

**TEMA 1.** *La luz. Naturaleza y propagación. Espectro visible. Espectralidad continua y discontinua. Reflexión, tipos de reflexión. Refracción, Leyes de Snell, grados de desplazamiento. Absorción, interferencia, difracción y polarización de la luz. Magnitudes características.*

**Autora: Elena García**

### Esquema:

- 1.- Introducción.
- 2.- La luz.
- 3.- Naturaleza y propagación.
  - 3.1.- Naturaleza de la luz.
  - 3.2.- Propagación rectilínea de la luz.
- 4.- Espectro visible.
- 5.- Espectralidad continua y discontinua.
- 6.- Reflexión, tipos de reflexión.
  - 6.1.- Reflexión.
  - 6.2.- Leyes de Snell para la reflexión.
  - 6.3.- Tipos de reflexión.
- 7.- Refracción, Leyes de Snell, grados de desplazamiento.
  - 7.1.- Refracción.
  - 7.2.- Leyes de Snell para la refracción.
  - 7.3.- Grados de desplazamiento.
- 8.- Absorción, interferencia, difracción y polarización de la luz.
  - 8.1.- Absorción de la luz.
  - 8.2.- Interferencia de la luz.
    - 8.2.a.- Interferencia constructiva.
    - 8.2.b.- Interferencia destructiva.
  - 8.3.- Difracción de la luz.
  - 8.4.- Polarización de la luz.
- 9.- Magnitudes características.
  - 9.1.- Energía luminosa ( $Q_V$ ).
  - 9.2.- Potencia luminosa o flujo luminoso ( $P_V$ ).
  - 9.3.- Intensidad luminosa ( $I$ ).

- 9.4.- Luminancia (L).
- 9.5.- Iluminación o iluminancia (E).
  - 9.5.a.- Ley de Lambert o Ley del cuadrado inverso.
- 9.6.- Exitancia luminosa ( $M_v$ ).
- 9.7.- Rendimiento luminoso ( $\eta$ ).
- 9.8.- Cantidad de luz (Q).
- 9.9.- Color.
- 9.10.- Intensidad.
- 9.11.- Calidad.

10.- Conclusiones.

11.- Referencias bibliográficas y documentales.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La luz es una forma de onda electromagnética, por lo que posee las propiedades físicas de ésta: es irradiada a partir de una fuente luminosa (sol, lámpara artificial, etc.), es capaz de salvar el vacío, se desplaza en forma de ondas de forma rectilínea a una velocidad de 300.000 km/seg.

La característica que permite distinguir la luz de otros tipos de energía electromagnéticas es la longitud de onda. Dependiendo del valor de la longitud de onda se puede manifestar en forma de rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X, rayos ultravioletas, luz (espectro visible), rayos infrarrojos, ondas de radar, ondas de radio.

## 2.- LA LUZ.

La luz se puede definir como una de las formas de energía electromagnética que se encuentran en la Naturaleza. Al tener una longitud de onda muy corta, sus unidades de medida deben ser especiales, siendo la más frecuente el Ångstrom (Å), que es la diezmillonésima parte de un milímetro.

La luz es una energía radiante, es una forma de radiación electromagnética similar al calor radiante, las ondas de radio o rayos X, se puede propagar tanto en el vacío como en medios materiales, su velocidad de propagación es de 300.000 km por segundo en el vacío, aunque esta velocidad disminuye, en función de la densidad del medio en el que se está realizando la propagación.

La luz corresponde a oscilaciones extremadamente rápidas en un campo electromagnético, en un rango determinado de frecuencias que pueden ser detectadas por el ojo humano. Las diferentes frecuencias, van desde aproximadamente  $4 \cdot 10^4$  vibraciones por segundo en la luz roja hasta aproximadamente  $7,5 \cdot 10^4$  vibraciones por segundo en la luz violeta.

### 3.- NATURALEZA Y PROPAGACIÓN.

#### 3.1.- Naturaleza de la luz.

Hasta mediados del siglo XVII se creía que la luz estaba formada por corpúsculos que eran emitidos por los focos luminosos, tales como el Sol o la llama de una vela, que viajaban en línea recta y que atravesaban los objetos transparentes pero no los opacos, excitando el sentido de la vista al penetrar en el ojo. Gran parte de la popularidad de esta teoría residía en el prestigio científico de algunos de sus proponentes como Isaac Newton que había formulado leyes ópticas compatibles con esta descripción corpuscular de la luz, éste se apoyaba en que la trayectoria seguida por los corpúsculos es rectilínea y por ello la luz se propaga en línea recta.

En 1660 Huygens demostró que las leyes de la óptica podían explicarse basándose en la suposición de que la luz tenía naturaleza ondulatoria. Huygens se apoyaba en el hecho de que la propagación rectilínea y la reflexión se pueden explicar ondulatoriamente.

