen vibrar no sólo los electrones, sino además toda la estructura del vidrio. Esta vibración de la estructura incrementa la energía interna del vidrio y lo calienta.

En resumen, el vidrio es transparente a la luz visible, pero no a la luz ultravioleta, ni a la infrarroja.

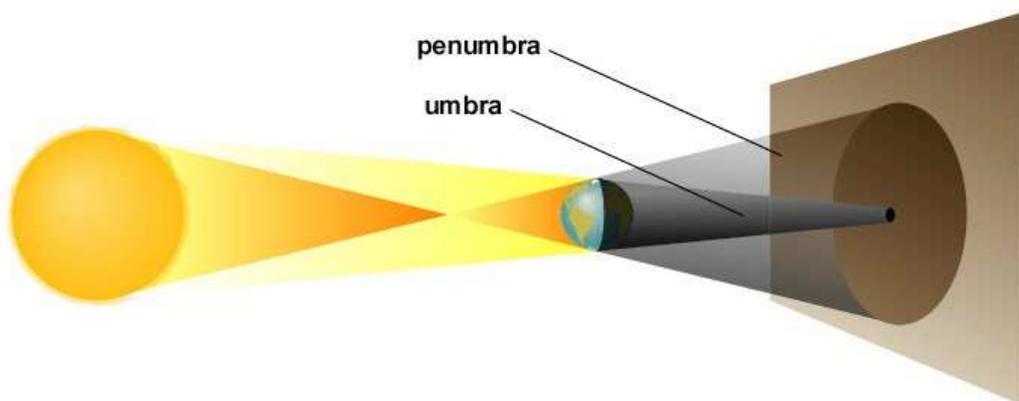
Materiales opacos.

La mayor parte de los materiales absorbe luz sin remitirla, con lo que impide su paso; decimos que son opacos. La madera, las piedras y las personas son opacas a la luz visible. En un material opaco todas las vibraciones coordinadas que imparte la luz a los átomos y moléculas se convierten en energía cinética aleatoria, esto es, en energía interna. El material se calienta ligeramente.

También los metales son opacos. Un hecho interesante es que en los metales los electrones de los átomos no están unidos a un átomo en particular, sino que pueden vagar libremente con muy pocas restricciones por todo el material. Es por esto que los metales conducen tan bien la electricidad y el calor. Cuando la luz incide en un objeto de metal y pone a vibrar estos electrones libres, su energía no “rebota” de un átomo a otro en el material, sino que se reemite como luz visible. Percibimos esta luz como un reflejo.

Sombra.

Llamamos rayo a un haz de luz delgado. Todo haz luminoso, no importa cuán ancho sea, se puede considerar construido por un conjunto de rayos. Cuando la luz ilumina un objeto, éste detiene algunos rayos y los demás continúan su trayectoria en línea recta. Se forma una sombra donde los rayos no pueden llegar. Una fuente pequeña cercana o una fuente grande lejana producen sombras nítidas. Sin embargo, la mayor parte de las sombras son borrosas. En general, las sombras constan de una región interior oscura y bordes más claros. Una sombra total se llama **umbra** y una sombra parcial es **penumbra**. Aparece una penumbra cuando se impide el paso de una parte de la luz pero otros rayos toman su lugar. Esto puede ocurrir cuando se obstruye el paso de la luz de una fuente, pero puede pasar luz de otra fuente.



Una fuente grande de luz produce sombras más suaves que una fuente pequeña.

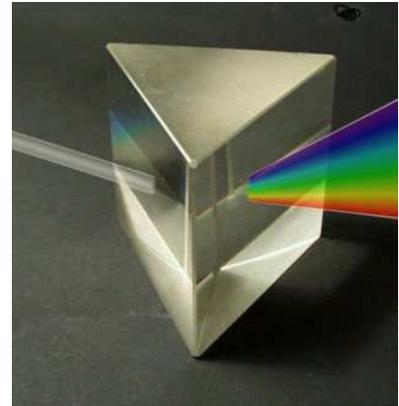
Color.

Para el físico, el color de las cosas no está en la propia sustancia de las cosas. El color está en el ojo del observador y es producto de las frecuencias de la luz que las cosas emiten o reflejan. Una rosa nos parece roja cuando a nuestros ojos llega luz de cierta frecuencia. Otras frecuencias nos provocan las sensaciones de otros colores. El hecho de que percibamos o no éstas frecuencias de luz depende del sistema visual del cerebro. Muchos organismos, e incluso las personas con defectos en la percepción del color, no ven el rojo de las rosas.

