

EL MUNDO DE LA ILUMINACIÓN

PRIMERA PARTE

**FUNDAMENTOS DE LA
ELECTRICIDAD**

**NATURALEZA Y MANIFESTACIONES
DE LA LUZ**



A MANERA DE PRÓLOGO

Iniciamos con esta primera parte de “EL MUNDO DE LA ILUMINACION” una serie de apuntes y consideraciones sobre esta materia, que serán los que habitualmente utilizaremos en nuestro quehacer diario o con los que nos relacionaremos a menudo.

Poco más podemos añadir en esta entrada excepto expresar dos consignas importantes que presiden este trabajo:

- Mostrar aspectos y datos útiles, asumidos a lo largo del tiempo, fruto de vivencias propias y ajenas, para aquellos que deseen conocer algo más sobre esta materia.
- Tratar de hacer esta exposición lo más amena posible, dentro de las limitaciones que el tema admite.

Por ello nos permitiremos alguna licencia en aras de eliminar aridez a algunos conceptos que tienen, inexplicablemente, una carga importante de la misma.

Como, por ejemplo, contar con un elemento para subrayar en el texto alguna idea importante o algún aspecto donde fijar más la atención:

Se trata de la mascota del Grupo Grudilec, o sea “KWITO”, que con su aspecto "relampaqueante" será difícil que pase desapercibido.



También recurriremos a un apartado, que llamaremos **anecdótico**, donde se incluirán aquellas anotaciones capaces de aportar alguna idea más sobre lo expuesto.

Y cada cierto tiempo, gracias a otro **anexo**, daremos una **vuelta atrás** para apuntar algo que, no deseándolo, se haya quedado en el tintero.

ÍNDICE

Prólogo	3
Introducción	7
El descubrimiento de la corriente eléctrica	9
El circuito eléctrico de corriente continua y alterna	15
Resistencia	19
Otros conceptos	
Ley de Ohm.....	21
Potencia eléctrica.....	21
Energía eléctrica.....	22
Costo de la energía eléctrica.....	22
Magnitud de la onda.....	24
Frecuencia.....	26
Forma de la onda de tensión alterna.....	26
Intensidad alterna.....	27
Factor de potencia.....	27
Resistencia óhmica.....	27
Resistencia inductiva.....	28
Resistencia capacitiva.....	29
Potencia activa.....	31
Potencia reactiva.....	31
Potencia aparente.....	31
Consideraciones sobre la transmisión de potencia.....	33
Anecdotario.....	34
Transformadores	35
Anecdotario.....	36
Aspectos físicos de la luz	39
Naturaleza de la luz.....	39
Espectro visible.....	39
¿Cómo puede generarse la luz?.....	39
Transmisión de la luz.....	40
Parámetros de la radiación luminosa.....	40
El ojo humano	41
Formación de las imágenes.....	42
Adaptación.....	44
Acomodación.....	45
Agudeza.....	46

Sensibilidad.	46
Anecdotario.	47
Magnitudes luminosas básicas. Leyes fundamentales de la luminotécnia.	
Flujo luminoso.	49
Rendimiento luminoso.	50
Intensidad luminosa.	50
Iluminancia.	51
Luminancia.	52
Leyes fundamentales de la luminotécnia.	54
Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.	54
Ley del coseno.	55
Utilidad de la fórmula de la ley del coseno.	56
Reflexión, transmisión, absorción, refracción y difusión de la luz.	
Reflexión.	57
Transmisión.	58
Absorción.	59
Refracción.	60
Difusión.	60
Factores de reflexión, transmisión y absorción.	60
Anecdotario.	61
El color.	63
Síntesis substractiva.	66
Síntesis aditiva.	68
Triángulo cromático.	69
La saturación de los colores.	69
Influencia psicofisiológica del color.	70
El control de la luz	71
Nivel de iluminación.	71
Nivel idóneo del contraste.	76
Control de las sombras.	77
Modelado.	77
Control del deslumbramiento.	78
Control de nivel cromático.	79
Anecdotario.	80
Recomendaciones.	82
Depreciación.	83
Duración.	84
Medidas.	84
Posición de funcionamiento.	84

INTRODUCCIÓN

Podemos asegurar, con bastante aproximación a la verdad, que en el momento presente nadie, que se haya iniciado en iluminación, resiste el deseo de conocer a fondo todo lo que se relaciona con esta apasionante materia hasta llegar a dominar el entorno luminotécnico y convertirse en un verdadero especialista en la misma.

Sin llegar tan lejos podemos comprobar que, en general, los conceptos básicos, desposeídos de toda complicación, se conocen, se utilizan y se habla de ellos, en definitiva.

Existen puntos de referencia que antes o no se indicaban en los catálogos o estaban envueltos, valga la expresión, de oscurantismo.

Es agradable repasar catálogos de iluminación ya que podemos comprobar que sus autores se esfuerzan por presentarnos lo más significativo e importante de una forma muy atractiva y comprensible.

También es cierto que la luminotecnia es una disciplina y como tal exige una dedicación y que tal vez, sobre todo al principio, nos cueste progresar en el empeño.

Comprobamos con desilusión que no avanzamos aparentemente nada, pero es un poso que se va grabando en nuestra mente y un buen día observamos que hemos tenido un verdadero acierto al presentar una solución apropiada, entre las muchas posibles.

Iluminar un espacio permite varias alternativas y es que este trabajo tiene muchas soluciones por su gran carga de subjetividad (admitida de entrada), ya que no es raro escuchar: " Lo tengo muy claro, yo haría esto..." Que suele ser la respuesta habitual del prescriptor.

La iluminación de un recinto se parece a un cuadro que gusta o no, y que posiblemente no podamos explicar por qué.

Lo más importante es conseguir el nivel de luz necesario para acometer la tarea que en ese lugar se va a realizar y también considerar que hay otros aspectos que deben ser tenidos en cuenta como el deslumbramiento y el modelado de las formas y objetos presentes y que a veces se omite.

Acertar o pasarse un poco hacia arriba debe ser nuestro objetivo y por el que nos van a juzgar.

El tono de la luz debe marcarlo el propio ambiente.

Finalmente recordemos que iluminar no es sólo alumbrar y que la luz es muy agradecida.

¡Es cierto! Porque una simple vela... , alumbr.

Nuestra intención es desarrollar este trabajo en cuatro partes:

- La primera entrega se refiere a conceptos fundamentales sobre el comportamiento de la luz y la impresión que esta nos produce.
- La segunda entrega se centrará en destacar las cualidades de la fuente de luz artificial más antigua, la bombilla incandescente. También dedicaremos parte de texto, a destacar todo lo que se refiere a las lámparas halógenas, al formar parte de esta familia de lámparas con filamento, y a los auxiliares que pueden necesitar para su funcionamiento.

Como tenemos el recurso de la vuelta atrás, podemos seguir insistiendo en aspectos sobre la luz, que sirvan para confirmar ideas.

En esta entrega hablaremos también de la regulación de la luz incandescente.

- En la tercera se explicará todo lo necesario para conocer a fondo la iluminación fluorescente y empezaremos a trabar conocimiento de cómo se debe calcular la iluminación de un espacio, con todas sus posibles soluciones. Se describirán los auxiliares precisos para encender los tubos fluorescentes y cómo regular su emisión de luz.

Se escribirá lo necesario sobre la luz negra, la luz negra azul y la versión germicida de este tipo de radiación ultravioleta.

- En la última entrega se describirán las lámparas de descarga con todas sus aplicaciones y cálculos para el alumbrado de parques y jardines, alumbrado vial, deportivo y de proyección. Con el detalle de los auxiliares necesarios para el encendido y estabilización.

- Y en un anexo se explicará lo suficiente para conocer el alumbrado de emergencia, la normativa a la que debe estar sujeto y cuantos datos sean precisos para tener una idea clara sobre el mismo.

- También hablaremos sobre las fuentes de luz que pueden sorprendernos en un futuro próximo.

Finalmente queremos manifestar que no nos importaría insistir en aspectos ya comentados, a instancias de nuestros lectores, porque hemos dejado abierta esa posibilidad.



Admitiendo que también existe un colectivo luminotécnico formado por decoradores, profesionales del diseño (o profesionales alejados del mundo eléctrico) y que no tienen por qué estar familiarizados con la electricidad, para ellos, si les toca leer este texto, y para todo aquel que desee repasar lo ya conocido, se explica el sentido que esta tiene, en tono menor, con todas las unidades y parámetros eléctricos que pueden mencionarse en un tratado de iluminación como el que estamos desarrollando.

Está claro que sin electricidad no podríamos disponer de iluminación en el buen sentido de la palabra.

Debemos coordinar ambas materias para conseguir los objetivos que perseguimos.

Por esta circunstancia hablaremos de los conceptos fundamentales de la electricidad, relacionados con la iluminación:

INTENSIDAD, TENSIÓN, RESISTENCIA, POTENCIA, ENERGÍA, FACTOR DE POTENCIA, FRECUENCIA...

EL DESCUBRIMIENTO DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

La electricidad en sí misma ha sido intuitiva durante siglos pero la aplicación práctica de sus posibilidades, traducida en máquinas y en artilugios, se remonta a principios del siglo veinte.

Como referencia baste comentar que Londres se iluminó en 1920.

Pudo llegarse a una aplicación práctica gracias al descubrimiento de los métodos para producir un flujo continuo de electricidad que es lo que se conoce como corriente eléctrica.

Llegar a conseguir un nivel tan avanzado como el actual ha sido posible gracias al estudio, la observación y la investigación constante a lo largo casi de la historia del mundo.

Como en toda evolución existen unos jalones importantes de los que vamos a hablar.

En tiempos remotos empezó a preocupar el origen de las descargas atmosféricas y su naturaleza.

Los griegos ya estaban en la tarea de analizar diversos fenómenos curiosos e inexplicables. A Tales de Mileto (625-547 a. de C.), por ejemplo, se le atribuye el privilegio de analizar un tipo de electricidad, la que provenía del frotamiento de ciertos cuerpos con seda (que permitía atraer pequeños fragmentos de paja) a la que denominó hilopsiquismo, y tuvo la genialidad de diferenciar dos clases de electricidad, la positiva y la negativa.

De hecho electricidad proviene del griego "elektron" que significa ámbar o una sustancia parecida. Desde entonces y hasta finales de 1700 todos los experimentos se

centraban en el estudio de una parcela de la electricidad: la electricidad estática.

Es necesario citar también al doctor William Gilbert, un científico inglés de la corte de la reina Isabel (siglo XVI), que enumeró más cuerpos que podían generar electricidad por frotamiento: el diamante, el zafiro, la amatista, el cristal de roca, el vidrio, la plata y el lacre. Todas estas sustancias se "electrizan" cuando se frota con seda o con un trapo seco atrayendo después pequeños fragmentos de paja o de papel. No insistimos en ello porque seguramente todos habremos frotado un bolígrafo con un trapo de seda o con las mangas de un jersey de lana, para atraer pequeños papeles.

Otro momento importante se produce en Alemania cuando en 1660 Otto von Guericke diseña la primera máquina eléctrica que consistía en:

una bola de azufre que giraba alrededor de un eje

¿Qué?
Para no repetirlo insertamos una imagen...



Otto y su bola

Cuando se apoya la mano seca sobre la bola giratoria la esfera se electriza y se producen pequeñas chispas y chasquidos.

Su inventor descubrió que su esfera electrizada agitaba las gotas de agua cercanas y atraía objetos pequeños.

Después llegaron otros que trataron de mejorar los resultados conseguidos con la esfera, como por ejemplo Benjamín Franklin, en América.

Todos estos esfuerzos condujeron a la creación de distintos artilugios, como los discos giratorios generadores de electricidad estática, o triboelectricidad, que así también se conoce y que aún hoy en día se encuentran en infinidad de laboratorios.



La jaula

Puede sorprendernos lo que aparece en la figura anterior pero se refiere ni más ni menos que al análisis de los efectos que la electricidad estática produce sobre los chorros de agua a los que desvía y respecto a

los seres vivos:

"las plantas parece ser que crecen más rápidas y que los animales pierden peso..." (se comenta)

Aunque ninguna de estas máquinas fue capaz de generar un flujo continuo de electrones, solo descargas.

Pero todo iba a llegar...

Y al fin llegó...



Galvani con su rana

Ya que otro gran personaje estaba en ello. Se trataba del médico italiano Luigi Galvani (1737-1798), profesor en Bolonia.

Por circunstancias de su trabajo, en 1786 estaba analizando las patas de una rana muerta y pudo contrastar que pegaban una sacudida brusca cuando se tocaban con la hoja de un bisturí.

Parece ser que después de diseccionar una rana la había depositado sobre una mesa donde estaba una máquina electrostática, de tipo disco giratorio y cuando tocó ligeramente los nervios de la rana, con la punta del bisturí...

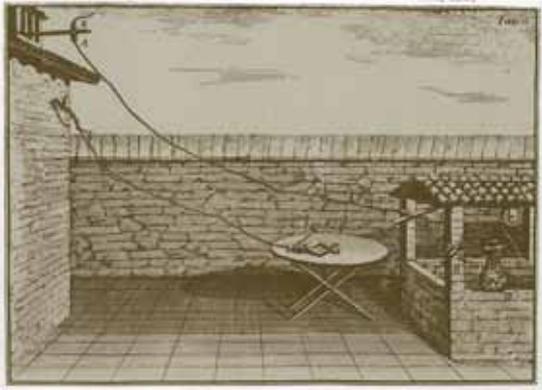
¡Los músculos de las patas se contrajeron violentamente!

Pensó en la máquina eléctrica como responsable del fenómeno y también en la electricidad atmosférica y realizó muchos

ensayos, dentro y fuera de su laboratorio, como puede apreciarse en las figuras siguientes.



Escena A



Escena B

Galvani siguió experimentando y exponiendo las patas de la rana a diversas pruebas, verificando que:

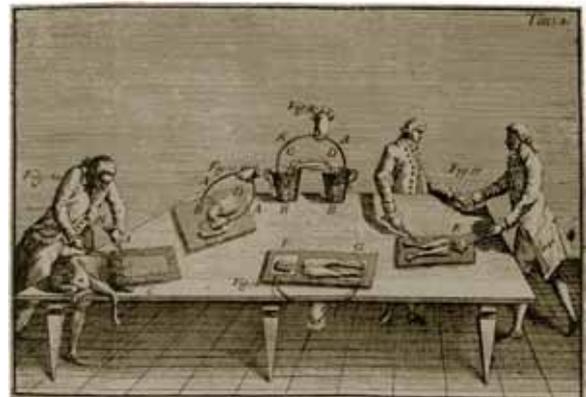
"La pata de una rana, sujeta con ganchos de latón a la verja de hierro que rodeaba la pared del jardín de mi casa, presentaba convulsiones no sólo durante las tormentas, sino también en otras ocasiones cuando el cielo estaba completamente despejado. Una vez, cansado de esperar en vano una tormenta que no llegaba, apreté los ganchos de latón que penetraban hasta la médula espinal de la rana contra la verja de hierro y observé también contracciones de los músculos."

Hizo muchas pruebas con arcos bimetálicos formados por dos metales de distinta naturaleza y llegó a conclusiones que pasa-

ban por atribuir el fenómeno al ambiente o a las propias patas de la rana llegando a pensar que esta electricidad, a la que llamó "electricidad animal", se producía porque los dos metales permitían que la electricidad animal saltara del nervio al músculo.

Realmente no se dio cuenta que la electricidad la producían los dos metales unidos.

Galvani no despreció el interés de este fenómeno y emprendió una serie de investigaciones que despertaron gran revuelo en el mundo científico.



Escena C

La explicación correcta de los experimentos de Galvani la dio un compatriota suyo llamado Alessandro Volta (1745-1827) que era profesor de física de la Universidad de Pavía.

Siguió experimentando y aunque en algún momento admitiese que la electricidad se pudiera originar en los tejidos animales, pronto centró su atención en las barras metálicas.

Se cuenta que pendiente del fenómeno le llegaron noticias de una prueba realizada por un suizo llamado J.G. Sulzer que había puesto la lengua entre piezas de plomo y plata, cuyos extremos estaban en contacto, detectando un sabor desagradable y penetrante. Haciendo lo mismo pero con los metales separados no se notaba ese sabor. Al saberlo Volta lo repitió y confirmó el mismo resultado anunciado en los dos supuestos.

Aún se permitió intercalar sus ojos en el circuito experimental, observando una sensación de luz, que pudo tener graves consecuencias.

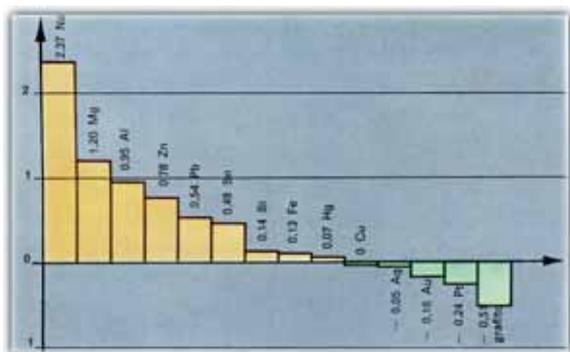
A raíz de aquello, Volta realizó muchos experimentos y al cabo de los años publicó su nueva teoría:

"La corriente eléctrica responsable de las observaciones de Galvani no era electricidad animal". Sostuvo que cuando dos clases diferentes de metales se ponían en contacto con un cuerpo húmedo, se producía una corriente eléctrica y si la corriente pasaba por un nervio, el músculo afectado se movía.