En 1827 los experimentos de Young y Fresnel sobre interferencias, y otras experiencias posteriores de Foucault sobre medidas de velocidad de la luz en el seno de líquidos, mostraron que la teoría corpuscular era poco apropiada para explicar determinados fenómenos ópticos.

En 1873 se produjo un avance sustancial en la comprensión de la naturaleza de la luz, cuando los estudios teóricos de Maxwell sobre los campos eléctrico y magnético le permitieron aunar ambos en una única teoría denominada electromagnetismo, en la que se deducía de manera natural la existencia de ondas electromagnéticas desplazándose a la velocidad de la luz, de donde se deducía que la naturaleza de esta debía ser electromagnética. La teoría se demostró cierta en los experimentos realizados por Hertz en 1888 y, hacia finales del siglo XIX, se creía que el conocimiento acerca de la naturaleza de la luz era completo.

Sin embargo, la teoría electromagnética clásica no podía explicar la emisión de electrones por un conductor cuando incide luz sobre su superficie, fenómeno conocido como efecto fotoeléctrico. Este efecto consiste en la emisión espontánea de electrones (o la generación de una diferencia de potencial eléctrico) en algunos sólidos (metálicos o semiconductores) irradiados por luz. Fue descubierto y descrito experimentalmente por Heinrich Hertz en 1887 y suponía un importante desafío a la teoría electromagnética de la luz. En 1905, el joven físico Albert Einstein presentó una explicación del efecto fotoeléctrico basándose en una idea propuesta anteriormente por Planck para la emisión espontánea de radiación lumínica por cuerpos cálidos y postuló que la energía de un haz luminoso se hallaba concentrada en pequeños paquetes, que denominó cuantos de energía y que en el caso de la luz se denominan fotones. El mecanismo del efecto fotoeléctrico consistiría en la transferencia de energía de un fotón a un electrón. Cada fotón tiene una energía proporcional a la frecuencia de vibración del campo electromagnético que lo conforma. Posteriormente, los experimentos de Millikan demostraron que la energía cinética de los fotoelectrones coincidía exactamente con la dada por la fórmula de Einstein.

El punto de vista actual es aceptar el hecho de que la luz posee una doble naturaleza que explica de forma diferente los fenómenos de la propagación de la luz (naturaleza ondulatoria) y de la interacción de la luz y la materia (naturaleza corpuscular). Esta dualidad onda/partícula, postulada inicialmente únicamente para la luz, se aplica en la actualidad de manera generalizada para todas las partículas materiales y constituye uno de los principios básicos de la mecánica cuántica.

### **3.2.- Propagación rectilínea de la luz.**

La luz se propaga con una trayectoria rectilínea y con una velocidad constante en cada medio. Cuando incide en un objeto se comporta de muy diversas maneras, según esto podemos encontrarnos los siguientes casos: reflexión, refracción, dispersión, difracción, transmisión, absorción y polarización.

La luz se propaga a partir de las fuentes en todas las direcciones posibles. Se propaga a través de la atmósfera, y aún donde no hay atmósfera; y se sigue propagando indefinidamente mientras no se encuentre con un obstáculo que le impida el paso. Además, la luz viaja en línea recta mientras no haya nada que la desvíe y mientras no cambie el medio a través del cual se está propagando.

La luz emitida por las fuentes luminosas es capaz de viajar a través de la materia o en ausencia de ella, aunque no todos los medios permiten que la luz pase a su través. En un medio que además de ser transparente sea homogéneo, es decir, que mantenga propiedades idénticas en cualquier punto del mismo, la luz se propaga en línea recta. La velocidad con que la luz se propaga a través de un medio homogéneo y transparente es una constante característica de dicho medio, y por tanto, cambia de un medio a otro.

Debido a esta propagación rectilínea de la luz, detrás de los cuerpos opacos iluminados queda un espacio oscuro perfectamente delimitado que se denomina sombra. Las sombras forman parte inseparable de cualquier dispositivo de iluminación, y en función del tipo de fuente luminosa la sombra que proyectarán será de una forma o de otra. Cuando la luz se desplaza por un medio constante y llega a otro diferente, la luz puede ser: absorbida, reflejada o transmitida.

#### 4.- ESPECTRO VISIBLE.

El espectro electromagnético es un conjunto de energías, entre las que se encuentra la luz visible al ojo humano, que es lo que podría definirse como espectro visible. La luz tal como la conocen nuestros ojos, es decir, el espectro visible, es una franja muy estrecha de energía electromagnética que abarca desde los 4000 Å a los 7000 Å. Los valores de frecuencia inferior a los comprendidos en el espectro visible, se conocen como rayos infrarrojos, y los superiores como ultravioletas.