El espectro de los colores

Isaac Newton fue el primero en llevar a cabo un estudio sistemático del color. Haciendo pasar un haz angosto de luz solar por un prisma triangular de vidrio, Newton demostró que la luz del Sol es una mezcla de todos los colores del arco iris. El prisma proyectaba la luz del Sol como una mancha alargada de colores en una hoja de papel blanco.

Newton llamó espectro a esta banda de colores y advirtió que estaban ordenados como sigue: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. La luz solar es un ejemplo de la luz que llamamos blanca. Bajo la luz blanca los objetos blancos se ven blancos y los objetos de color se ven del color correspondiente.



Al superponer todos los colores se combinan para producir luz blanca. En términos estrictos, la luz blanca no es un color, sino la combinación de todos los colores.

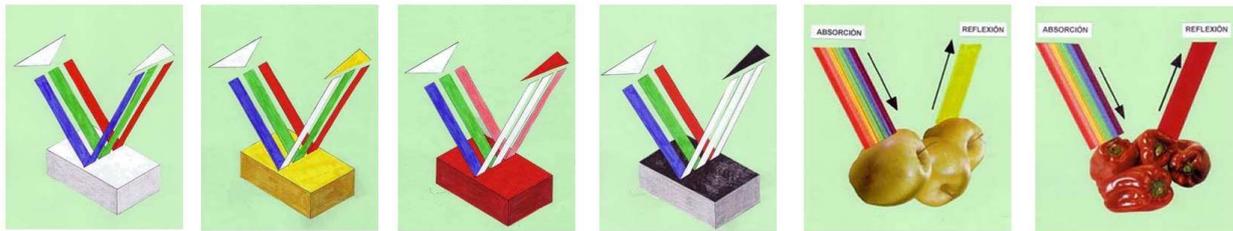
Análogamente, el negro no es un color propiamente dicho, sino la ausencia de la luz. Los objetos se ven negros cuando absorben todas las frecuencias de la luz visible.

Los objetos negros que se pueden ver no absorben la luz que incide en ellos; siempre se refleja un poco de ella en la superficie. De lo contrario, no podríamos verlos.

Color por reflexión

El color de la mayoría de los objetos que nos rodean se debe a la manera en que estos reflejan la luz. Las vibraciones de las ondas electromagnéticas (como la luz) pueden obligar a los electrones a entrar temporalmente en órbitas más grandes. Una vez excitados los electrones emiten sus propias ondas de energía en todas direcciones.

Los diferentes materiales tienen diferentes frecuencias naturales de absorción y emisión de radiación. En un material los electrones oscilan sin dificultad a ciertas frecuencias, en un material distinto, oscilan fácilmente a frecuencias diferentes. La luz se absorbe a frecuencias resonantes cuando la amplitud de las oscilaciones es grande. Pero a frecuencias mayores y menores que la frecuencias resonantes, los átomos reemiten la luz. Si el material es transparente la luz reemitida lo atraviesa; si es opaco, la luz regresa al medio tal cual provino. Decimos que se produce una reflexión.

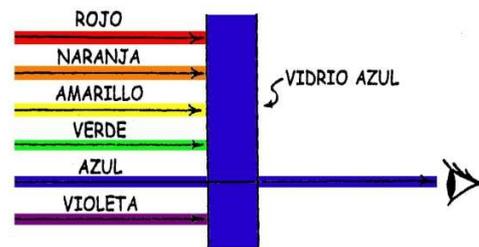


Los colores que reflejan casi todos los objetos no son colores puros de una sola frecuencia, sino se componen de una gama de frecuencias. **Es importante señalar que un objeto solo puede reflejar luz de las frecuencias presentes en la luz que lo ilumina.** .Por lo tanto el aspecto de un objeto colorido depende del tipo de luz que se use. Una lámpara incandescente emite luz de todas las frecuencias visibles, pero más rica en frecuencias bajas, por lo que realza los rojos. Las lámparas fluorescentes son más ricas en frecuencias altas, por lo que se realzan los azules con este tipo de iluminación.