Descubrió que el valor de la corriente dependía de la naturaleza de los metales puestos en danza.

Llegó a desarrollar toda una teoría que desembocó en el fundamento de dos leyes.

Ordenó los metales en una serie, pensada de tal forma que los pares más alejados eran los causantes de una corriente más intensa. Así la serie que determinó fue: cinc, plomo, estaño, hierro, cobre, plata, oro.



La Serie Voltaica

LA SERIE DE VOLTA. Uniendo todos los posibles pares de conductores metálicos se comprueba que presentan distintas diferencias de potencial. Para medirlas se las refiere al valor que tienen respecto al cobre. En dicha escala éste tiene un potencial cero, mientras que una unión entre hierro y cobre generaría una diferencia de potencial de 0,13 voltios. Para

aclarar conceptos se traza un gráfico en el que se indican los potenciales de cada metal respecto al cobre.

Si hubiera que hallar la diferencia de potencial entre dos metales, ninguno de los cuales es el cobre, bastaría con calcular el de ambos respecto a éste.

Ejemplo: La diferencia de potencial existente entre plomo y hierro puede escribirse así:

$$VPb . Cu - VFe . Cu = VPb . Fe;$$

y sustituyendo, tenemos

$$0,54 V - 0,13 V = 0,41 V.$$

Volta continuó con sus investigaciones y en 1800 fabricó la pila (llamada voltaica) o batería eléctrica que permitía el flujo continuo de corriente eléctrica. Estaba formada por discos de cinc y plata, dispuestos uno encima de otro formando una "pila" (de ahí el nombre con que familiarmente la conocemos), y separados uno del siguiente por una tela o papel húmedos.

Con unos sesenta discos en la pila una persona podía notar una pequeña descarga al tocar los extremos.

Existe un cuadro, que reproducimos, donde se aprecia a Volta enseñando a Napoleón Bonaparte su descubrimiento y con todos los respetos podemos imaginarnos la situación:



Volta enseña la pila a Naapoleón

"La escena discurre en El Instituto Nacional de París el 7 de noviembre de 1801. Como puede apreciarse, en primer plano aparece Napoleón Bonaparte, por aquel entonces primer cónsul de Francia, al lado el Sr. Volta y alrededor una serie de personas, se supone relacionadas con la ciencia.

El Sr. Volta inclinado sobre su invento y protegiéndolo con las manos, dice...

— *Sire... he aquí mi invento...*

— *¿Qué es? Pregunta interesado Napoleón.*

— *Una pila...*

¡Expectación general!

— *¿Para qué sirve?*

Pregunta muy intrigado Bonaparte.

— *¡Mirad!*

Volta coge las patas de la rana y demuestra que al conectar los extremos a los correspondientes de la pila, se contraen.

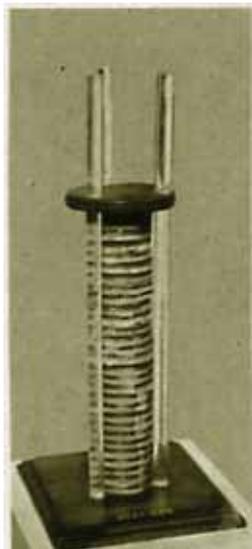
Todos se miran sorprendidos... Y el emperador insiste...

— *Pero, ¿Qué utilidad tiene?*

Imaginemos la respuesta de Volta.

— *De momento..., ninguna"*

Esta alusión a una escena tan curiosa no trata de empequeñecer la figura del genio. Todo lo contrario ya que reconocemos la enorme importancia de su entusiasmo y de su obra, que radica en el hecho de que la invención de la pila abrió un camino para el aprovechamiento práctico de la energía eléctrica ya que las anteriores investigaciones



La Pila de Volta

electrostáticas nunca hubieran conducido a semejante resultado, dado que mediante la inducción electrostática, aunque puedan acumularse grandes cantidades de carga eléctrica en un cuerpo, solamente se obtienen corrientes de muy breve duración con su descarga, sí bien, a veces, de gran importancia.

Una prueba evidente del camino iniciado fue que en 1809 Sir Humphry Davy después de percatarse de la transcendencia del descubrimiento, mejoró el diseño de la pila voltaica, descubrió otros metales más aptos y montó en los sótanos de la Royal Institution de Londres la mayor pila que nunca se hubiera preparado, formada por 2000 pares de placas cuadradas de 20 cm de lado. Delante de un nutrido auditorio la conectó a dos trozos de carbón, consiguiendo un potente arco eléctrico.

Hasta aquí se han detallado una serie de sucesos que bien pudieron haber sido los hitos básicos que marcan los balbucesos de la historia de la electricidad.

Hasta que surgió un investigador nato...

Fue prácticamente el Sr. Edison (1847-1931) quien trabajó, experimentó e inventó una serie de artilugios que más o menos han llegado en el mismo estado a nuestros días y que constituyen la parte dinámica y por tanto la que conocemos actualmente y sin la que no podríamos vivir al ritmo y estilo que lo hacemos. Hay que recordar que se le atribuyen más de 2.000 patentes.

Lo patentaba todo, aún no teniendo una aplicación inmediata como el gramófono, que tardó 10 años en encontrarle una salida airosa.

En el momento actual ya sabemos que la electricidad se produce en las centrales hidráulicas, térmicas, nucleares y recientemente también en los parques eólicos, amén de poderse generar con el auxilio de la radiación solar en paneles fotovoltaicos y otros sistemas de menor entidad. Sabemos que llega a nuestros hogares a través de unos tendidos de mucha envergadura que al acercarse a las ciudades se les entierra, después de haber sufrido algún cambio de

identidad del que luego hablaremos.

La electricidad llega a nosotros nominada como "corriente eléctrica". Solemos mezclar conceptos al referirnos a ella.

Así decimos que "ese cable da corriente..." cuando realmente queremos decir que tiene tensión y que su aislamiento deja mucho que desear.

Corriente eléctrica es el paso de electrones por un conductor y para que exista se necesita un circuito. Sin él no puede haber circulación de electricidad...



La electricidad está constituida por partículas de la materia de los cuerpos que son infinitamente pequeñas e invisibles que poseen carga eléctrica, a las que se les llama electrones, y forman parte de los átomos que componen la materia.



No les resulta peligroso

¿Por qué los pájaros pueden posarse sobre un tendido eléctrico sin que les ocurra nada? Lo curioso es que siempre son pájaros pequeños los que se posan.

Parece ser que nadie ha visto nunca una cigüeña en esa actitud.

Sin duda es la referencia más acertada para familiarizarnos con la idea de circuito.

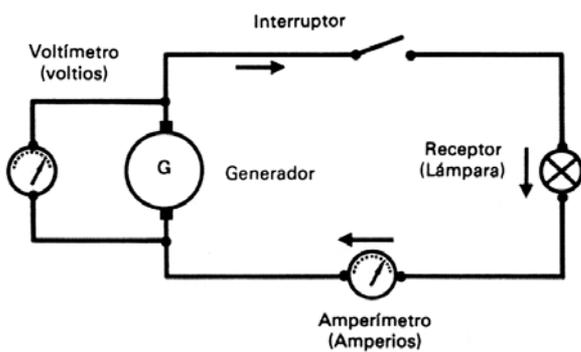
Siguiendo con la misma necesitamos antes precisar que existen dos formas de circular electrones por un circuito: de forma "continuada", siempre en la misma dirección, y se corresponderá con lo que llamaremos corriente continua o de forma "alterna", es decir, un tiempo en una dirección y otro en la dirección contraria.

¿ Por qué ?

Ahora lo veremos.

EL CIRCUITO ELÉCTRICO DE CORRIENTE CONTÍNUA Y ALTERNA

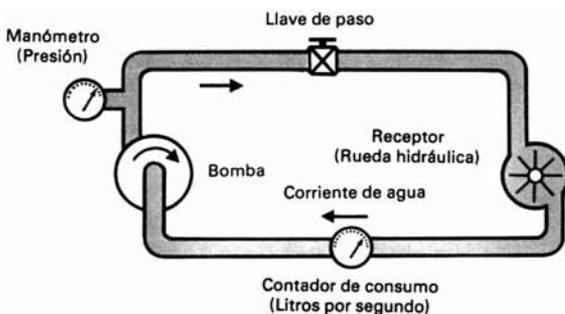
Puede estar formado por un generador de electricidad, unos conductores, un interruptor de corriente, un receptor (una lámpara, por ejemplo) y unos aparatos de medida.



Observamos que a los electrones se les atribuye un camino que va del polo positivo del generador al polo negativo, pasando por el receptor, la bombilla, a la que harán lucir.

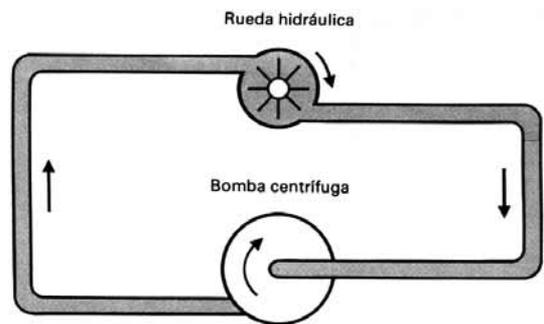
Y esto ocurrirá mientras exista la regeneración que se produce en la dinamo en movimiento y que hace situarse a los electrones en un nivel más alto para que puedan recorrer el circuito.

Con la intención de clarificar conceptos vamos a recurrir a un auxiliar muy valioso y socorrido como es el símil hidráulico.

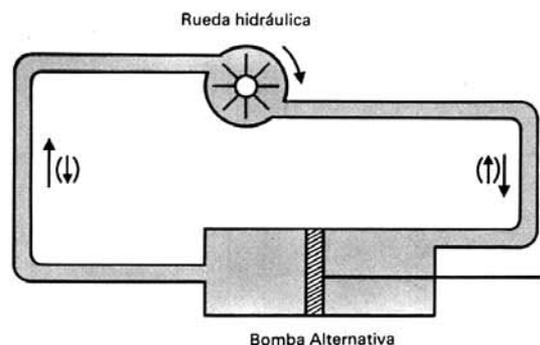


Comprobamos que un circuito hidráulico está formado por una bomba, unas tuberías, una llave de paso, un receptor y unos aparatos de medida.

Con ayuda de este auxiliar podemos representar un circuito donde la corriente continua de agua circule siempre en el mismo sentido y la rueda hidráulica gira también en el mismo sentido.



Y en otra analogía hidráulica podemos contrastar que debido al efecto del pistón de la bomba alternativa el agua circula una vez en un sentido y otra en el contrario. A pesar de este movimiento alterno del agua la rueda hidráulica lo hace siempre en el mismo sentido.



A la cantidad de electricidad que circula en un segundo por el conductor se llama intensidad de la corriente eléctrica y se representa por la letra I.

La unidad de intensidad de corriente eléctrica es el amperio y se representa por la letra A.

*Metro (longitud), kilogramo (masa), segundo (tiempo), **amperio (intensidad de corriente eléctrica)**, candela (intensidad luminosa), temperatura (kelvin) y mole (cantidad de materia o sustancia).*

Hemos hablado de la circulación de electrones de forma continuada o de forma alternada y da la impresión de que este movimiento sólo es posible de llevarse a cabo en un medio sólido.

Nada más lejano de la realidad ya que es factible, y esto es muy importante, la conducción de electricidad en un medio líquido en un medio gaseoso y hasta en un medio semiconductor.



Para deshacer la incógnita de si esa letra puede ser mayúscula o minúscula hay que aclarar que existe un acuerdo internacional de forma que si la letra se refiere al nombre o apellido del físico que ha formulado el postulado de una determinada ley donde se define esa unidad de medida, deberá emplearse la letra en mayúscula.

En este caso hablamos de André Marie Ampère (matemático y físico francés 1775-1836).

Recordemos que si nos referimos a valores muy altos podemos utilizar el kiloamperio o si por el contrario se trata de valores muy pequeños recurriremos al miliamperio. Esta forma de expresar un valor es hacerlo en múltiplos o submúltiplos.

Unidad fundamental:

Acabamos de hablar de intensidad y hay que hacer una observación muy importante que tiene que ver con las unidades de medida:

Actualmente el sistema de medidas que utilizamos es el Sistema Internacional de unidades (SI), establecido en 1960 por la 11ª CGPM (Conferencia General de Pesas y Medidas).

Este sistema establece una serie de unidades básicas o fundamentales, otras derivadas y finalmente otras suplementarias.

Démonos cuenta de que las fundamentales son siete:



Un ejemplo definitivo que aclara la realidad de la existencia del flujo eléctrico en un medio gaseoso lo constituye el tubo fluorescente que como veremos, más adelante, una vez encendido, sigue creando circuito, aunque sea en forma de arco.

Ante la imposibilidad de poder contar el número de electrones que pasa por un conductor se utilizan sistemas basados en sus efectos, por ejemplo intercalar en el circuito un aparato, que sin duda será conocido, como es el amperímetro.

Se ha comentado la existencia de dos tipos de corriente, la continua y la alterna y aunque nos pueda resultar la primera más familiar, más de casa, por aquello de las pilas y la batería del coche, y la segunda más desagradable, por aquello de no estarse quieta, es esta última la que se utiliza debido a criterios prácticos basados, sin duda, en la capacidad que tiene de ser transportada a distancia sin generar grandes pérdidas y recurriendo para ello a elevar la tensión a valores muy altos como por ejemplo 45.000 voltios.

Gracias a esta "manipulación" conseguiremos que el concepto de potencia, del que

hablaremos después, y que como veremos está formado por el producto tensión por intensidad, mantenga su cuantía disminuyendo el valor de uno de los factores del producto, que es la intensidad.

Démonos cuenta de que si con esa tensión (45.000 V) pasa un amperio estaríamos hablando de 45.000 vatios, que es una gran potencia.

Y como la sección del cable necesaria para pasar un amperio es muy pequeña, menor de 1 mm², imaginemos los amperios que pueden pasar por un tendido aéreo de aluminio de 50 mm².

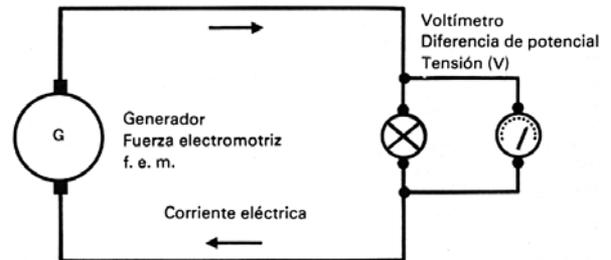
Para que la corriente eléctrica circule por un circuito es necesario que entre dos puntos o bornes de conexión del mismo exista una diferencia de potencial (d.d.p.) o tensión eléctrica.

Y para mantener esa diferencia de potencial es necesaria una fuerza continua que le mantenga y que se llama fuerza electromotriz (f.e.m.) y que en el caso de una dinamo la está produciendo el propio giro a unas determinadas revoluciones y en el caso de una pila o batería esa fuerza la aporta la reacción interna química que se está desencadenando.

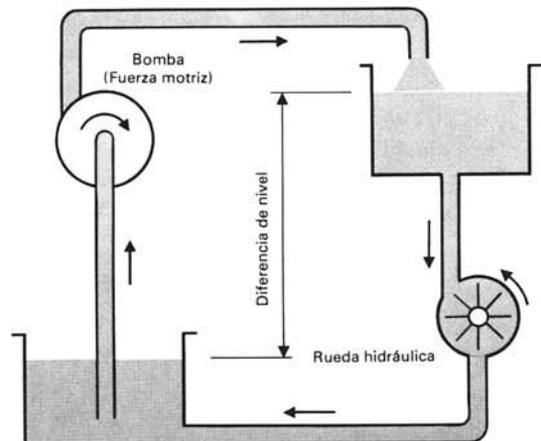
A la tensión eléctrica se le designa con la letra **U** y para medir la existente entre dos puntos de un circuito se utiliza un aparato de medida llamado voltímetro que se instala insertando su dos bornes entre los puntos donde se desee medir la tensión (ver figura).

La unidad de tensión eléctrica y fuerza electromotriz es el voltio y se representa por **V** (mayúscula en honor de Alessandro Volta, físico italiano 1745-1827).

Recordemos que si hablamos de valores muy altos podemos utilizar el kilovoltio o si por el contrario se trata de valores muy pequeños recurriremos al milivoltio.



Es tan importante el concepto de fuerza electromotriz que el circuito hidráulico que figura a continuación puede ser muy esclarecedor:



En el mismo observamos que para que el agua circule es necesaria la existencia de una diferencia de nivel entre dos puntos o superficies del mismo y para que lo haga constantemente se precisa una fuerza motriz que mantenga la diferencia de nivel que como se aprecia en el dibujo está proporcionada por la bomba.