Existe una relación entre la frecuencia y la longitud de onda de cualquier radiación electromagnética, que viene dada en función de la velocidad de propagación de la luz en el medio material, esta es:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

donde,

$\lambda$  = longitud de onda de la radiación en metros.

f = frecuencia de la radiación en Hz.

c = velocidad de propagación de la luz en el medio material, para el vacío tiene un valor de  $3 \cdot 10^8$  m/seg.

Dentro de este espectro visible cada longitud de onda produce un estímulo diferente dentro del ojo, y cada uno de estos estímulos es reconocido como un color diferente.

Nuestros ojos pueden ver la luz de longitudes de onda entre 380 (violeta) y 780 nm. (rojo). Por debajo y por encima de este espectro están las llamadas radiaciones invisibles: la ultravioleta, por debajo de la violeta y la infrarroja, por encima del rojo.

Los objetos aparecen coloreados cuando poseen la propiedad de absorber luz de cierta longitud de onda y reflejan el resto.

Hay dos tipos de objetos visibles: aquellos que por sí mismos emiten luz y los que la reflejan. El color de estos depende del espectro de la luz que incide y de la absorción del objeto, la cual determina qué ondas son reflejadas.

La luz blanca se produce cuando todas las longitudes de onda del espectro visible están presentes en proporciones e intensidades iguales.

## 5.- ESPECTRALIDAD CONTINUA Y DISCONTINUA.

Con el análisis del espectro de la energía radiante se puede conocer la temperatura, composición y velocidad radial de los objetos celestes. El calor informa de la temperatura. Los rayos espectrales oscuros o brillantes de los elementos y el desplazamiento del espectro, hacia el IR o el UV, de la velocidad según el efecto Doppler.

Los espectros pueden ser de varios tipos, principalmente se dividen en continuos y discontinuos, estos últimos a su vez se pueden clasificar en espectros de emisión y de absorción.

Espectro continuo es aquel que emite todas las longitudes de onda visibles. Los cuerpos incandescentes sólidos o líquidos, así como los gases a muy alta presión y gran temperatura, dan un espectro continuo sin rayas. El espectro continuo, también llamado térmico o de cuerpo negro, es emitido por cualquier objeto que irradie calor (es decir, que tenga una temperatura distinta de cero absoluto = -273 grados Celsius). Cuando su luz es dispersada aparece una banda continua con algo de radiación a todas las longitudes de onda. Por ejemplo, cuando la luz del sol pasa a través de un prisma, su luz se dispersa en los siete colores del arco iris (donde cada color es una longitud de onda diferente).

Normalmente los gases son siempre espectros discontinuos, que a su vez pueden ser de dos tipos, de absorción y de emisión. Los gases al hacerse luminosos emiten normalmente solo ciertas longitudes de onda definidas, a esto es lo que se conoce como espectro discontinuo.

Los gases luminiscentes, a presiones o temperaturas más bajas, muestran rayas de emisión claras e individualizadas, es lo que se conoce como espectro de emisión (discontinuo). Cada elemento químico emite su propia serie de rayas, de modo que el espectro luminoso de cualquier gas, revela su composición química.

El espectro de absorción (discontinuo) se genera cuando la luz de cualquier cuerpo -que de suyo daría un espectro continuo- atraviesa un gas a menor temperatura. En esta situación aparecen sobre el espectro continuo inicial del cuerpo una serie de rayas oscuras (rayas de absorción o de Fraunhofer), precisamente en aquellas longitudes de onda para las que el gas, radiante él sólo, habría generado rayas de emisión.

## 6.- REFLEXIÓN, TIPOS DE REFLEXIÓN.

### 6.1.- Reflexión.

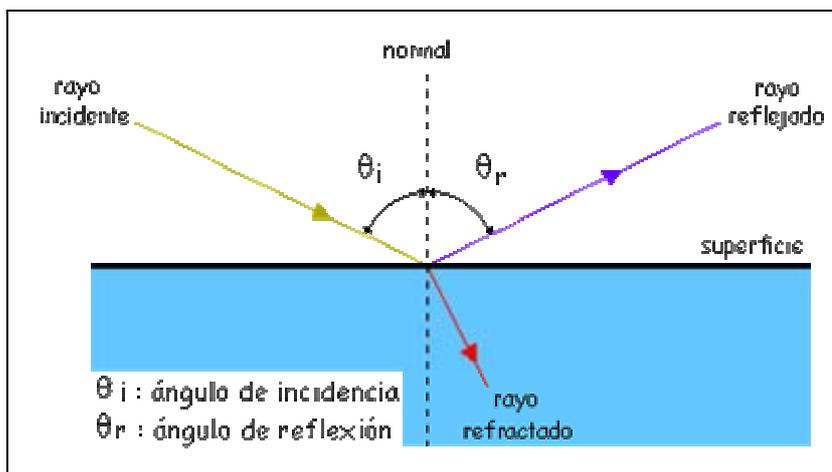
La reflexión es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de la reflexión.