Color por transmisión

El color de un objeto transparente depende del color de la luz que transmite. Un trozo de vidrio rojo se ve rojo porque absorbe todos los colores que componen la luz blanca excepto el rojo, el cual transmite.

Análogamente, un trozo de vidrio azul se ve azul porque transmite principalmente el azul y absorbe los otros colores que lo iluminan.

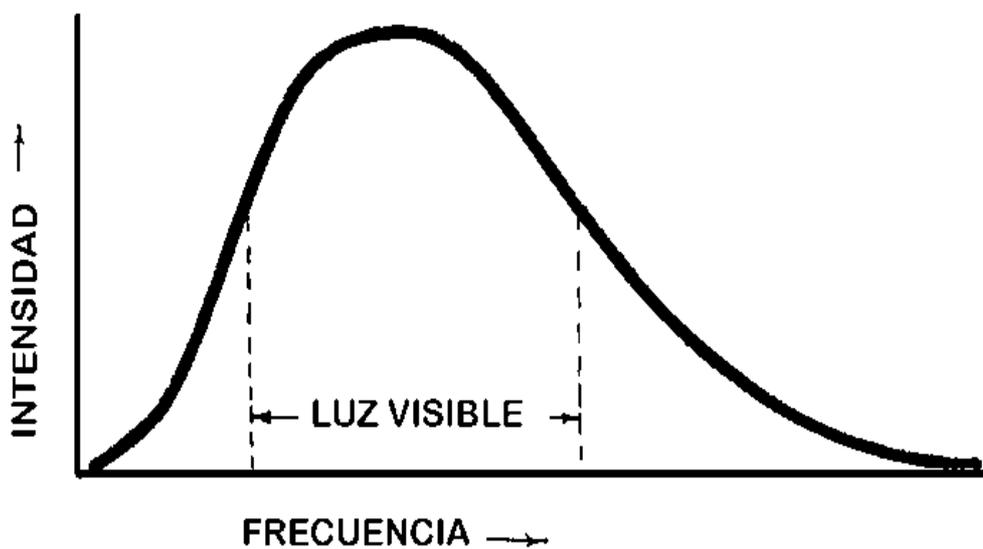


El material en el vidrio que absorbe selectivamente luz de distintos colores se conoce como **pigmento**. Desde el punto de vista atómico, los electrones de los átomos del pigmento absorben de manera selectiva luz de ciertas frecuencias de la luz que los ilumina. La luz de otras frecuencias se reemite de átomo en átomo dentro del vidrio. La energía de la luz absorbida incrementa la energía cinética de los átomos y el vidrio eleva su temperatura. El vidrio común que se usa comúnmente en las ventanas es incoloro porque transmite todas las frecuencias visibles en la misma medida.



Luz solar:

La luz blanca que proviene del Sol es una combinación de todas las frecuencias visibles. La intensidad de las frecuencias solares no es homogénea, como indica la grafica de intensidad en función de frecuencia. La gráfica muestra que las frecuencias más bajas de la luz solar, en la región del rojo, no son tan brillantes como las frecuencias medias de la región del amarillo y del verde. La región del verdeamarillo es la más intensa de la luz solar. Puesto que los seres humanos evolucionamos en presencia de la luz solar, no es de extrañarse que seamos más sensibles al verdeamarillo.



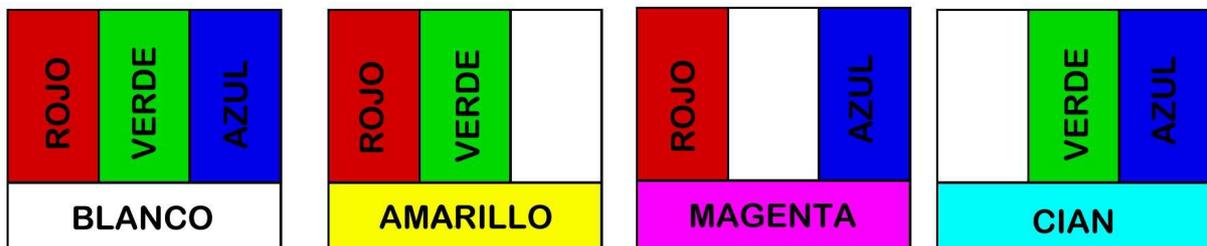
Mezcla de luz de colores.