RESISTENCIA

Otro concepto con el que podemos encontrarnos es con el de resistencia.

Se intuye que la corriente eléctrica al circular por el conductor encuentra una resistencia, como lo hace un vehículo al circular por una carretera, que es mayor a mayor longitud del cable y mayor también cuanto menor es su sección.

Así es en efecto, lo mismo que en una conducción de agua las grandes secciones permiten el paso de grandes corrientes pero en contra las pequeñas secciones no pueden sino gestionar pequeños valores.

Y de la misma suerte que una tubería de uralita tiene una determinada resistencia al paso del agua y distinta a la que ofrece una tubería de hierro galvanizado o de hierro pulido, sin más, a los conductores eléctricos les ocurre lo mismo, no teniendo el mismo valor un hilo de cobre que un hilo de aluminio.

A la resistencia que presenta al paso de la corriente un conductor de 1 m de longitud

y 1 mm² se le llama resistividad o coeficiente de resistividad y se representa por la letra griega ρ (ro).

La resistencia eléctrica es consecuencia del rozamiento de los electrones en su paso a través de los pequeñísimos cristales que constituyen la materia de un conductor.

Este rozamiento, como todos, genera calor, razón por la cual un conductor se calienta al paso de la corriente eléctrica, en mayor o menor grado y proporcionalmente a la magnitud de la misma, a sus dimensiones y la propia naturaleza del mismo.

A esta resistencia eléctrica se le representa con la letra **R** siendo su unidad el Ohmio en honor de Georg Simon Ohm, físico alemán 1789-1854 y los valores numéricos que alcanza se han de acompañar con la letra griega Ω (omega).

La resistencia eléctrica de un conductor puede obtenerse por las siguientes fórmulas:

$$R = \rho \text{ (resistividad)} \times l \text{ (longitud en m)} / s \text{ (sección en mm}^2\text{)}$$

$$R = \rho \times \frac{l}{s}$$

Ejemplo:

¿Qué resistencia presenta al paso de la corriente un conductor de cobre de 300 m de longitud y 1,5 mm² de sección?

$$R = \rho \times \frac{l}{s} = 0,017 \times 300 / 1,5 = 3,4 \Omega$$

Valores de resistividad de ciertos metales en su utilización como conductores.

Conductores	Resistividad a 20 °C
Aluminio (Al)	0,0256
Cobre electrolítico (Cu)	0,0156
Cobre industrial (Cu)	0,0170
Hierro (Fe)	0,0906
Mercurio (Hg)	0,9580
Níquel (Ni)	0,1232
Plata (Ag)	0,0146
Wolframio (W)	0,0800

La medida de la resistencia eléctrica se lleva a cabo generalmente con un aparato llamado ohmímetro.

No tiene mucha incidencia ni se relaciona directamente en ningún tema de iluminación salvo en la regulación de la luz que se realizaba en teatros y afines hace ya muchos años, cuando el reostato (incorporador de resistencias puras) estaba a la orden del día. No obstante es importante conocer su existencia para justificar, por ejemplo, el calentamiento de los equipos auxiliares para el encendido de ciertas lámparas.

Con la temperatura la resistencia cambia de valor, estando ambas magnitudes relacionadas en una fórmula que conviene conocer y es:

$$R_t = R_{20} (1 + 0,00393 [t - 20])$$

R_t es la resistencia eléctrica del elemento que estamos considerando a la temperatura t , R_{20} , el valor que tiene a 20 °C (que se toma como valor de referencia) y t es la temperatura final.

Esta fórmula es válida solamente para un intervalo restringido de temperaturas y aún dentro de él no es más que una aproximación.

Se trata de un incremento pequeño cuando la variación de la temperatura es de pocos grados. Sin embargo, en algunos casos esa variación no puede descartarse pues influye en el comportamiento de ciertos aparatos eléctricos.

Tal es el caso de las lámparas incandescentes. Su filamento se hace con una aleación de tungsteno. En el momento en que la bombilla se enciende el filamento está frío (baja resistencia eléctrica en relación con la que tiene el filamento en régimen normal de funcionamiento) y, consecuentemente, la recorre un pulso de corriente cuya intensidad es varias veces mayor que el valor que aquella alcanza cuando el filamento está caliente.

Esta explicación justifica el por qué se funden las bombillas, habitualmente, en el encendido. Y es que los encendidos, por lo anteriormente expuesto, acortan considerablemente la vida de las lámparas.

OTROS CONCEPTOS

LEY DE OHM

También es interesante saber como se relaciona la resistencia con la tensión e intensidad con lo que llegaremos a formular la famosísima ley de Ohm:

Si en los extremos de un conductor de resistencia R se aplica una tensión U , la intensidad de corriente que circula por el mismo es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia.

$$I \text{ (amperios)} = U \text{ (voltios)} / R \text{ (ohmios)}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Si nos remontamos a un circuito hidráulico constataremos que la corriente líquida que circula por una tubería que une dos depósitos situados a distinto nivel será tanto mayor cuanto mayor sea el desnivel y tanto menor cuanto mayor sea la resistencia al paso del líquido.

De la fórmula anterior podemos sacar otras relaciones:

$$U \text{ (voltios)} = I \text{ (amperios)} \times R \text{ (ohmios)} \text{ o bien}$$

$$U = \frac{I}{R}$$

$$R \text{ (ohmios)} = U \text{ (voltios)} / I \text{ (amperios)}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

Importante:

La fórmula de la Ley de Ohm en las tres versiones anteriores se cumple siempre

que estemos en presencia de corriente continua. En corriente alterna solo cuando actuemos con receptores que presentan resistencia óhmica pura, como en el caso de bombillas incandescentes y halógenas a tensión de red. En las lámparas de descarga, alimentadas con corriente alterna, se presentan otros fenómenos más complejos, donde intervienen desfases entre tensión e intensidad y de los que hablaremos después.



De ahí que la corriente alterna sea a veces menos popular que la continua.

POTENCIA ELÉCTRICA.

Por física sabemos que la potencia es la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo (un segundo).

Y en electricidad se cumple que:

$$P \text{ (potencia)} = U \text{ (voltios)} \times I \text{ (amperios)}$$

$$P = U \times I$$

La unidad de potencia es el vatio y su símbolo W (de James Watt, físico inglés, 1737-1802)

De la fórmula anterior podemos sacar

$$U \text{ (voltios)} = P \text{ (vatios)} / I \text{ (amperios)}$$

$$U = \frac{P}{I}$$

I (amperios) = P (vatios) / U (voltios)

$$I = \frac{P}{U}$$

Como $U = R \times I$

Tenemos que $P = R \times I^2$ que puede servirnos para calcular la potencia emitida en forma de calor (efecto Joule) en un conductor.

IMPORTANTE:

La fórmula de la potencia en las tres versiones anteriores se cumple siempre que estemos en presencia de corriente continua. En corriente alterna solo cuando operemos con receptores que presentan resistencia óhmica pura, como en el caso de bombillas incandescentes y halógenas a tensión de red. En las lámparas de descarga, alimentadas con corriente alterna, se presentan otros fenómenos más complejos, donde intervienen desfases entre tensión e intensidad como veremos después.

La medida de la potencia eléctrica "absorbida" por cualquier circuito eléctrico alimentado con corriente continua o alterna y aparatos receptores que presenten únicamente resistencia óhmica (lámparas incandescentes, por ejemplo) puede llevarse a cabo midiendo la tensión y la intensidad por separado. Multiplicando esos valores obtendremos la potencia. También se podrá hacer la medida directamente con un aparato llamado vatímetro que se emplea también en corriente alterna.

ENERGÍA ELÉCTRICA.

Si conectamos una lámpara hay que suministrarle una determinada potencia el tiempo que esté luciendo, considerando el producto de esa potencia por el tiempo en servicio obtendremos la energía consumida.

La energía eléctrica se representa por la letra **W** y su fórmula es:

W (energía) = P (potencia) x t (tiempo)

$$W = P \times t$$

Su unidad es el vatio por hora, que se escribe **Wh**, siéndonos más familiar el **kWh**, equivalente a 1.000 vatios.

La medida de la energía eléctrica se lleva a cabo con la intervención de los contadores de energía.

Costo de la energía eléctrica.

Es muy importante este capítulo porque nos va a permitir considerar, a priori, la eficiencia de una fuente luminosa.

Diremos que el sistema de tarificación actualmente en vigor en nuestro país presenta una estructura binómica, es decir, que se producen dos tipos de cargos por dos conceptos distintos:

- Uno es el denominado término de potencia que grava la potencia en **kW** que hemos contratado con la compañía.
- El otro es el término de energía que grava el consumo, esto es, los **kWh** consumidos.

La situación es tal que en el supuesto de no haber consumido nada, siempre se producirá el primer cargo. (Por eso existe confusión respecto al mínimo, que era un concepto por el que se movía el antiguo sistema de tarificación).

A continuación figura el alquiler del contador, los posibles cánones por moratoria nuclear u otros conceptos.

Finalmente el IVA extiende su manto sobre todas las partidas.

Para fijar mejor los conceptos de un recibo, reproducimos uno actualmente en vigor.



Datos del Cliente

Titular:
DNI/NIF:
Dirección:
Actividad económica (CNAE):
Tarifa: 2.0
Potencia contratada: 5,5 kW
Contador/es: n°

RESUMEN DE LA FACTURA

Fecha de Emisión: 17 Abril 2001
Período de Facturación: Del 09/02/2001 al 11/04/2001
Contrato de Suministro n°:
Factura n°:
Ref.:
Total Factura: 6.846 PTA

Consumo

Lectura real 11/04/2001 2.851
 Lectura real 09/02/2001 -2.633
Consumo del Período 218 kWh

Facturación

Concepto	Cálculos	Importes	
		PTA	€
Potencia	5,5 kW x 2 meses x 232 PTA/kW y mes	2.552	15,34
Coste del Consumo	218 kWh x 13,18 PTA/kWh	2.873	17,27
	Subtotal	5.425	32,60
Impuesto sobre Electricidad	5.425 PTA x 1,05113 x 4,864 %	277	1,66
Equipos de medida	2 meses x 100 PTA/mes	200	1,20
	Base imponible	5.902	35,47
I.V.A.	16 % de 5.902	944	5,67
Total Factura		6.846 PTA	41,15 €

Datos de Pago

Caja o Banco Sucursal D.C. Cuenta Corriente Importe **6.846 PTA**

Distribución de Costes según B.O.E. 01/03/2001
 Servicio: 94,299%
 Permanentes: 1,207%
 Diversificación: 4,494%

NOTA: Hace unos años se promovieron campañas para motivar al consumidor en el uso de sistemas eficientes en cuanto a su rendimiento. Hoy día se prefiere dedicar los costos de aquellas acciones en disminuir el precio del kilowatio. No nos extraña encontrar recibos con un valor del mismo inferior a 13,18.

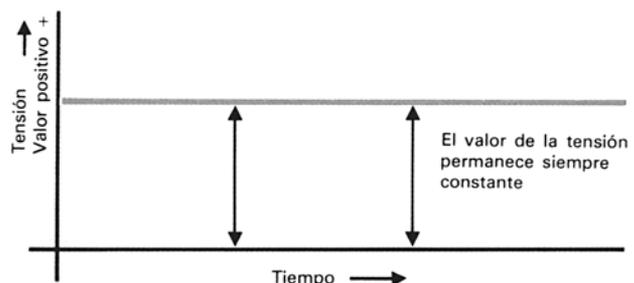
Seguimos a vueltas con los dos tipos de corriente mencionados:

Corriente continua.

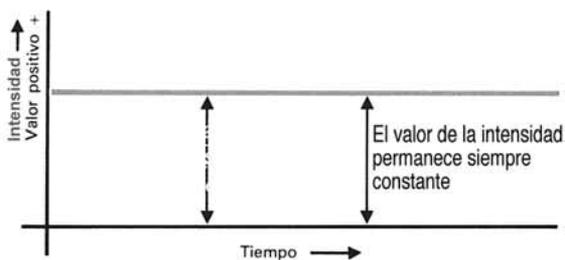
La que nos proporciona las pilas por ejemplo.

La representación gráfica de la tensión continua sería:

Consideramos que está suficientemente clara.

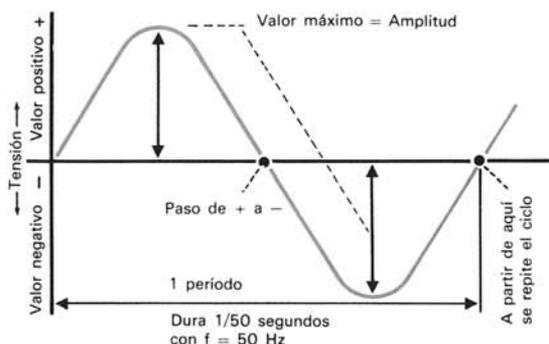


La representación gráfica de la intensidad (continua) sería:



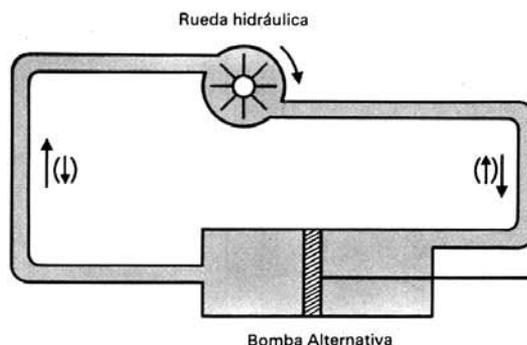
La corriente continua no tiene una aplicación práctica en circuitos de iluminación como tampoco está presente en los consumos domiciliarios ni industriales, salvo en aplicaciones específicas, como galvanotecnia y galvanoplastia. En el resto de aplicaciones necesitamos corriente alterna que es la que suministran las compañías eléctricas al presentar, frente a la continua, claras ventajas en cuanto a su generación, transformación y transporte económico.

Como las lámparas luminosas, con muy pocas excepciones, están previstas para su funcionamiento con corriente alterna, es necesario conocer con cierta profundidad los conceptos básicos sobre este tipo de corriente, para obtener el máximo provecho en su utilización.



Como puede apreciarse en la figura la tensión cambia continuamente de magnitud y sentido a intervalos periódicos, pero el hecho de hacerse negativa no signifique que no "ejerza", prueba evidente nos lo precisa el circuito hidráulico de la figura que ya

vimos pero que se representa de nuevo.



Debemos saber que una tensión alterna queda definida por su magnitud (altura de la onda), su frecuencia y su forma.

Magnitud de la onda.

La unidad de medida de la tensión alterna también es el voltio (V)

Como podemos apreciar en la gráfica es difícil medir un valor de la tensión porque siempre está variando (diremos que el valor de la tensión es variable, oscilando desde un valor cero, a uno máximo positivo, bajando a cero, llegando a un máximo negativo y volviendo a cero, para repetir constantemente este trayecto), por ello hemos de recurrir a otros tres valores que presentan la particularidad de no depender del tiempo transcurrido, es decir que son constantes y se les conoce como valor máximo, valor medio y valor eficaz.

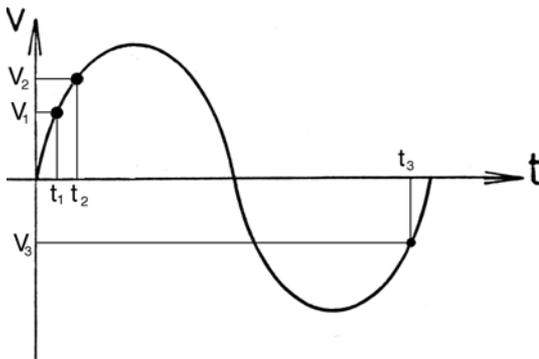
De los tres mencionados el más importante y el más utilizado para definir una corriente alterna es el valor eficaz, hasta el punto de que hablamos de 220 V y aunque sean eficaces, suprimimos ese apelativo.

No obstante vamos a centrar nuestra atención en lo que representa cada uno de ellos porque estamos ante unas cuestiones que tienen mucha importancia y cuando hablemos del **MUNDO DE LA MEDIDA** habrá que volver a insistir.

Valor instantáneo.

Se corresponde con cada una de las posiciones de la onda y suele representarse

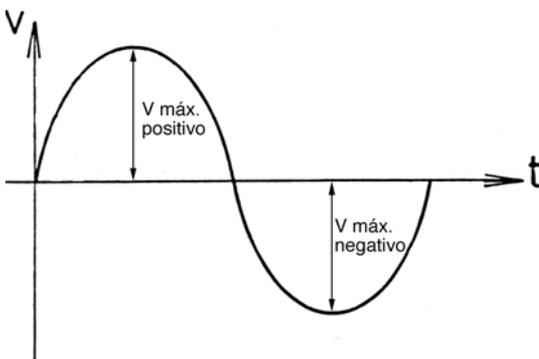
con letras minúsculas. Tal como se entiende es el valor en cada instante y que es distinto del valor en el instante siguiente.



Valor máximo.

El valor instantáneo en un momento determinado adquiere un valor mayor que los anteriores y se corresponde con la cúspide de la onda.