Cuando la luz incide sobre un cuerpo, éste la devuelve al medio en mayor o menor proporción según sus propias características, la refleja, y gracias a este fenómeno podemos ver las cosas.

### 6.2.- Leyes de Snell para la reflexión.

La reflexión se podría definir como el cambio de dirección que se produce en un rayo de luz al encontrar un obstáculo, y en función de la superficie de ese obstáculo, es decir, si la superficie es especular, irregular, mate o reflectante, la dirección que tomará el rayo de luz tendrá una dirección u otra. Esto no es algo aleatorio y está definido por las leyes de Snell para la reflexión, estas postulan lo siguiente:

- El rayo incidente, la normal y, el rayo reflejado están contenidos en el mismo plano.
- El ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión son iguales.  $\theta_i = \theta_r$



Es importante destacar que los ángulos, tanto de incidencia como de reflexión, son siempre referidos a la recta normal a la superficie de separación de los medios.

### 6.3.- Tipos de reflexión.

La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie, se destacan los siguientes casos:

- Reflexión especular: si la superficie es brillante o pulida se produce la reflexión regular en la que toda la luz sale en una única dirección. Este es el caso de los espejos y de la mayoría de las superficies duras y pulidas. Al tratarse de una superficie lisa, los rayos reflejados son paralelos, es decir tienen la misma dirección
- Reflexión difusa: si la superficie es mate la luz sale reflejada en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie. Es típica de sustancias granulosas como polvos.
- Reflexión extendida: es una combinación de reflexión difusa y reflexión especular. Tiene un componente direccional dominante que es difundido parcialmente por irregularidades de la superficie.
- Reflexión mixta: es una combinación de reflexión difusa, reflexión especular y, reflexión extendida. Este tipo de reflexión es el que se da en la mayoría de los materiales reales, predomina una dirección sobre las demás, se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.
- Reflexión esparcida: es aquella que no puede asociarse con la Ley de Lambert ni con la Ley de la Reflexión Regular.

## 7.- REFRACCIÓN, LEYES DE SNELL, GRADOS DE DESPLAZAMIENTO.

### 7.1.- Refracción.

La refracción es un fenómeno que se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

La refracción es el cambio que experimenta la dirección de un rayo de luz al pasar de un medio transparente a otro de diferente densidad, como consecuencia de la diferente velocidad de propagación en cada uno de estos medios.

### 7.2.- Leyes de Snell para la refracción.

El fenómeno de la refracción está marcado por las leyes de Snell para la refracción, estas postulan lo siguiente:

- El rayo incidente, la normal y, el rayo reflejado están contenidos en el mismo plano.
- El producto del índice de refracción del medio incidente por el seno del ángulo de incidencia, es igual, al producto del índice de refracción del medio de refracción por el seno del ángulo de refracción.

$$n_1 \cdot \text{sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{sen}\theta_2$$

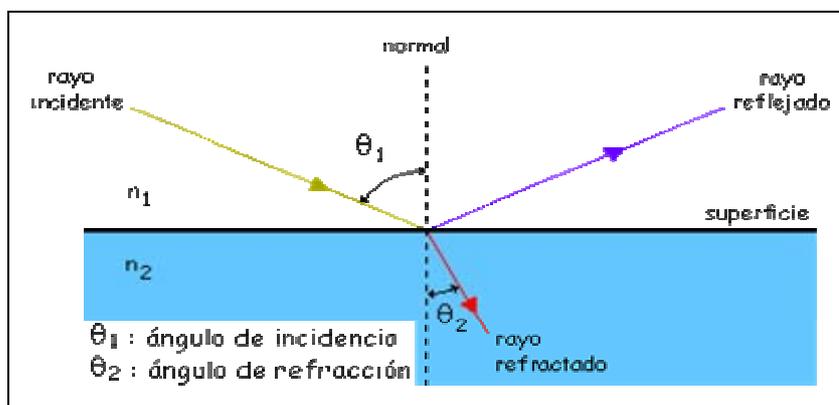
donde,

$n_1$  = índice de refracción del medio de incidencia.

$\theta_1$  = ángulo de incidencia respecto a la normal.

$n_2$  = índice de refracción del medio de refracción.

$\theta_2$  = ángulo de refracción respecto a la normal.



Es importante destacar que los ángulos, tanto de incidencia como de refracción, son siempre referidos a la recta normal a la superficie de separación de los medios.