Cuando se combina luz de todas las frecuencias visibles se produce el color blanco. Un hecho interesante es que también se obtiene el color blanco combinando sólo luz roja, verde y azul. Cuando proyectamos en una pantalla una combinación de luz roja, verde y azul de la misma intensidad, la pantalla se ve blanca.

Donde sólo se superpone luz roja y luz verde, la pantalla se ve **amarilla**. La luz roja combinada sólo con la luz azul produce el color rojo azulado, llamado **magenta**. La luz verde con la luz azul produce el color azul verdoso llamado **cian**.



Podemos entender este fenómeno si dividimos las frecuencias de la luz blanca en tres regiones: el extremo rojo de frecuencias bajas, la región verde de las frecuencias medias y el extremo azul de frecuencias mayores. La combinación de las frecuencias bajas y altas se ve rojo azulado (magenta). De hecho se puede producir cualquier color superponiendo luz de tres colores y ajustando la intensidad de cada color. No es necesario que los tres colores sean rojo, verde y azul, aunque estos tres producen el mayor número de colores distintos y por esta razón los llamamos **colores primarios aditivos**.



Colores complementarios.

Qué ocurre cuando se combinan dos de los tres colores primarios aditivos?

Rojo + verde = amarillo

Rojo + azul = magenta

Azul + verde = cian

Cuando incorporamos el tercer color obtenemos el blanco.

Amarillo + azul = blanco

Magenta + verde = blanco

Azulverdoso + rojo = blanco

Cuando la suma de dos colores producen el blanco, decimos que se trata de complementarios.

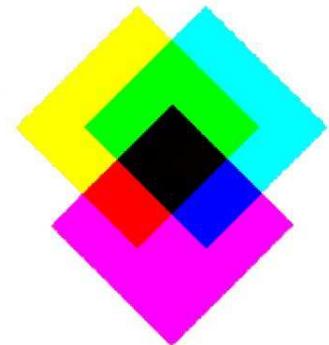
Ahora bien, si comenzamos con luz blanca y le restamos algún color, el color resultante será el complemento del color sustraído. No toda la luz que incide en un objeto se refleja. Una parte de ella se absorbe. La parte absorbida se resta en efecto de la luz incidente, por ejemplo, si incide luz blanca en un pigmento que absorbe luz roja, la luz reflejada se ve cian. Un pigmento que absorbe la luz azul se ve amarillo; análogamente, un pigmento que absorbe luz amarilla se ve azul. **Siempre que restamos un color a la luz blanca obtenemos su color complementario.**

Mezcla de pigmentos coloridos.

Todo pintor sabe que si mezcla pintura roja, verde y azul no obtiene pintura blanca, sino un color marrón oscuro como lodo. **Mezclar pinturas y tintes es un proceso totalmente distinto al de mezclar luz de colores.**

Las pinturas y los tintes tienen diminutas partículas sólidas de pigmento que imparten color absorbiendo ciertas frecuencias de luz y reflejando otras. Los pigmentos absorben y reflejan luz de gamas relativamente amplias de frecuencias. Si en lugar de trabajar con luces de colores, trabajamos con capas coloreadas como la acuarela, vidrios de colores, etc., los resultados de las sucesivas mezclas darían colores más oscuros que el de los componentes pues en este proceso se sustrae energía luminosa.

Si se mezclan **MAGENTA y CIAN**, se obtiene **AZUL ultramar**;
La mezcla del **CIAN y AMARILLO** produce **VERDE esmeralda**;
La mezcla de **MAGENTA y AMARILLO** produce **ROJO bermellón**.



AZUL, VERDE y ROJO son los tres colores SECUNDARIOS, obtenidos por mezcla sustractiva, a partir de los tres primarios.

Obsérvese que el **color resultante de la mezcla** es, en este caso de mezclas sustractivas, **más oscuro que sus componentes**, debido al hecho de que al mezclar los colores se **sustraen cantidades de energía**

La mezcla sustractiva de sus tres colores primarios – magenta, cian y amarillo - da el **NEGRO**.

Las **mezclas sustractivas** se obtienen trabajando con técnicas gráficas como la acuarela, tintas de colores y, en cierta medida, con lápiz de color.

Este proceso se llama mezcla de colores por sustracción, para distinguirlo del efecto que produce la mezcla de luz de colores, el cual se conoce como mezcla de colores por adición.