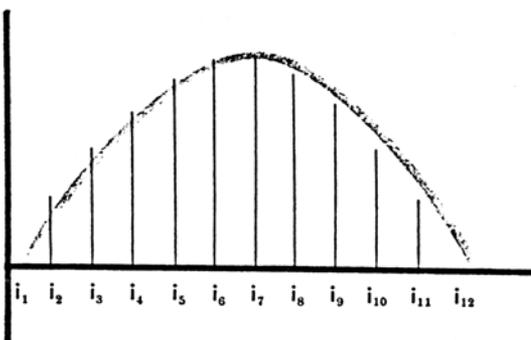
Este valor coincide en valor absoluto con el máximo que llega a alcanzar por debajo.



En la figura se marcan los dos.

Valor medio.

Llamaremos valor medio de una corriente alterna a la media aritmética de todos los



valores de una alternancia porque si fuese de las dos ese valor sería cero.

Como la media aritmética es la suma de todos los valores considerados dividida por su número, si en una alternancia tomamos doce valores instantáneos podemos decir que la intensidad media (o la tensión, si hablamos de tensiones) es:

$$I_m = \frac{i_1+i_2+i_3+\dots+i_{12}}{12}$$

y de una forma general,

$$I_m = \frac{i_1+i_2+i_3+\dots+i_n}{n}$$

Si la forma de onda es senoidal se cumple que:

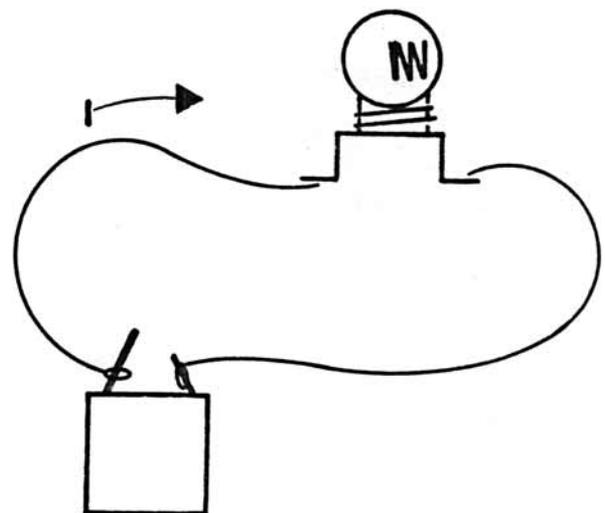
$$I_m = 0,63 \times I_{max}$$

Insistimos en que si sacamos el valor medio de las dos semiondas, obtendremos el valor cero.

Valor eficaz.

Llamaremos valor eficaz de una corriente alterna al que produce los mismos efectos que una corriente continua actuando con el mismo valor.

Para explicar esta definición, que es

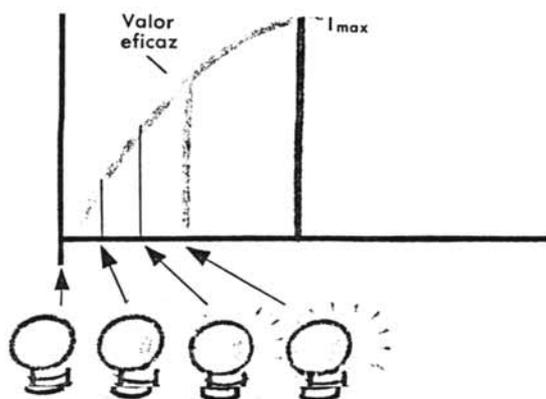


muy importante, imaginemos el siguiente circuito:

En él podemos entender que una bombilla está conectada a un generador de corriente continua.

Que pasa una determinada intensidad a la que llamaremos I emitiendo luz en un determinado nivel que podemos medir con un instrumento apropiado como un luxómetro en la escala de luminancias (ya veremos qué es esa medida, sí es que no lo sabemos ya).

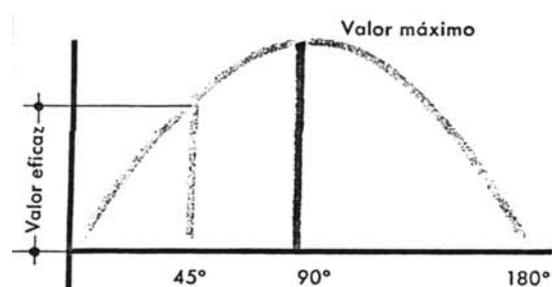
Conectamos la misma bombilla a una



corriente alterna, tal como vemos en la figura,

E imaginemos que conseguimos ralentizar el experimento y podemos jugar solo con una alternancia.

Partimos de cero, con la bombilla apagada y vemos como empieza a lucir, hasta llegar a un valor de intensidad que luce igual que en la experiencia anterior, pues bien, ese valor es el valor eficaz de la intensidad que estamos buscando o el de la tensión eficaz porque es evidente que si las tensiones son iguales en ambos casos, lo serán



también las intensidades.

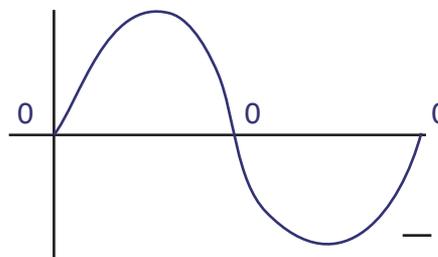
El valor eficaz de una corriente alterna se encuentra en la cuarta parte de una alternancia, correspondiendo a un ángulo de 45°.

La relación existente entre el valor eficaz y el máximo es:

$$I_{\text{eficaz}} = \frac{I_{\text{máx}}}{1.41}$$

FRECUENCIA

Es una magnitud que tiene su procedencia en las máquinas que generan electricidad en las centrales y tiene que ver con la rotación de las turbinas y su trascendencia es tal que cualquier aparato receptor debe llevarla indicada en la etiqueta de características. Si nos remitimos a la figura donde se aprecia la forma de onda de la tensión alterna observamos que esta oscila con el tiempo y diremos que frecuencia es el número de oscilaciones "completas", es decir 0, +, 0, -, 0. por segundo.

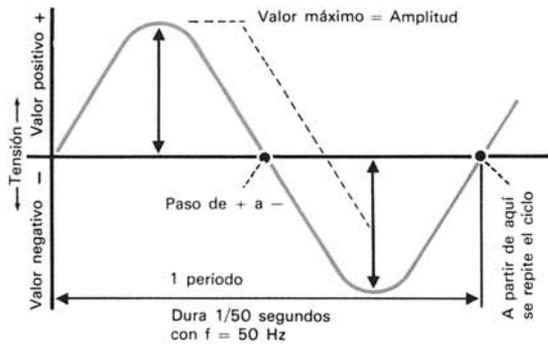


Representación de un periodo

Y a esa oscilación completa se le llama periodo. También se llaman hercios a esos periodos y se representan por Hz (en honor de Hertz Heinrich Rudolf, físico alemán 1857-1894). En Europa y por ende en España tenemos en la red 50 Hz, en contraposición de EE.UU y varios países de Centroamérica que tienen 60 Hz.

Forma de la onda de tensión alterna.

La curva de la tensión que volvemos a representar recibe el nombre de senoide.



Por ello las tensiones así representadas se llaman "tensiones alternas senoidales".

INTENSIDAD ALTERNA.

Su unidad de medida es el amperio A y al ser una consecuencia de la aplicación de una tensión alterna a un circuito, se representa de la misma forma, guardando la misma relación sus valores máximos, medios y eficaces.

FACTOR DE POTENCIA.

Cuando una corriente alterna circula a través de una bobina o un condensador, la oposición al paso de la corriente está compuesta por algo más que la simple resistencia del alambre.

Influye lo que se denomina factor de potencia.

Es importante entender el significado de este valor porque afecta al rendimiento de todas las instalaciones de iluminación siempre y cuando intervengan en ella lámparas fluorescentes o de descarga ya que



Reactancias de encendido

se produce un desfase.

Vamos a analizar de forma sencilla el

comportamiento de los tres tipos de receptores que pueden estar presentes en cualquier tipo de instalación.

Ya que aparece en la figura de la página siguiente, (*Resistencia óhmica pura*), la anotación "no hay desfase", ¿Pueden producirse desfases entre la intensidad y la tensión alterna?

Efectivamente, y se deben a las propiedades eléctricas especiales de las diversas resistencias que puede encontrarse en un circuito de corriente alterna.

Podemos encontrarnos con tres tipos de resistencias:

Resistencia óhmica, representada por

$$R$$

Resistencia inductiva, representada por

$$X_L$$

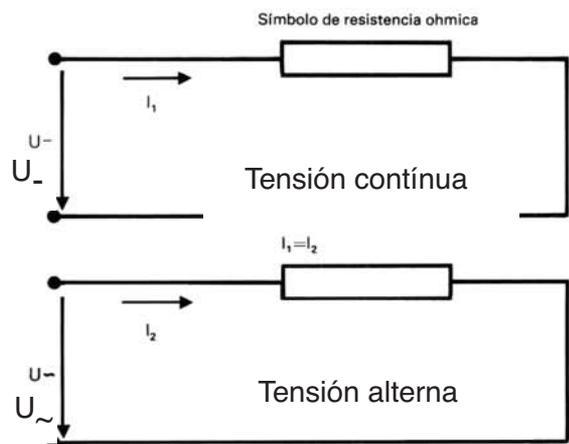
Resistencia capacitiva, representada por

$$X_C$$

RESISTENCIA ÓHMICA R

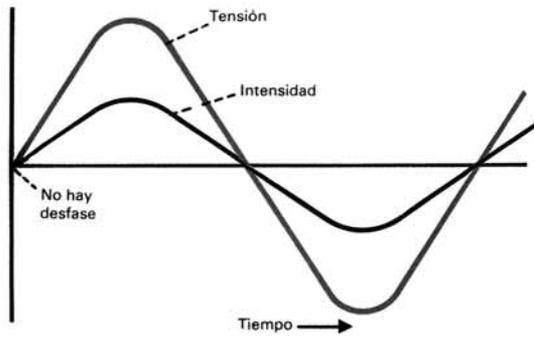
Se entiende por resistencia óhmica de un receptor la que produce el mismo efecto calorífico en un circuito de corriente continua que en otro de corriente alterna, en igualdad de condiciones.

Si en un circuito de corriente alterna sólo se encuentran conectados receptores con resistencia óhmica no se produce ningún



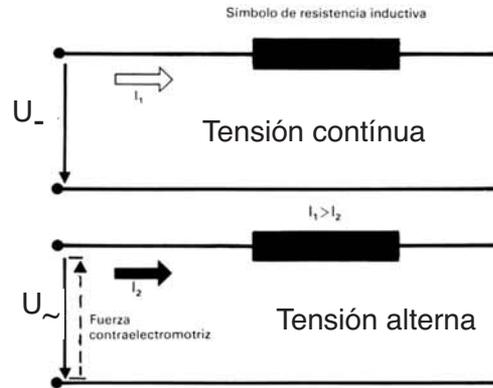
Resistencia óhmica pura

desfase



entre la tensión y la corriente, cumpliéndose la ley de Ohm tal como se comentaba anteriormente.

Resistencia ohmica pura



Circuitos de corriente continua y alterna con resistencia inductiva

de corriente alterna:

RESISTENCIA INDUCTIVA X_L

También llamada impedancia inductiva y el ejemplo más claro lo constituye un devanado de hilo esmaltado formando una bobina.

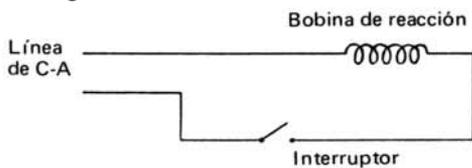
El nivel de oposición que presenta a la circulación de una corriente alterna es mayor que la que ofrecería la simple resistencia óhmica del alambre.

Cuando este devanado se hace sobre un núcleo de hierro, la resistencia que presenta a la circulación de corriente, impedancia, aún es mayor y la bobina es llamada bobina de reacción.

Realmente estamos hablando de una reactancia para el encendido de un tubo fluorescente o una lámpara de descarga.

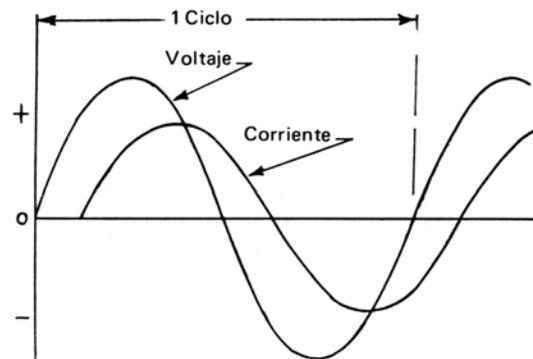
Si esta bobina se conecta en corriente continua solo prevalecerá el valor en ohmios de su devanado, pero...

Imaginemos esta bobina de reacción, reactancia o resistencia inductiva (como deseemos denominarla) alimentada a una fuente



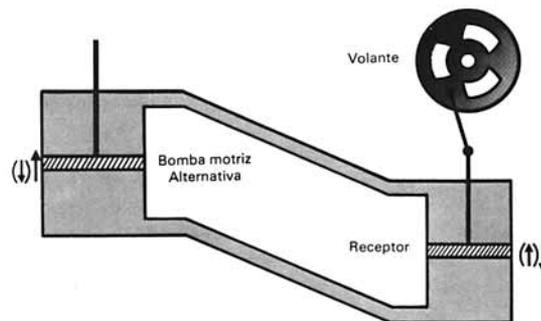
alimentada a una fuente

Al conectar y cuando el voltaje sube en una dirección se produce un fenómeno (propio de la bobina) que hace que se cree



una oposición en la bobina a que la intensidad la recorra y por ello esta no aumenta tan rápidamente, produciéndose el desfase que se aprecia en la siguiente figura:

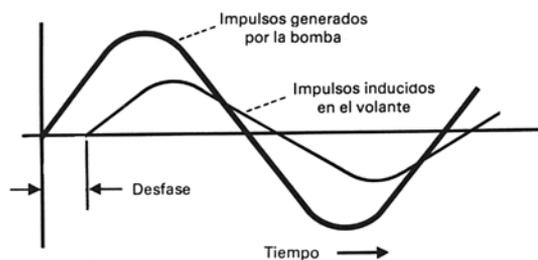
En efecto, en la bobina se produce una fuerza contraelectromotriz (inducida) de sentido contrario a la electromotriz aplicada



al circuito, como si la resistencia hubiese aumentado.

Podemos representar este fenómeno con una analogía hidráulica:

La bomba de accionamiento genera una fuerza motriz que mueve el pistón del receptor de uno a otro extremo de su posible recorrido y cuando este pistón llega a un extremo el volante cede energía por inercia y origina una fuerza contramotriz de sentido contrario a la motriz, que se va disipando conforme el pistón avanza hacia el centro del cilindro. Dicha fuerza contratromotriz produce una disminución de la fuerza motriz al mismo tiempo que se reduce la intensidad de la corriente. El efecto que produce el volante en el circuito hidráulico es similar al que produce una bobina en un circuito



eléctrico de corriente alterna.

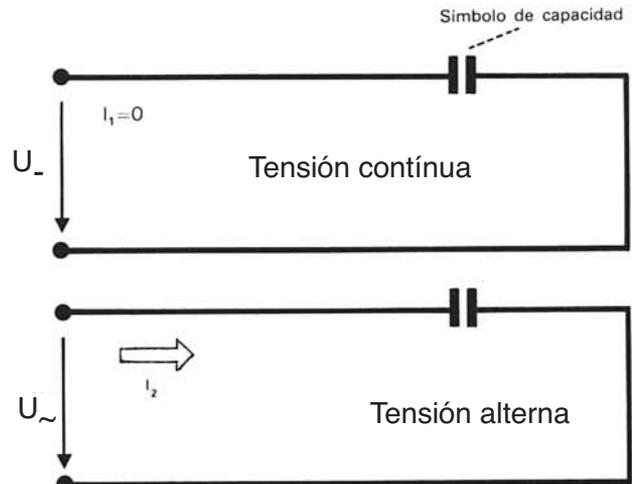
Y como se aprecia en el siguiente gráfico los impulsos del volante están retrasado con respecto a la bomba motriz.

RESISTENCIA CAPACITIVA X_C

También se llama capacitancia.

Imaginemos un circuito de corriente continua donde se ha intercalado un condensador. Al conectarlo se carga instantáneamente y enseguida se puede constatar que no hay paso de corriente, pero posee una fuerza electromotriz igual y opuesta a la tensión del circuito.

Sin embargo al incorporarlo a un circuito de corriente alterna se cargará y descargará cada vez que la corriente cambie de dirección.



Circuitos de corriente continua y alterna con resistencia capacitiva

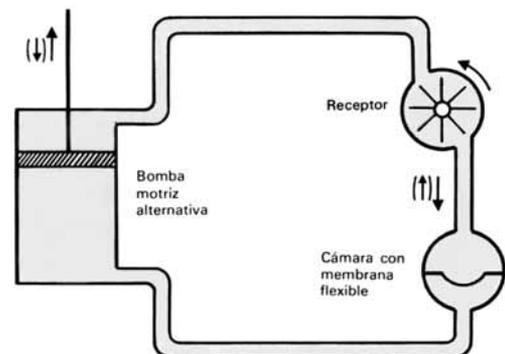


El resultado que se obtiene es como si la corriente circulara a través del condensador. En efecto, una corriente alterna produce un flujo continuo a través del condensador.