### 7.3.- Grados de desplazamiento.

Se considera grado de desplazamiento la mayor o menor desviación que se produce sobre el rayo incidente respecto de la normal una vez que éste ha sido refractado. Este desplazamiento depende de la densidad óptica relativa de las sustancias inicial y final, y del ángulo de incidencia y de la longitud de onda del rayo incidente.

Cuando la luz pasa de un medio de propagación a otro, sufre un cambio de velocidad al que acompaña, si no entra perpendicularmente, un cambio de dirección en su trayectoria, debido a la distinta velocidad de propagación que tiene la luz en los diferentes materiales.

El fenómeno de emergencia de roce se produce cuando el ángulo de incidencia tiene un valor igual al conocido como ángulo crítico para la refracción.

Se define como ángulo crítico aquel a cuyo ángulo de incidencia corresponde un ángulo de refracción de  $90^\circ$ , en este caso el rayo incidente emerge lo largo de la superficie de separación de los dos medios, produciéndose lo que se conoce como emergencia de roce.

El índice de refracción de un medio material se define como la relación que existe entre el valor de la velocidad de propagación de la luz en el vacío y el valor de la velocidad de propagación de la luz en el medio material. Se expresa del siguiente modo:

$$n = \frac{c}{v}$$

donde,

$n$  = índice de refracción del medio material.

$c$  = velocidad de propagación de la luz en el vacío.

$v$  = velocidad de propagación de la luz en el medio material.

Cabe mencionar que para el vacío, el índice de refracción toma un valor de 1, y para el aire de 1,00294.

## **8.- ABSORCIÓN, INTERFERENCIA, DIFRACCIÓN Y POLARIZACIÓN DE LA LUZ.**

### **8.1.- Absorción de la luz.**

Cuando un rayo luminoso se propaga por un medio, va disminuyendo paulatinamente su intensidad, se dice que ese medio lo absorbe. También sucede que al reflejarse la luz solar sobre una sustancia, una parte de ella se absorbe, produciendo la sensación de calor. La energía absorbida en forma de luz se transforma en energía en forma de calor.

Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si refleja todas las componentes de la luz, entonces es blanco y, si las absorbe todas, es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. Queda claro, entonces, que el color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar y/o absorber.

### **8.2.- Interferencia de la luz.**

La interferencia, es el efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud (intensidad o tamaño) de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas (posiciones relativas de crestas y valles) y amplitudes de las ondas iniciales.

#### **8.2.a.- Interferencia constructiva.**

La interferencia constructiva se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia que se solapan o entrecruzan están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden. En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forman una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales.

Cuando la cresta de una onda se superpone a la cresta de otra, los efectos individuales se suman. El resultado es una onda de mayor amplitud. A este fenómeno se le llama interferencia constructiva, o refuerzo, en donde se dice que las ondas están en fase.

### **8.2.b.- Interferencia destructiva.**

La interferencia destructiva se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente.

Cuando la cresta de una onda se superpone al valle de otra, los efectos individuales se reducen. La parte alta de una onda llena simplemente la parte baja de la otra. A esto se le llama interferencia destructiva, o cancelación, donde decimos que las ondas están fuera de fase.

Cuando las ondas que se cruzan o solapan tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.

La interferencia puede producirse con toda clase de ondas, no sólo ondas de luz. Las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona.

Cuando se construye una sala de conciertos hay que tener en cuenta la interferencia entre ondas de sonido, para que una interferencia destructiva no haga que en algunas zonas de la sala no puedan oírse los sonidos emitidos desde el escenario.

### **8.3.- Difracción de la luz.**

La difracción, es una dispersión o desviación de la luz que se produce en el borde de los obstáculos que se encuentra al propagarse. El fenómeno es más intenso cuando el borde es afilado.

Este fenómeno puede explicarse si consideramos la propagación de la luz como un movimiento ondulatorio, al chocar con un borde afilado, se produce un segundo tren de ondas circular, al igual que en un estanque. Esto da lugar a una zona de penumbra que destruye la nitidez entre las zonas de luz y sombra.

Las características esenciales de la difracción se explican por el principio de Huygens, que establece que cada punto en un frente de onda que avanza, puede ser considerado la fuente de una nueva onda u onda secundaria. Las ondas secundarias se combinan para producir el nuevo frente de onda.

#### 8.4.- Polarización de la luz.

Este fenómeno de polarización solo se da con ondas transversales, pero no con longitudinales, ya que implica una asimetría respecto del eje en la dirección de propagación. Si se demuestra que un haz luminoso puede ser polarizado, llegaremos a la conclusión de que las ondas luminosas son transversales.

Las ondas electromagnéticas son ondas planas transversales, ya que los campos eléctrico y magnético oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. Por otro lado, los planos de oscilación del campo eléctrico y magnético son normales entre sí. Un haz luminoso en el que las oscilaciones del campo eléctrico se verifiquen siempre en el mismo plano se denominará haz luminoso polarizado.

La luz se genera por una carga eléctrica que vibra a cierta frecuencia y por tanto genera un campo eléctrico de variación rápida. Este campo implica, a su vez, el correspondiente campo magnético y ambos dan lugar a una onda electromagnética que se propaga siguiendo el vector de Poynting (resultado de la composición de la propagación de los campos eléctrico y magnético). Los vectores de los campos eléctrico y magnético vibran aleatoriamente en cualquiera de los planos que contienen el vector de Poynting. Esto es lo que se conoce como "luz natural", para diferenciarla de la "luz polarizada" en la cual el vector eléctrico vibra en un solo plano, que se denomina plano de polarización. La luz que se propaga en estas condiciones se denomina luz polarizada plana, o linealmente polarizada.

La luz natural no está polarizada. La luz emitida por un manantial está constituida por una serie de trenes de ondas procedentes de átomos distintos; en cada uno de estos trenes de ondas el campo eléctrico oscila en un plano determinado, pero, en general, su orientación es distinta de unos a otros. Dado el enorme número de moléculas y átomos de un manantial luminoso, se comprende el gran número de trenes de ondas que constituye un haz de luz y, por consiguiente, la existencia en éste de ondas polarizadas en todas las direcciones transversales posibles.

La luz procedente del reflejo sobre el agua está fuertemente polarizada, de modo que si se quiere reducir su intensidad en una fotografía se debe utilizar un filtro polarizador en un ángulo de polarización adecuado, dependiendo del efecto que se quiera producir en la imagen.

Se distinguen distintos tipos de polarización: polarización por reflexión, polarización por doble refracción y polarización rotatoria.

## 9.- MAGNITUDES CARACTERÍSTICAS.

Una magnitud fotométrica es una magnitud radiométrica ponderada teniendo en cuenta la sensación visual que provoca en el ojo, la base de la evaluación para efectuar esta ponderación es a través de la curva patrón de luminosidad, se trata de la curva de sensibilidad fotópica, utilizada para iluminaciones normales o fuertes, valores de luminancia superior a 3 nits, que presenta su máxima sensibilidad a una longitud de onda de 555 nm.

La curva de sensibilidad escotópica, es la utilizada para valores bajos de luminosidad, inferiores a 0,25 nits, presentando máxima sensibilidad a 510 nm. Este desplazamiento hacía el azul, de la sensibilidad del ojo humano para bajos niveles de iluminación, se denomina efecto Purkinge.

Las magnitudes para cuantificar la luz pueden dividirse en aquellas que se emplean para medir su calidad, su intensidad y su color. Siendo la calidad la temperatura de color de una fuente luminosa, y su unidad los grados Kelvin.

La intensidad estaría marcada por cuatro aspectos básicos: la energía de las fuentes luminosas (su unidad es el Talbot), la intensidad de la luz incidente sobre el sujeto que se conoce como iluminación (su unidad es el Lux), la intensidad de la luz reflejada sobre un sujeto que se conoce como luminancia (su unidad es el Nit) y la energía total emitida o recibida que se conoce como flujo (su unidad es el Lumen). Mientras que el color sería la longitud de onda de la radiación electromagnética y su unidad cualquier unidad de longitud conveniente, normalmente Angstrom ( $\text{\AA}$ ) o nanómetro (nm).

### 9.1.- Energía luminosa ( $Q_v$ ).

La energía luminosa es la energía radiante ponderada con la curva patrón de luminosidad. Es el aspecto de la energía radiante (energía transportada en forma de ondas electromagnéticas, sea de la frecuencia que sea) que llamamos popularmente luz.

Se mide en Talbots y se simboliza por  $Q_v$ . El Talbot es la energía luminosa radiada por una fuente de potencia constante e igual a 1 lumen durante un segundo.

### 9.2.- Potencia luminosa o flujo luminoso ( $P_v$ ).

Es la variación de la energía luminosa en la unidad de tiempo. Se mide en lúmenes y se simboliza por  $P_v$  o por  $\Phi$ .  $P_v = \frac{\partial Q_v}{\partial t}$ .

La potencia luminosa es la potencia radiante evaluada por su capacidad para producir sensaciones visuales en el ojo. El lumen no se corresponde de forma simple con un número de vatios, puesto que los mismos vatios producirán más o menos lúmenes dependiendo de la longitud de onda de la radiación, ya que unas frecuencias producen más sensación que otras sobre el ojo. A la relación entre vatios y lúmenes se le llama equivalente luminoso de la energía y equivale a:

$$\boxed{1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lúmenes}}$$

Si consideramos una fuente que emite una determinada energía radiante y que supuestamente lo haga en todas direcciones podemos considerar ésta como una esfera. El ángulo sólido determinará un cono que abarca la superficie o área ( $S$ ) determinada, con relación al radio unidad. En estas condiciones, la medida en estereorradianes del ángulo sólido  $W$  viene definido por la siguiente razón:  $W = \frac{S}{r^2}$ . Como el área de una esfera es  $\frac{4 \cdot \pi \cdot r^2}{r^2} = 4 \cdot \pi$  estereorradianes.