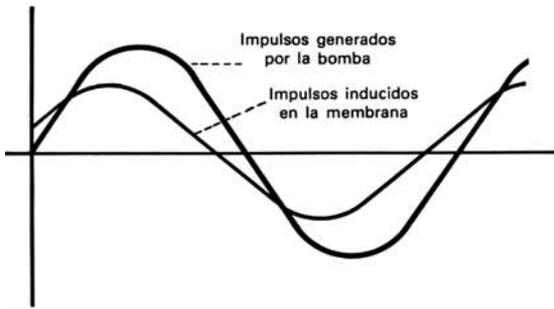
Cuando los electrones se precipitan dentro del condensador para cargarlo se necesita un cierto periodo de tiempo para acumular el voltaje en las placas del condensador.

Lo mismo al descargarse el condensador ya que los electrones salen precipitadamente pero el voltaje tiende a permanecer momentáneamente en el condensador.

Por lo tanto, cuando una corriente alterna circula a través de un condensador, el voltaje se retrasa en relación con la corriente.



Analogía hidráulica de la resistencia capacitiva



Efecto de la membrana

te.

Otra forma de expresar esta situación es decir que la corriente se adelanta al voltaje.

La corriente se denomina corriente de adelanto.

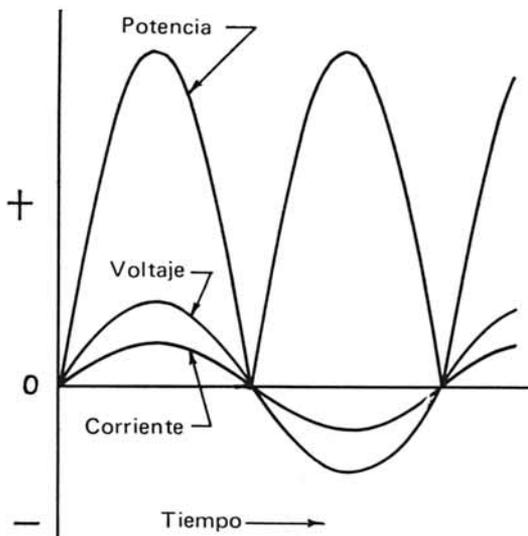
La analogía hidráulica sería en este caso:

Al funcionar la bomba el émbolo empuja el agua de una forma alternativa en los dos sentidos pero interviene la elasticidad de la membrana provocando el giro del molinete solo en un único sentido.

Efecto del retraso de la intensidad sobre el voltaje.

Como se dijo anteriormente en un circuito inductivo, donde predominan bobinas de hilo esmaltado, la corriente se retrasa con relación al voltaje.

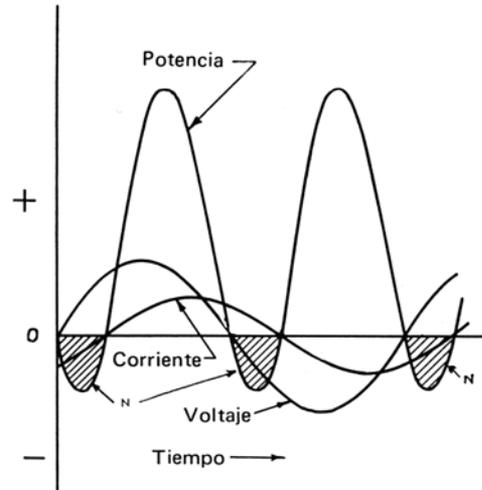
Se ha explicado que un circuito de corriente continua la potencia, en cualquier momento, es igual al voltaje multiplicado



Actuación de la tensión e intensidad al unísono

por la corriente, relación que es también válida en un circuito de corriente alterna cuando se considera un instante determinado de tiempo.

En las figuras que siguen, podemos ver



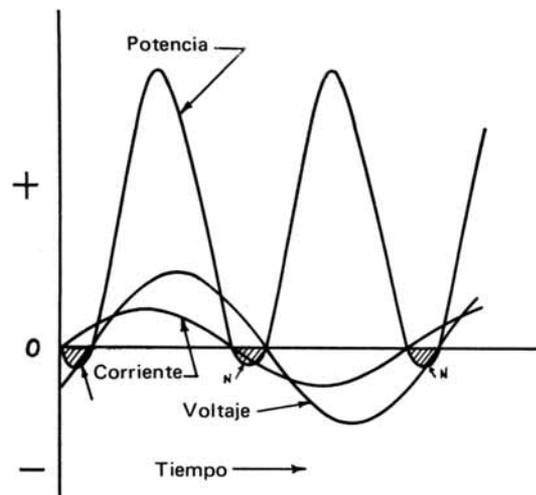
Retraso de la intensidad

una gráfica de la

tensión y corriente en fase, y el valor de la potencia en cada instante (curvas más grandes situadas en la parte positiva del eje de coordenadas).

Y también lo que ocurre cuando existe un retraso de la corriente respecto al voltaje.

Las franjas rayadas son potencia negativa actuando en contra de la potencia positiva.



Retraso de la tensión

Pues bien a la relación entre la potencia positiva y la potencia total (positiva más negativa) se llama factor de potencia.

Si no existiera desfase, no habría potencia negativa y la relación sería potencia total dividido por potencia total, o sea la unidad.

¿Qué ocurre cuando el desfase se produce porque el voltaje es el que se retrasa?

Vemos que también se produce potencia negativa y en este caso de menor tamaño porque hemos elegido menor desfase.

En consecuencia llegamos a la conclusión que el factor de potencia es "algo" que afecta al producto $V \times I$ y que lo mantiene en ese valor o lo reduce según la cuantía que adquiera (lo ideal la unidad, esto es, ningún desfase).

Las potencias negativas no son absorbidas por el receptor, volviendo en cada instante de nuevo al generador.

CONCLUSIÓN:

Es el valor de la corriente total quién determina la sección económica del cable que va a alimentar un circuito y por ello el uso de un considerable número de aparatos de bajo factor de potencia requiere el uso de cables de mayor sección.

Los motores de inducción, balastos para lámparas fluorescentes o de descarga y otros aparatos usados en el comercio y la industria producen factores de potencia en retraso. Pero también existe otro tipo de receptores que producen factores de potencia en adelanto, como por ejemplo los condensadores, de tal forma que la combinación de aquellos con estos puede dar lugar a un factor de potencia próximo a la unidad.

De ahí que pueda mejorarse el factor de potencia de una o varias luminarias incorporando un condensador apropiado en cada una de ellas.

Eso encarecerá la instalación pero conseguiremos un ahorro importante utilizando la sección más económica de los conductores y en el caso de disponer de contador de

energía reactiva recibiremos bonificaciones en lugar de cargos.

Todo lo visto anteriormente nos conduce a una realidad que es la existencia de tres tipos de potencias:

- **Potencia activa**
- **Potencia reactiva**
- **Potencia aparente**

Potencia activa, P_a es la que realmente consume un receptor para realizar un trabajo y la unidad es el vatio W .

La potencia activa en un circuito de corriente alterna es siempre menor o a lo sumo igual que la potencia aparente y se calcula multiplicando la potencia aparente ($V \times I$) por el factor $\cos. \varphi$ (coseno de phi), que como sabemos representa el desfase entre la tensión y la intensidad. Es el factor de potencia y puede tomar valores entre 0 y 1.

Todas la potencias mencionadas se relacionan y así tenemos:

Potencia activa

$$P_a (W) = U (V) \times I (A) \times \cos. \varphi$$

Potencia activa

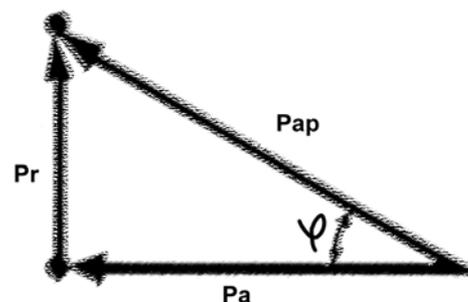
$$P_a (W) = P_{ap} (V \times A) \times \cos. \varphi$$

Potencia aparente

$$P_{ap} (V \times A) = P_a (W) / \cos. \varphi$$

$$\cos. \varphi = P_a (W) / P_{ap} (V \times A)$$

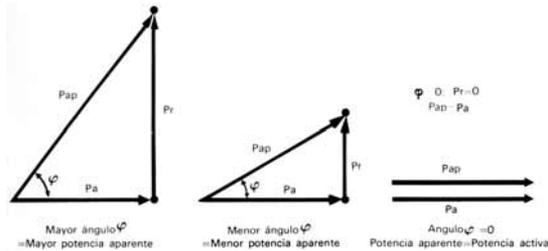
La potencia reactiva, P_r se necesita para que los balastos y los motores cumplan su



misión (encender y girar).

Potencia aparente, P_{ap} es una magnitud puramente matemática, que por si sola no dice nada sobre la potencia eléctrica consumida por un receptor pues en su valor interviene también la parte de potencia que éste devuelve sin aprovechamiento al generador.

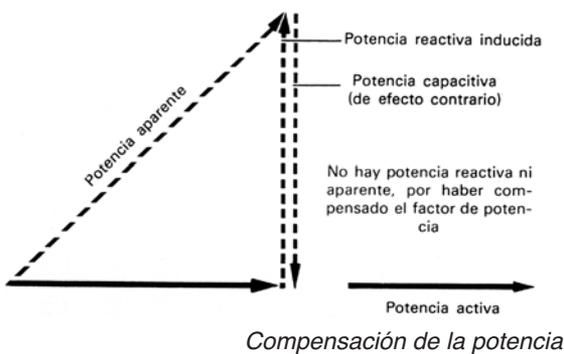
Veamos cómo representarlas:



Ejemplos de desfase con la misma potencia activa

Al incorporar la trigonometría tenemos:

φ es el ángulo del desfase y el $\cos \varphi$ es el valor "perseguido", y que deseamos tenga un valor lo mas próximo a la unidad.



Compensación de la potencia

Observemos en las figuras cómo se puede igualar la P_{ap} a la P_a .

Observemos también como la potencia reactiva, pero capacitiva (de sentido contrario) permite una aproximación de la P_{ap} a la P_a .

Por todo lo expuesto se deduce que la

intensidad de corriente en un circuito de corriente alterna que presenta resistencia inductiva y deducida de la fórmula de la potencia activa:

$$I (A) = \frac{\text{Potencia activa (W)}}{U (V) \times \cos \varphi}$$

En la misma podemos hacer todo tipo de supuestos, entre otros, imaginar que si el factor de potencia disminuye mucho, subirá la intensidad lo que provocará un calentamiento indeseado en la instalación que nos obligará a dimensionar excesivamente la sección de los conductores o bien a tratar de remediarlo.

La presencia de resistencia inductiva da lugar a una potencia reactiva que no queda registrada (a no ser que por la naturaleza de la contratación con la compañía suministradora se obligue) en el contador de energía activa que normalmente se coloca en una vivienda o local.

No queda registrada pero sobrecarga las líneas.

Para remediarlo, es decir, para disminuir el factor de potencia, se utilizan los condensadores que como ya que hemos visto producen el efecto contrario (ver figura anterior).



Como los condensadores toman energía de la red y la devuelven después, si a una inductancia se le conecta un condensador apropiado, el desfase producido por esta quedará compensado.

REPETICIÓN DE LA JUGADA:

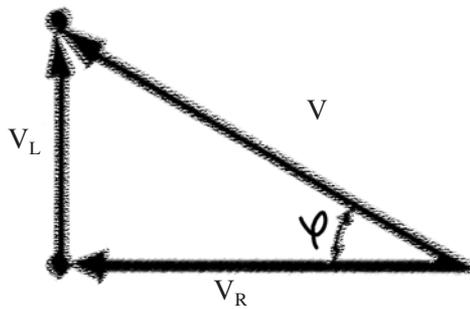
Resumiendo lo anteriormente visto y con ánimo de dejarlo rotundamente claro tenemos que si la potencia en corriente continua es,

$$P = V \times I$$

En alterna la expresión ante-

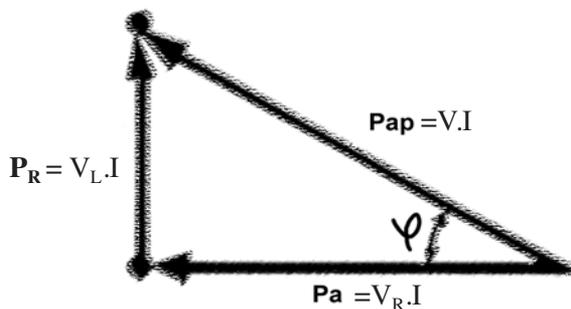
rior se ve modificada por la presencia de elementos inductivos (bobinas, reactancias, etc.) en el circuito y que no tienen ningún efecto en circuitos de corriente continua salvo en los momentos de conexión y desconexión de un receptor.

A diferencia de lo que ocurre en corriente continua, las ca-



ídas de tensión debidas a la presencia de reactancias, caídas de tensión inductivas, no se suman algebraicamente con las caídas debidas a las resistencias presentes en el circuito, caídas de tensión óhmicas, sino que se suman geométricamente, resultando el triángulo de tensiones de la figura siguiente:

Donde V_L es la caída de tensión inductiva, V_R la caída de tensión óhmica y su suma geométrica es la caída total



de tensión del circuito. Al ángulo φ se le llama ángulo de

desfase.

Si multiplicamos las tres tensiones por el valor de la intensidad que circula por el circuito conseguiremos el triángulo de las potencias, semejante al anterior.

CONSIDERACIONES SOBRE LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

Hemos comentado que una pila eléctrica produce corriente continua, también llamada en algunos países directa.

Los primeros sistemas diseñados por el Sr. Edison, para suministrar electricidad a las viviendas eran de corriente continua, pero esta corriente exige que los usuarios estén ubicados muy cerca de la planta generadora ya que no sería económicamente rentable transmitir corriente continua a largas distancias por las enormes pérdidas que esto significaría.

Insistiendo en ello vamos a poner un ejemplo:

Imaginemos que deseamos alimentar una zona de la ciudad donde se sitúan 1.000 viviendas con un promedio de contratación de 5.500 vatios cada una. Para ello es necesario transmitir toda esa potencia a través de una línea de 220 V. La carga total de las 1.000 viviendas sería de 5.500.000 vatios, es decir 5.500 kW y por esa línea mencionada pasaría una intensidad de

$$I = \frac{5.500.000}{220} = 25.000 \text{ A}$$

Cantidad muy elevada que necesitaría el auxilio de un cable con un **diámetro** mayor de 300 mm.

Ahora bien si elevamos la tensión de llegada a 15.000 voltios y en puntos estratégicos y por edificios situamos unos transformadores de relación de transformación 15.000/220 V, habremos resuelto el problema.

La línea de 15.000 V estará ahora recorrida por

$$I = \frac{5.500.000}{15.000} = 366 \text{ A}$$

Intensidad que un cable de 50 mm² es capaz de gestionar.

ANECDOTARIO

- Hay quien opina que el condensador de compensación de corriente reactiva tiene, además de elevar el factor de potencia otro cometido, mejorar el encendido del tubo o de la lámpara y realmente, no es así.
- Pensamos y sabemos, gracias a las experiencias vividas por todos, lo importante y necesario que es mejorar el factor de potencia de una instalación, sobre todo industrial, pues persigue la mayor bonificación posible por parte de la compañía de suministro.

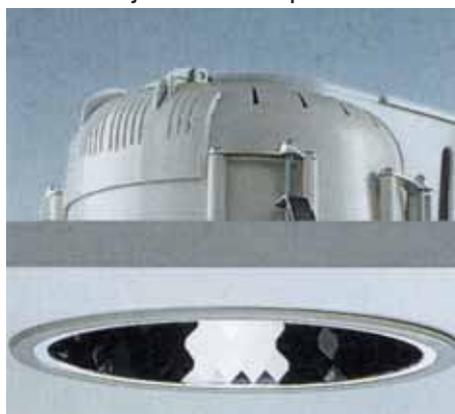
Es en el ámbito doméstico donde quizás se le dé menos importancia.

Pero vamos a relatar un suceso del que tuvimos noticias por casualidad y que sin duda se debe estar repitiendo a menudo, así que estemos preparados.

"Hace unos años, cuando se inició la gran corriente de simpatía por los downlights o encastrables con lámpara fluorescente compacta, los fabricantes suministraban los aparatos en una sola versión, bajo factor, es decir sin el condensador que mejorase un factor de potencia muy bajo, del orden del 0,56.

Pues bien, se dio la circunstancia de una situación extraña en la consulta de un médico. Este profesional para establecerse había unido dos pisos.

Le aconsejaron este tipo de iluminación



downlight

TRANSFORMADORES

por su elevado rendimiento y poder relajante, realmente conveniente sobre todo para la sala de espera.

Le instalaron un número considerable de aparatos de 26 y de 18 vatios sumándose la cifra, nada despreciable, de 3.208 W en el circuito de alumbrado que como sabemos está protegido por un PIA, que en el caso de un nivel de electrificación elevada puede tener un valor de 15 amperios.

Inmediatamente pudieron comprobar que algo no funcionaba bien ya que se disparaba constantemente el limitador asignado para la protección de ese circuito, además de notar que se calentaba excesivamente y que no podía rearmarse de inmediato.

Con lo que hemos expuesto anteriormente estamos preparados para saber qué estaba ocurriendo:

Aplicando la fórmula ya vista para calcular la intensidad:

$$I (A) = \frac{\text{Potencia activa (W)}}{U (V) \times \cos. \varphi}$$

$$I = 3.208 / 220 \times 0,56 = 26 A$$

Esa intensidad es capaz de disparar el limitador ya que supera su capacidad.

Fue necesario compensar los aparatos y para ello se intercalaron 23 condensadores de 18 μf , en los distintos ramales que alimentaban los downlights.

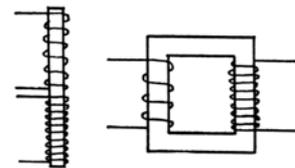
Gracias a este añadido solventaron el problema".

¿Por qué?

Se consideró que con la inclusión en el circuito de esos condensadores se elevaría

el factor de potencia a 0,95.

Aplicando de nuevo la fórmula:



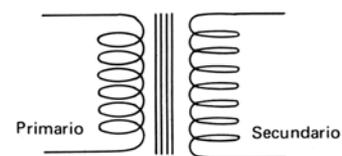
$$I (A) = \frac{\text{Potencia activa (W)}}{U (V) \times \cos \varphi}$$

$$I = 3.208 / 220 \times 0,95 = 15,3 A$$

(que ya es otra cosa...)

Es preciso hablar de ellos por dos motivos muy importantes.

Uno, porque en iluminación se están uti-



lizando y concretamente en una aplicación que dio en su momento mucho que hablar: la utilización masiva de bombillas halógenas de baja tensión tanto en forma elemental como en forma de campanilla.

Ya veremos que se denominan bi-pin y dicroicas.

Estos transformadores son necesarios para proporcionar la baja tensión necesaria para estas lámparas, normalmente 12 V, y aunque se está aprovechando la electrónica para fabricar otras versiones, más livianas, no hay duda que por simplicidad y precio seguirán utilizándose muchos años.

Otra de las razones para hablar de los transformadores es para explicar su utilización en el transporte de energía que ya hemos apuntado.

Se trata de unos sencillos elementos, en cuanto a su concepción y construcción que aprovechando las propiedades singulares de la corriente alterna permite que el voltaje sea elevado o reducido a voluntad.



Cuando una corriente eléctrica circula a través de una bobina de hilo de cobre esmaltado se crea un campo magnético dentro y alrededor de esta bobina, siendo este campo magnético más intenso si se ha bobinado el hilo de cobre en un núcleo de hierro.

Se puede verificar que si cambia de intensidad el campo magnético en el interior de la bobina, se induce un voltaje en su interior.

En un transformador se devanan dos bobinas de hilo de cobre esmaltado en el mismo núcleo de hierro, bien en un lado o bien en lados opuestos.

Un cambio de corriente en una de estas bobinas causará un cambio magnético en el núcleo y a su vez este cambio inducirá un voltaje en la otra bobina. A la primera de estas bobinas, o sea la bobina de entrada, se le llama bobina primaria y a la otra, a la de salida, se le conoce como secundaria. También se les llama primario y secundario de un transformador. Ver figura.

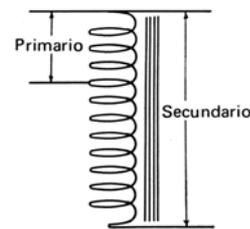
Conectado un primario a una tensión continua (una batería, por ejemplo) crearía una corriente continua que no produciría ningún efecto en la bobina. Sin embar-

go cualquier alternancia en la intensidad inducirá otra en la bobina secundaria. El máximo efecto es producido cuando una corriente alterna circula a través de la bobina primaria. Esta corriente comienza en cero y se eleva al máximo en un sentido, reduciéndose luego a cero y se eleva al máximo en sentido opuesto, volviendo de nuevo a cero. Esta variación genera un efecto magnético que induce un voltaje en la bobina secundaria creador a su vez de una corriente alterna secundaria.

Si la bobina primaria tiene el mismo número de vueltas que la bobina secundaria no conseguimos nada respecto al cambio del valor de la tensión.

Pero hemos construido un elemento de seguridad separador de circuitos.

Lo lógico en iluminación es que exista un cambio de voltaje como, por ejemplo, para obtener 12 V de tensión secundaria, y poder encender las lámparas halógenas que hemos mencionado. Este cambio de voltaje



Autotransformador

es proporcional a la relación entre el número de espiras de cada bobina.

Consideremos, por ejemplo, un transformador que tiene 100 espiras en el primario y 1000 en el secundario. A este tipo se le llama elevador y su relación de transformación es de 10 a 1. De tal suerte que si aplicamos 220V al primario obtendremos en el secundario 2.200 voltios. Si el transformador es reductor se produce el fenómeno

contrario. Este es el caso del modelo utilizado para alimentar una halógena dicróica de 12 V.

Es **muy importante** recordar que:

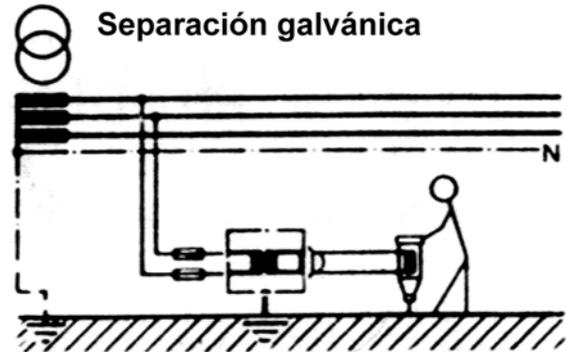
- En un transformador, la potencia que gestiona el primario es igual a la que se genera en el secundario, más pérdidas.
- El producto del número de espiras del primario por la intensidad que circula por él (se suele llamar amperios vuelta) es exactamente igual al producto del número de espiras del secundario por la intensidad que circule.

Y en lo referente a su otra faceta, como transportador de energía, hay que resaltar que el uso de transformadores permite la utilización del voltaje más idóneo para cumplir su función. De tal forma que una línea, un tendido eléctrico, se puede alimentar a 15.000 voltios, elevar a 220.000 voltios, mediante el transformador adecuado, transmitir a este voltaje a través de tendidos entre torres de alta tensión, distribuir de nuevo a 15.000 voltios, entre calles, de forma subterránea, y suministrar a viviendas a 220 V y a fábricas a 380V.

Como es obligado hablar del autotransformador, diremos que es un componente más barato, a igualdad de potencia, que tiene la forma de la figura y que presenta "ausencias importantes" como la facultad de separar circuitos.

También es importante saber que los au-

totransformadores son reversibles, es decir que podemos utilizar el secundario como primario siempre y cuando respetemos la tensión para la que está concebido y la po-



Utilización de un transformador de relación 1:1

tencia que pueda soportar.

ANECDOTARIO

TRANSFORMADORES DE RELACION 1: 1

Mencionamos al principio de esta página, y además lo destacamos con KWITO incluido, que puede fabricarse un tipo de transformador que tiene un número de espiras en el primario igual a las del secundario, con unas aplicaciones muy válidas y que a la vez son muy curiosas.

Conviene aclararlas ahora que aún seguimos en el apartado de transformadores.

Imaginemos una máquina de pulir terrazo, por ejemplo, que presenta las siguientes peculiaridades:

- Va a trabajar con un elemento añadido y peligroso: agua.



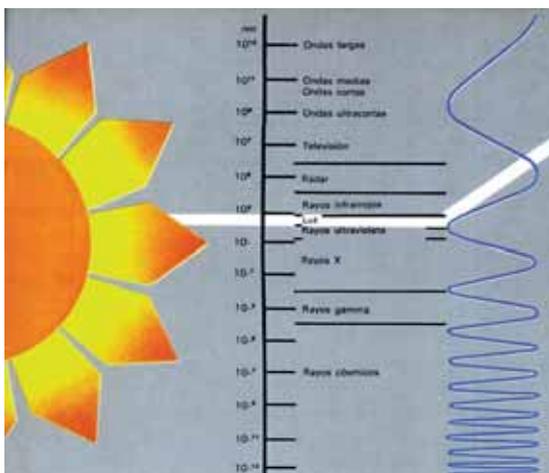
ASPECTOS FÍSICOS DE LA LUZ

- Se suele operar con ella en locales que se van a inaugurar y que aún no tienen acometida, recurriendo por esa circunstancia, tras la obtención del correspondiente permiso, a la conexión a una palomilla del tendido eléctrico o en situaciones más avanzadas a una conexión en una caja general de protección.
- Normalmente tienen una gran potencia.
- Finalmente, el riesgo de "pellizcar" el

aislamiento, de relación 1:1 que evitará las consecuencias derivadas de que en las redes españolas, normalmente, el neutro está conectado a tierra.

Si lo deseamos podemos seguir manteniendo la protección añadida del interruptor diferencial

A esta forma de proceder se le denomina, en el argot electrotécnico, "separación galvánica" y tal como se indica en la figura conviene que la parte magnética del transformador esté unida a tierra.

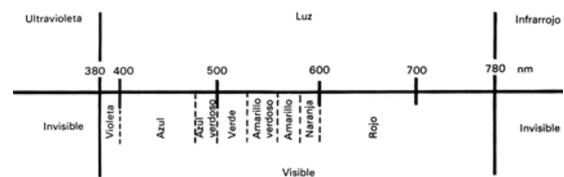


ca- *Espectro electromagnético* de alimentación es alto.

Para trabajar con cierta seguridad podemos arbitrar dos soluciones:

La primera es incluir un interruptor diferencial en la propia dotación del interruptor de la pulidora con lo cual la persona que la maneje estará libre de percances.

Pero la más segura es incorporar al conjunto un transformador de seguridad de alto



7.1. Límites aproximados de radiación de los diferentes colores del espectro visible.

Otra aplicación interesante, para evitar que a ciertos receptores "delicados" lleguen los espúreos de la red, es decir, sobretensiones instantáneas y microcortes, es intercalar en la entrada de alimentación de los mismos transformadores de este tipo y de la potencia adecuada al receptor. Con ello evitamos la llegada al secundario de sus efectos y además conseguimos para estos un aislamiento adicional.

La explicación habría que buscarla en la "pereza" que presentan los devanados a situaciones donde se presentan alteraciones bruscas.

NATURALEZA DE LA LUZ.

Es una manifestación de la energía en

forma de radiaciones electromagnéticas susceptibles de estimular el órgano visual.

Denominamos radiación a la transmisión de energía a través del espacio.

Existen muchas manifestaciones de energía en forma de radiaciones.

Para descubrirlas hemos de analizar lo que se conoce como espectro electromagnético.

De la observación del mismo obtenemos las siguientes conclusiones:

La luz del día no es blanca, aunque así se manifieste la que recibimos del sol, ya que en realidad está compuesta por un conjunto de radiaciones electromagnéticas.

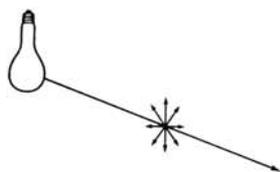
Así hemos estudiado que una gota de agua interpuesta en un rayo de luz solar se descompone en una serie de colores, llamado en su conjunto **arco iris**, y que son **rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta**.

Esta descomposición puede realizarse experimentalmente haciendo pasar un rayo de luz blanca a través un prisma triangular de vidrio transparente.

Se puede verificar que cada uno de los colores se corresponde con una determinada zona de radiación del espectro:

ESPECTRO VISIBLE

La naturaleza compleja de la luz solar fue estudiada por primera vez, en 1664 por Isaac Newton, quien aislando un haz de rayos solares mediante un orificio en una pantalla hizo que dichos rayos incidieran sobre una tela después de haber pasado a través de un prisma. A esa imagen alargada y coloreada Newton la llamó espectro. Por



La luz se propaga en todas las direcciones

eso se denomina espectroscopio el dispositivo que permite descomponer un haz de luz en sus componentes coloreados.

¿CÓMO PUEDE GENERARSE LA LUZ?

Se puede producir de varias formas, siendo las más importantes desde el punto de vista de las lámparas artificiales:

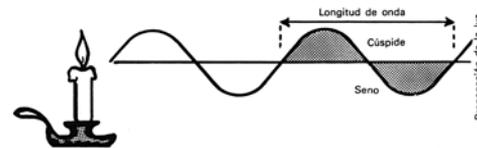
Calentado cuerpos sólidos hasta alcanzar su nivel de incandescencia que genera luz y cuyo exponente más claro lo tenemos en el hogar de una fragua (fundamento de las lámparas incandescentes).

Provocando una descarga eléctrica entre dos placas o electrodos situados en el seno de un gas o un vapor metálico (fundamento de las lámparas de descarga).

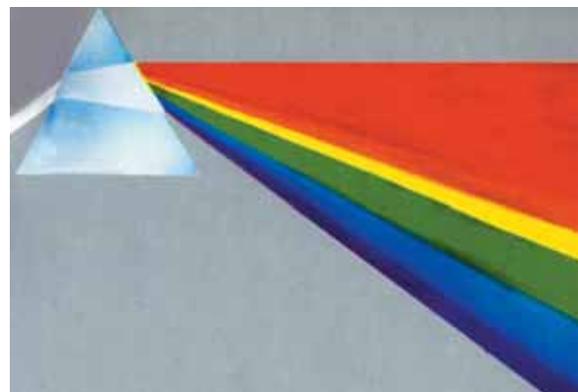
Si nos damos cuenta, en ambos caso la luz se produce como consecuencia de una transformación de la energía (eléctrica a luminosa para las lámparas que describiremos en este tratado).

TRANSMISIÓN DE LA LUZ.

Unidad	Símbolo	Equivalencias
Micra	μ	$1 \mu = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-5} \text{ cm} = 10^{-9} \text{ mm}$
Nanómetro	nm	$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-11} \text{ cm} = 10^{-12} \text{ mm}$
Angstrom	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-12} \text{ cm} = 10^{-13} \text{ mm}$



Longitud de onda y propagación de la luz



Lo que hizo Newton

EL OJO HUMANO

Las radiaciones de la luz se transmiten a distancia de forma parecida a como lo hace el movimiento del agua, en un estanque, si tiramos una piedra.

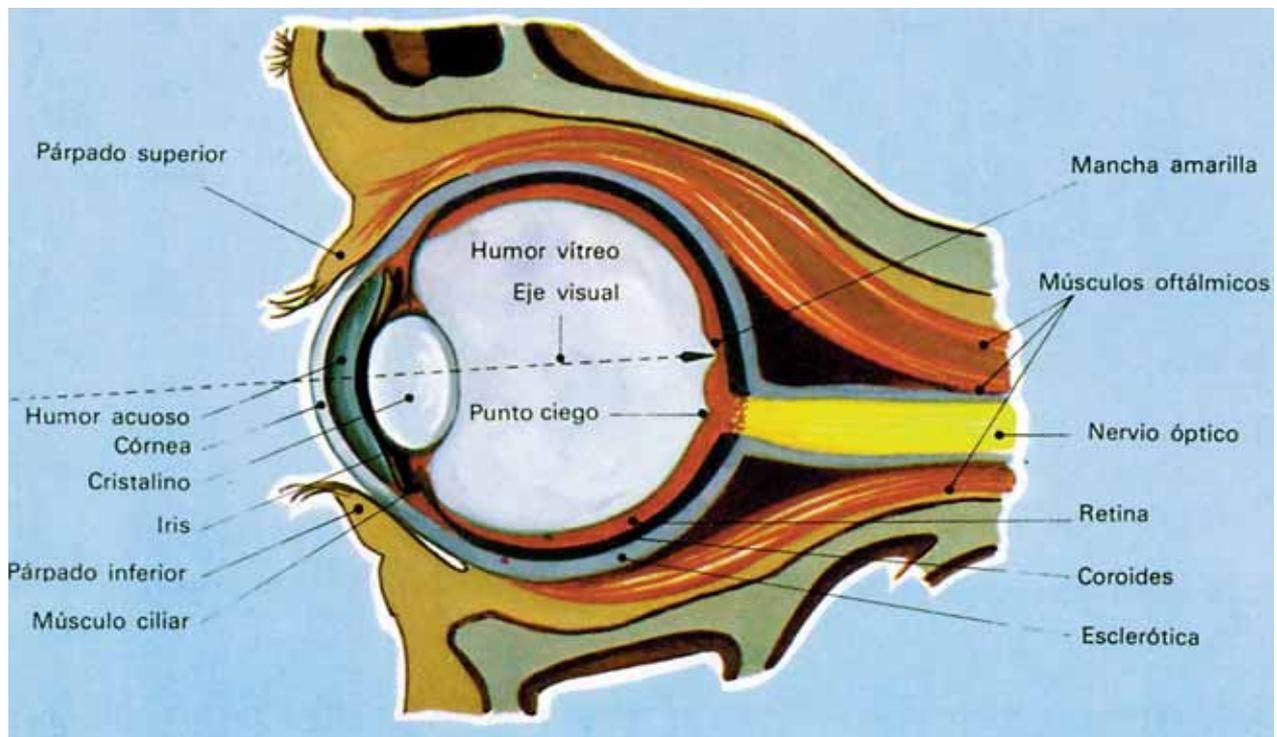
Se forman ondas que tienen crestas y valles, son concéntricas y se propagan a lo largo y ancho de la superficie del agua, amortiguándose, hasta desaparecer.