Cuando  $S = r^2$  el ángulo sólido será de un estereorradián. Según esto podemos definir el lumen de la siguiente forma: es el flujo luminoso que atraviesa en un segundo un ángulo sólido de un estereorradián, emitido por una fuente puntual cuya intensidad es de una candela. De otro modo, el lumen es la potencia luminosa radiada por una fuente omnidireccional de intensidad luminosa igual a una candela en un estereorradián.

### 9.3.- Intensidad luminosa ( $I$ ).

La intensidad luminosa de una fuente puntual en una determinada dirección es la potencia luminosa emitida en esa dirección por unidad de ángulo sólido. Se mide en lúmenes/estereorradián, que reciben el nombre de candelas y se simboliza por  $I_v$  o  $I$ .

El concepto de intensidad luminosa se utiliza para caracterizar la distribución de potencia luminosa según las distintas direcciones. La intensidad luminosa es independiente de la distancia, siempre que el medio sea isótropo y sin pérdidas ni reflexiones. La intensidad luminosa varía en general con la dirección (fuentes direccionales).

Intensidad luminosa $I = \frac{\Phi}{\omega}$	Símbolo: I	
	Unidad: candela (cd)	

### 9.4.- Luminancia (L).

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determina, es la medida de la luz reflejada por una superficie. Se simboliza por L o  $L_v$  y sus unidades de medida son el nit o el stilb.

Una luminancia de un nit, es igual a la intensidad luminosa de una candela reflejada por una superficie de 1 m<sup>2</sup>. 
$$\text{Nit} = \frac{cd}{m^2}$$

Una luminancia de un stilb, es igual a la intensidad luminosa de una candela reflejada por una superficie de un cm<sup>2</sup>. 
$$\text{Stilb} = \frac{cd}{cm^2}$$

Luminancia $L = \frac{I}{S_{aparente}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$	Símbolo: L	
	Unidad: cd/m <sup>2</sup>	

Es importante destacar que solo vemos luminancias, no iluminancias.

### 9.5.- Iluminación o iluminancia (E).

Es la cantidad de potencia o flujo luminoso incidente por unidad de superficie  $E = \frac{\Phi}{S}$ . Su símbolo es E o  $E_v$ , sus unidades de medida son el lux o el foot-candle.

Una iluminancia o iluminación de un lux, es igual a un flujo luminoso de un lúmen recibida en una superficie de 1 m<sup>2</sup>. 
$$\text{Lux} = \frac{\text{lúmen}}{m^2}$$

Una iluminancia o iluminación de un foot-candle, es igual a un flujo luminoso de un lúmen por una superficie de un  $\text{cm}^2$ .

$$\text{Foot - candle} = \frac{\text{lúmen}}{\text{cm}^2}$$

1 foot-candle o candela-pié equivale a 10,76 lux.

- 1 pulgada equivale a 25,4 mm.
- 1 pie equivale a 304,8 mm, que son 0,3 m.

### 9.5.a.- Ley de Lambert o Ley del cuadrado inverso.

Existe una relación entre la iluminación (E) y la intensidad luminosa (I) emitida por una fuente en función de la distancia y la dirección de observación, establecida a través de la siguiente expresión.

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

donde:

E = iluminación en lux.

I = intensidad luminosa en candelas (lúmenes/stereorradián).

d = distancia en metros.

$\alpha$  = ángulo formado desde el punto de observación a la recta normal a la superficie de radiación.

La variación de la intensidad de la luz con la distancia se rige por la ley del cuadrado inverso, y es fundamental conocerla pues es la causa de muchos errores fotográficos. Intuitivamente suele pensarse que al doblar la distancia de un objeto a un punto de luz, por ejemplo un flash, la luz disminuiría a la mitad, pero en realidad lo hace a la cuarta parte. Según dicha ley cuando una superficie está iluminada por un manantial de luz puntiforme, la intensidad de la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia respecto al foco de luz.

### 9.6.- Exitancia luminosa (M).

Es la densidad superficial de potencia luminosa que sale de una superficie emisora. Su símbolo es  $M_v$  y se mide en  $\frac{\text{lúmenes}}{\text{m}^2}$ , no hay que confundir esta unidad con el lux, aunque sea un cociente de las mismas magnitudes, el lux es una magnitud de recepción y lo que aquí consideramos es una magnitud de emisión.