Gracias a estas ondas se aprecia su

efecto de choque lejos del lugar donde se ha iniciado.

Sin embargo las ondas de luz no necesitan ningún medio material donde propagarse, aunque también se transmiten a través de sólidos y líquidos.

Por ello, la luz que recibimos del sol en forma de ondas llega hasta nosotros, atravesando el espacio vacío que existe entre



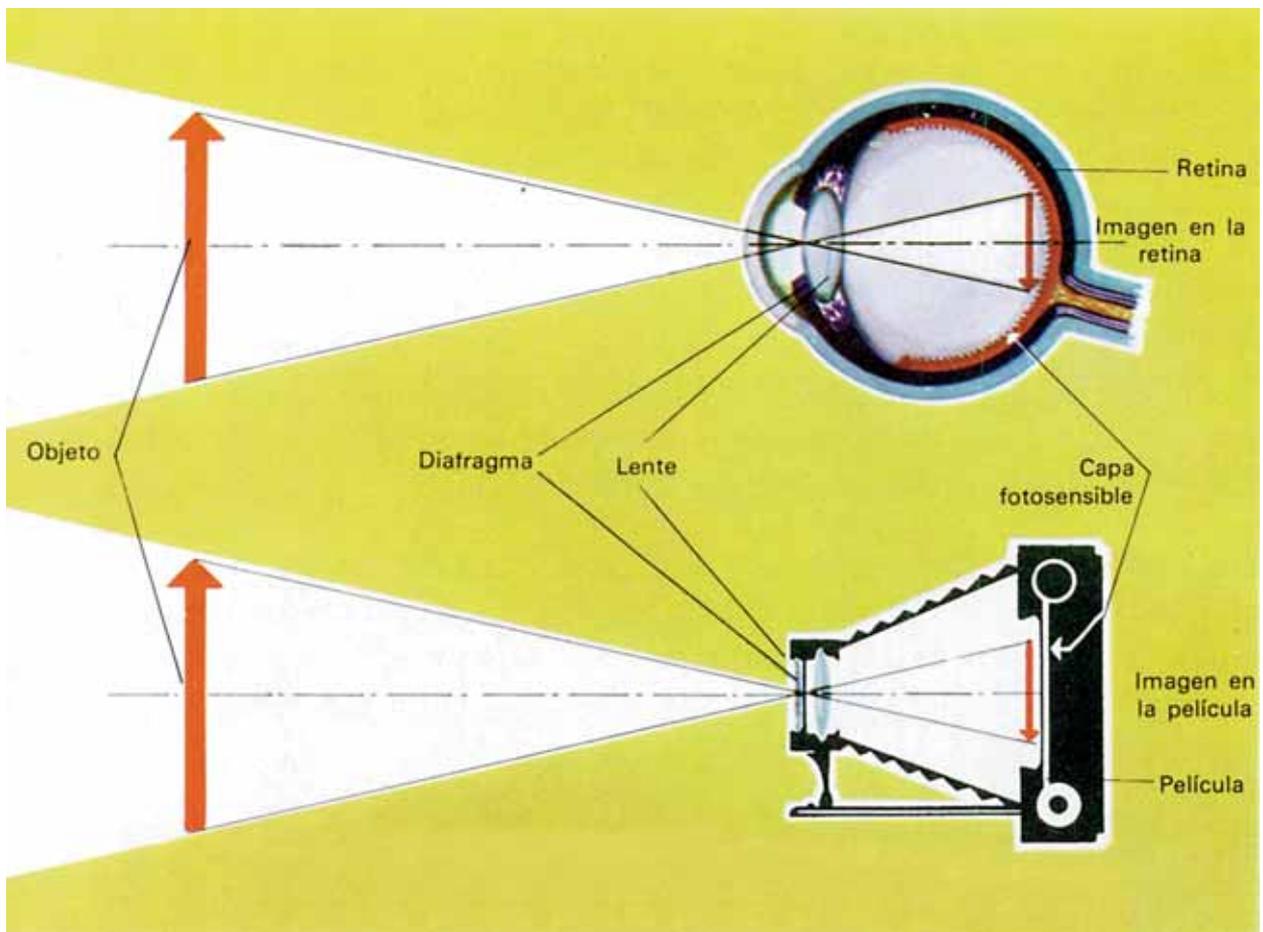
Construcción anatómica del ojo humano

los planetas y al entrar en contacto con la atmósfera se transmite a través de los gases que la forman.

Existe otra diferencia entre las ondas de luz y las del agua y es que las segundas solo utilizan un plano de dos dimensiones, lar-

go y ancho, y las de la luz pueden propagarse en todas las direcciones del espacio, largo, ancho y alto.

Finalmente, y resumiendo podemos llegar a las siguientes conclusiones:



Comparación del ojo con una cámara fotográfica

La luz se transmite:

- Mediante ondas.
- A distancia.
- También en el vacío...
- Y en todas las direcciones.

PARÁMETROS DE LA RADIACIÓN LUMINOSA:

La radiación luminosa presenta dos características físicas fundamentales:

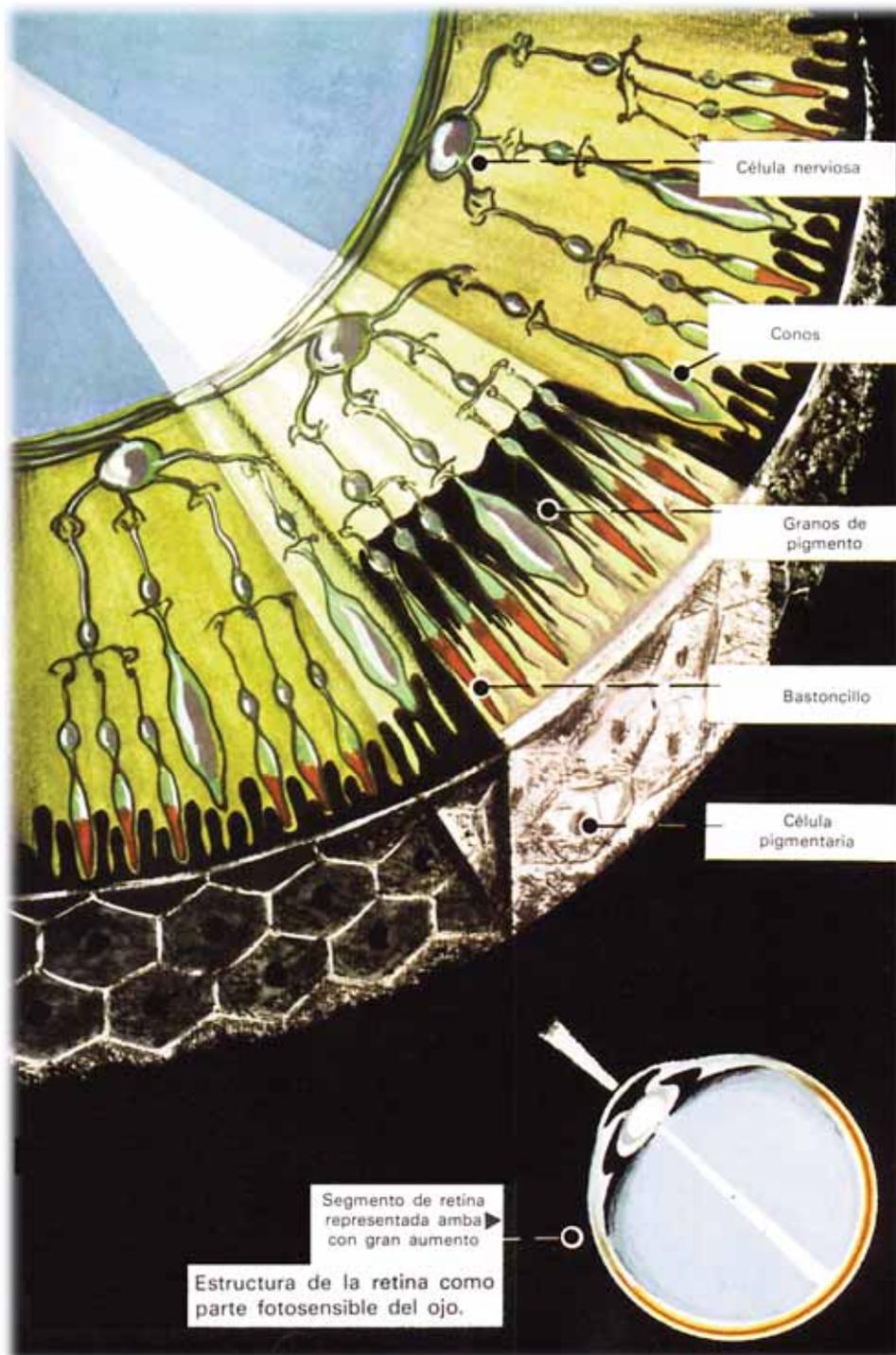
1. La velocidad de propagación que es de 300.000 km por segundo y...
2. La longitud de onda o distancia entre dos ondas consecutivas.

Esta longitud de onda se mide en luminotecnica en nanómetros, símbolo nm y tiene su correspondencia con otras unidades que pueden resultarnos conocidas o desco-

nocidas pero que existen en física y que se exponen.

De todos los sentidos el hombre atribuye mayor valor a la visión. Más que cualquier otro, este permite la localización en el espacio y es el que da cuenta con mayor precisión de los acontecimientos que tienen lugar en el medio en el que el hombre se desenvuelve.

Los ojos son órganos fotosensibles altamente evolucionados; cada uno de ellos está alojado en una caja ósea protectora: la órbita. El ojo propiamente dicho, o globo ocular, es de constitución bastante delicada. Está formado por una cámara oscura, una capa de células sensoriales, un sistema de lentes para formar la imagen y un sistema de células y nervios que conducen los impulsos hasta el sistema nervioso central. Aquí las señales se interpretan, com-



Estructura de la retina

pletándose el proceso.

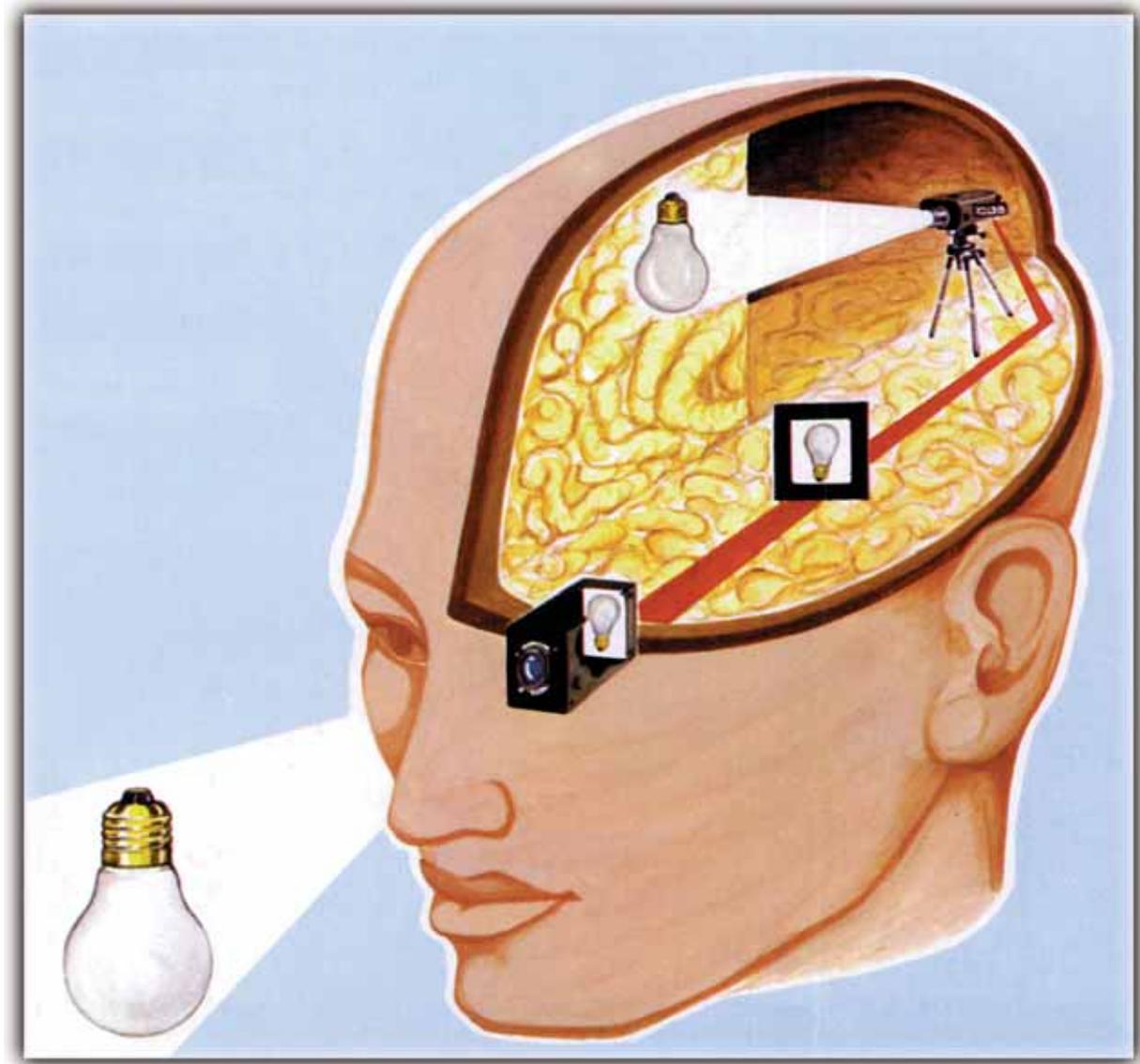
El ojo se puede comparar con una cámara fotográfica aunque mucho más evolucionado ya que presenta algunas diferencias fundamentales con ella.

En el ojo el objetivo lo componen la córnea, el humor acuoso y el cristalino.

El diafragma es el iris y la película fotosensible la retina que está dotada de unos elementos fotorreceptores encargados de cumplir distintas funciones y que reciben por

su forma el nombre de conos y bastoncillos y que son los órganos realmente sensibles a los estímulos luminosos, siendo en ellos

donde se realiza la transformación de la energía luminosa en sensación o energía nerviosa.



Formación de las imágenes

Se da la circunstancia de que los bastoncillos 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.

Se deduce, entonces, que la misión de unos es hacerse con el brillo o claridad de los objetos y la de los otros apreciar los colores que los visten.

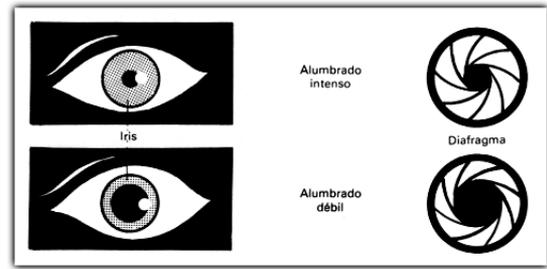
En la visión a la luz del día o con sufi-

ciente luz artificial clara (llamada visión fotópica) interviene los bastoncillos y los conos, mientras que en la visión nocturna o con muy poca luz (llamada visión escotópica) intervienen esencialmente los bastoncillos ya que en este tipo de visión no se distingue el color de los objetos.

En el centro de la retina se encuentra una mancha amarilla y es el lugar donde el número de conos es muy superior al de bastoncillos, existiendo en el centro de esta

mancha un pequeño punto de 0,25 mm de diámetro, llamado fovea central, que solo contiene conos y donde la sensibilidad retiniana a la estimulación luminosa es máxima.

El punto de entrada del nervio óptico constituye lo que se llama punto ciego, que al no contener ni bastoncillos ni conos es insensible a las impresiones luminosas.

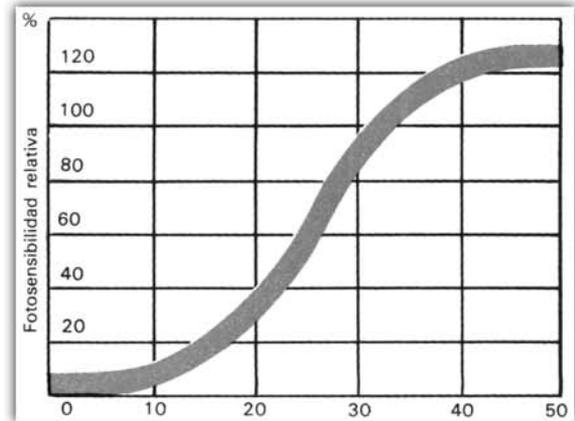


Adaptación de la pupila

FORMACIÓN DE LAS IMÁGENES.