### 9.7.- Rendimiento luminoso ( $\eta$ ).

Se define rendimiento luminoso de una fuente de luz cualquiera, como el cociente entre la potencia luminosa conseguida y la potencia radiante utilizada para ello,

$\eta = \frac{\Phi}{W}$ . Su símbolo es  $\eta$  y se mide en  $\frac{\text{lúmenes}}{\text{watio}}$ .

### 9.8.- Cantidad de luz (Q).

Esta magnitud solo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de proporcionar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo,  $Q = \Phi \cdot t$ . Su símbolo es Q y su unidad es el lumen por segundo (lm·s).

### 9.9.- Color.

El color se encuentra relacionado con la luz y la forma en que esta se refleja. La percepción del color implica que nos lleguen ondas luminosas a los ojos, donde se convierten en impulsos nerviosos que se envían al cerebro para que sean interpretados y nos produzcan la sensación del color. El color de la luz está relacionado con la frecuencia de la radiación luminosa.

El efecto cromático que emite la luz a través de fuente luminosa depende de su temperatura. Si la temperatura es baja, se intensifica la cantidad de amarillo y rojo contenida en la luz, pero si la temperatura de color se mantiene alta habrá mayor número de radiaciones azules.

La temperatura de color de una fuente luminosa se define como la temperatura a la que debe calentarse el cuerpo negro para tener una cromaticidad igual que la de la fuente luminosa, y nada tiene que ver con la temperatura física a la que se encuentre la fuente.

Un cuerpo negro es un cuerpo ideal, y por lo tanto no existente en la naturaleza. Presenta siempre una temperatura uniforme, y absorbe completamente las radiaciones incidentes, por lo que si alguna radiación es emitida de él será porque la ha generado, nunca porque la haya reflejado de la energía recibida. La potencia radiante de un cuerpo negro queda determinada solo por su temperatura, mientras que para otros cuerpos depende del material y de la temperatura.

Las temperatura cromática, se puede modificar anteponiendo filtros de conversión sobre las fuentes luminosas.

### 9.10.- Intensidad.

La intensidad es la cantidad de luz que llega al sujeto procedente de una fuente luminosa y está condicionada por la potencia y la distancia a la que se encuentre dicha fuente. La proximidad de una fuente al sujeto aumenta el contraste y viceversa. La intensidad de luz sobre un objeto se puede evaluar de dos formas: midiendo la luz que incide sobre el sujeto y, midiendo la luz reflejada por el objeto (es la forma habitual, cuando se mide con la cámara).

### 9.11.- Calidad.

La calidad es el término que nos informa de la cantidad de matices que es capaz de generar una fuente luminosa. Depende en gran medida del tamaño de la superficie emisora de luz, con una superficie pequeña tendremos una luz más dura y más contrastada que con una superficie amplia. Para clarificarlo imaginemos el sol en un cielo despejado: produce sombras duras y nítidas. En cambio si el cielo se nubla la luz del sol al atravesar las nubes genera pocas sombras y muy difuminadas.

### 10.- CONCLUSIONES.

La luz es el elemento básico que nos va a transmitir las características del sujeto. Pero a través de ella obtenemos la fotografía que aporta datos no sólo físicos sino también emocionales, ambientales, estéticos, etc. La finalidad última de la toma impone qué iluminación hemos de usar ya que no será lo mismo plantear una foto carnet que un retrato de estudio. La intención nos obliga a trabajar determinadas características que nos interese resaltar (volumen, textura, estado emocional, etc.).

Tampoco hemos de olvidar que los gustos e intenciones tienen tanta o más importancia que la técnica, por lo que muy a menudo es casi imposible la redacción de reglas fijas e invariables.

### 11.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTALES.

- MARTÍN MARCOS, A.  
Apuntes de Fotometría.  
E. U. I. T. T. Madrid. 1.994.
- LANGFORD, MICHAEL  
Fotografía Básica.  
Omega. Barcelona. 1.992.
- LANGFORD, MICHAEL  
Fotografía Básica. Iniciación a la Fotografía Profesional.  
Ed. Omega. Barcelona. 1.990.
- JACOBSON, R. E., RAY, S. F., ATTRIDGE, G. F., AXFORD, N. R.  
Manual de Fotografía.  
Ediciones Omega. Barcelona. 2002.
- LOVELL, R. P., ZWAHLEN, F. C., y FOLTS. J. A.  
Manual completo de Fotografía.  
Celeste. Madrid. 1998.
- FREEMAN, MICHAEL.

El libro de toda la Fotografía.  
Ediciones del Drac. Barcelona, 1991.

- <http://www.fotomundo.com>
- <http://www.kodak.com>

# NOTAS