El hombre tiene un campo visual limitado por un ángulo de unos 130° en sentido vertical y de unos 180° en sentido horizontal.

De los objetos iluminados o con luz propia y situados en el campo visual parten rayos luminosos que atravesando la córnea pasan por el cristalino donde se refractan y llegan a la retina en la que se forma la imagen de los objetos que se percibe invertida y mucho más pequeña que la natural, tal como ocurre en una cámara fotográfica, pasando mediante el nervio óptico al cerebro que se encarga de procesarla y de interpretarla amén de rectificar su posición (ponerla derecha).

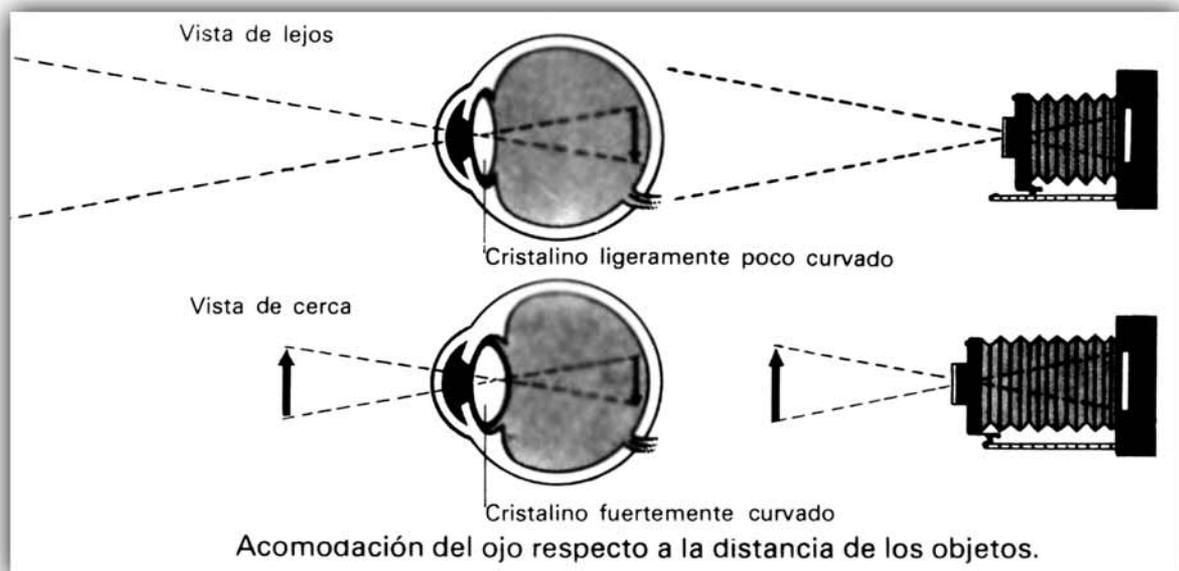


Tiempo de adaptación

Como aclaración conviene recordar que si se desea ver con mayor nitidez la imagen de un objeto ha de mirarse de tal forma que los rayos luminosos procedentes del mismo converjan exactamente sobre la retina, en la fovea central.

fovea central.

CUALIDADES DEL OJO.

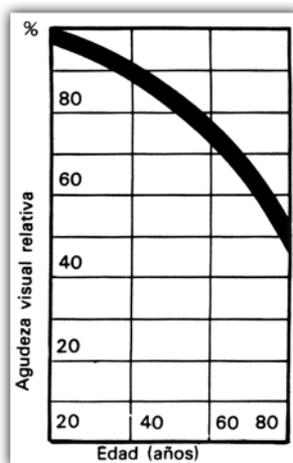


Acomodación del ojo

- **Adaptación.**
- **Acomodación.**
- **Agudeza visual.**
- **Sensibilidad.**

ADAPTACIÓN.

Así se denomina la capacidad que tiene el ojo para ajustarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos.



Agudeza visual respecto a la edad

Este ajuste lo realiza la pupila en su movimiento de cierre y apertura y en las cámaras fotográficas se lleva a cabo gracias al diafragma. Si la iluminación es muy intensa la pupila se contrae reduciendo así la luz que llega al cristalino, y si es escasa la pupila se abre para captar la mayor cantidad posible.

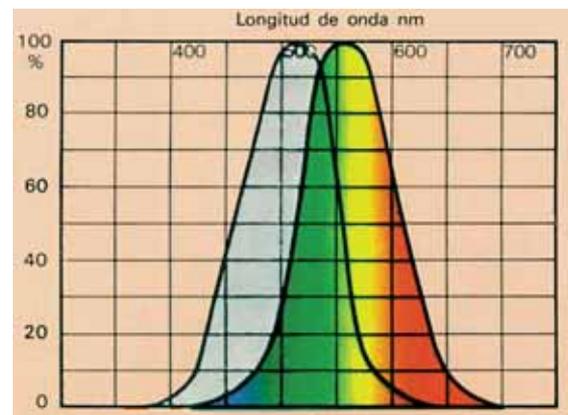
Según los expertos, en iluminaciones muy altas, la pupila se reduce a un diámetro de aproximadamente 2 mm y en iluminaciones muy bajas se abre aproximadamente 8 mm.

Al pasar de un local bien iluminado a otro totalmente a oscuras, el ojo se ve sometido a un proceso de "adaptación" que dura aproximadamente 30 minutos y si la acción es al contrario, esto es, de un local poco iluminado a otro muy bien iluminado, este proceso dura sólo unos segundos. Ver figura.

ACOMODACIÓN

Se entiende por tal a la capacidad del ojo para ajustarse de forma automática a las diferentes distancias de los objetos, enfocándolos de tal forma que se obtenga de los mismos una imagen nítida en la retina.

Este ajuste se lleva a cabo variando la curvatura del cristalino y con ello la distan-



efecto Purkinje

cia focal por la contracción o distensión de los músculos ciliares.

Si el objeto se encuentra cerca del ojo la curvatura se hace mayor que si está lejos.

En la máquina fotográfica se logra variando la distancia entre el objetivo y la placa sensible.

La capacidad de acomodación del ojo disminuye con la edad a consecuencia del endurecimiento del cristalino.

AGUDEZA VISUAL

Se conoce por la capacidad del ojo de reconocer por separado, con nitidez y precisión objetos muy pequeños y próximos entre sí, diciéndose que una persona tiene elevada o buena agudeza visual cuando puede leer sin esfuerzo, distinguir los detalles de un objeto minúsculo o reconocer perfectamente una señal de tráfico a larga distancia.

La agudeza visual máxima se considera que tiene un valor de 100 y se corresponde con una edad temprana. A medida que pasan los años se tienen porcentajes más bajos.

SENSIBILIDAD

El conjunto de radiaciones de la luz del día está comprendido en una zona del espectro electromagnético cuyas longitudes de onda se encuentran entre los 380 nm para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo, valores límites de la sensibilidad del ojo humano.

Todas las fuentes luminosas tienen su propia radiación o mezcla de ellas dentro de dichos límites.

Como la sensibilidad de los conos de la retina es diferente para cada color, representando, mediante un gráfico la sensibili-

dad relativa del ojo humano para las distintas longitudes de onda de la luz del medio día soleado, suponiendo a todas las radiaciones luminosas la misma energía, se obtiene una curva en forma de campana (campana de Gauss) que llamaremos "curva de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas de longitud de onda λ ", o abreviadamente "curva $V\lambda$ ".

En ella podemos constatar que el ojo tiene la mayor sensibilidad en la longitud de onda 555 nm que se corresponde con el amarillo-verdoso, y la mínima a los colores rojo y violeta, pudiéndose deducir de esto que los manantiales luminosos que presen-



MAGNITUDES LUMINOSAS BÁSICAS. LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTÉCNIA.

“Todas las unidades utilizadas en la medición de la luz estan basadas en la respuesta a los estímulos luminosos de un ojo humano sano”

ten más radiación y cuyas longitudes de onda se acerquen a los colores verde y amarillo tendrán más eficiencia (ya veremos esta circunstancia en las páginas de este manual dedicadas a las lámparas de descarga de sodio baja presión y sodio alta presión), aunque una luz de tal clase no es apropiada para nuestro ojo, acostumbrado a la luz solar.

En la visión escotópica (en el crepúsculo y la noche) el máximo de sensibilidad se desplaza hacia longitudes de onda menores, según se puede observar en la figura.

Este fenómeno se denomina "efecto Purkinje" y consiste en que las radiaciones de menor longitud de onda (violeta y azul) producen mayor intensidad de sensación con baja que con alta iluminación, mientras que las radiaciones de mayor longitud de onda (anaranjado y rojo) se comportan al contrario.

ANECDOTARIO

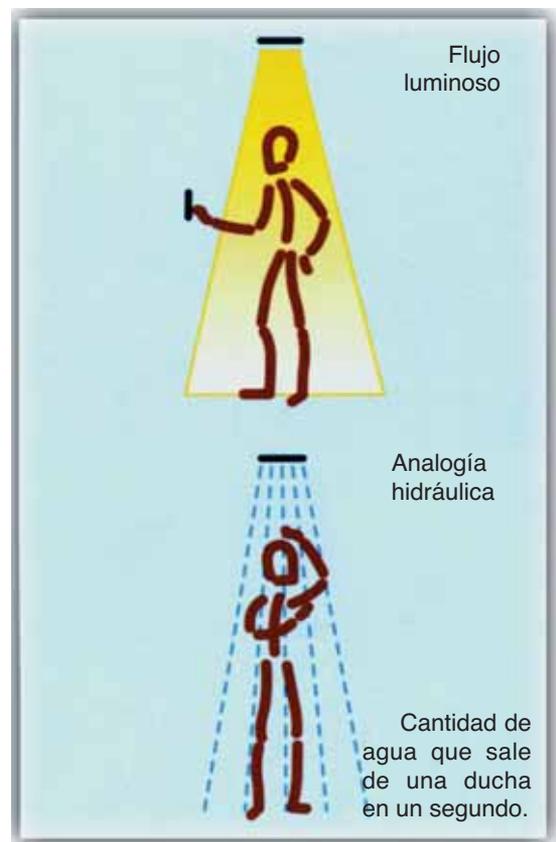
En lo anteriormente expuesto podemos justificar en qué se basa el argumento de colocar en los vehículos faros de color amarillo (en Francia, por ejemplo).

El mismo argumento puede servir de explicación del por qué se iluminan ciertas zonas de autopistas y autovías con lámparas de sodio de alta presión (color amarillo), además

de ser lámparas con elevada eficiencia energética (muchos lúmenes emitidos por vatio consumido) y que

representan más ahorro que otro tipo de fuente de luz, vapor de mercurio, por ejemplo.

Y en lo que respecta al efecto que



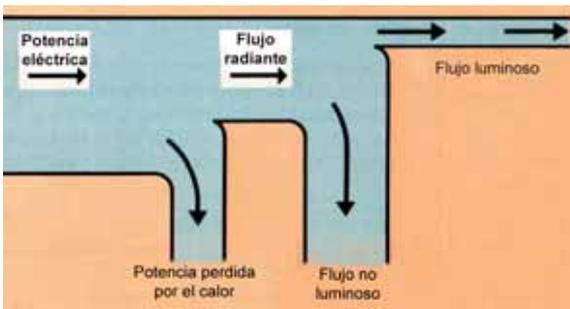
puede producirse, en pequeñas iluminaciones, aplicando una fuente de luz azul o violeta cerca del ojo, de mejorar la visión, podemos recordar una moda de hace unos años: la consistente en colocar un pequeño aplique de este tipo de luz en el salpicadero del coche.

UNIDADES Y MEDIDAS.

En la teoría de la iluminación intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto a iluminar.

Las magnitudes y unidades de medida básicas empleadas para valorar y comparar las cualidades y los efectos de las fuentes de luz, son las siguientes:

- **Flujo luminoso**
- **Rendimiento o eficacia luminosa**
- **Intensidad luminosa**



La energía se transforma...



- **Iluminancia**
- **Luminancia**

• **FLUJO LUMINOSO.**

Es la cantidad de luz emitida por una fuente de luz en todas las direcciones, en la unidad de tiempo. También se puede definir como la potencia de radiación emitida por dicha fuente, percibida y evaluada según el valor fijado internacionalmente para la sensibilidad del ojo humano.

Símbolo Φ

Unidad: Lumen (lm).

Este concepto, un tanto etéreo, tiene la feliz contrapartida de ser un dato que todos los fabricantes de fuentes de luz proporcionan en sus catálogos.

Ejemplos:

Bombilla incandescente

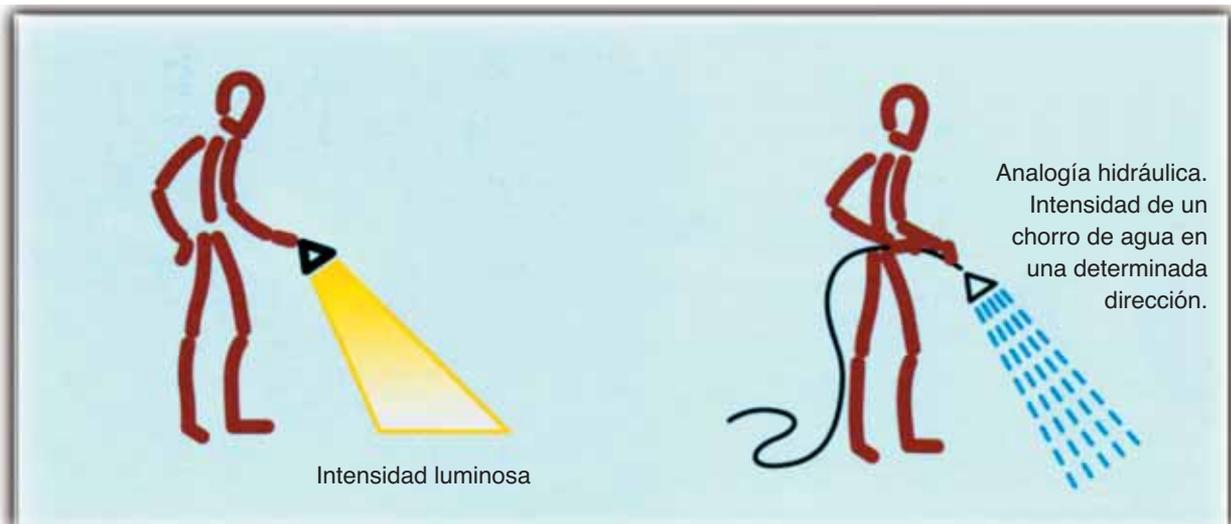
60W 230V: 730 lm

Tubo fluorescente estándar

36/54: 2.500 lm

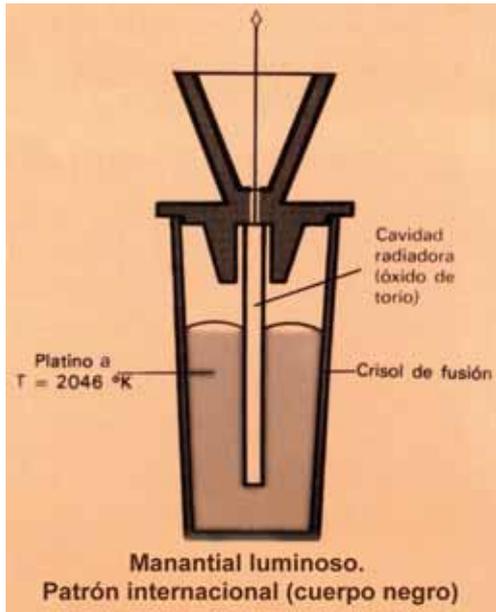
Tubo fluorescente trifósforo

36/840: 3.350 lm



RENDIMIENTO O EFICACIA LUMINOSA

Una vez definido y localizado en una tabla el valor del flujo de una fuente de luz po-

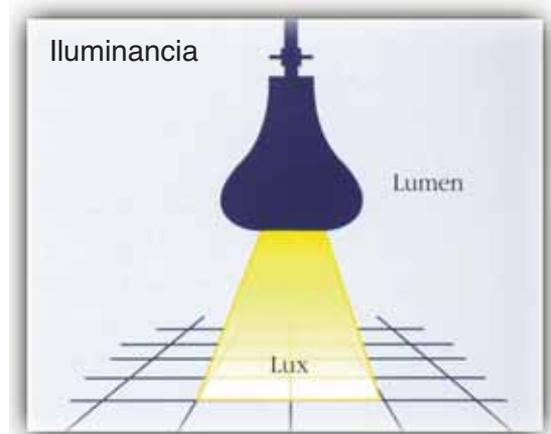


demos obtener lo que se denomina eficacia luminosa o rendimiento luminoso, valor de mucha actualidad que se obtiene dividiendo los lúmenes por los vatios que consume esa fuente de luz, considerando las pérdidas del equipo de encendido, de existir. Así tenemos que el tubo 36/840 tiene una eficacia de 98 lm/W y el tubo T5 (16 mm.) puede llegar a tener 104 lm/W.

La energía transformada por los manantiales luminosos no se puede aprovechar totalmente para la producción de luz. Por ejemplo, una bombilla incandescente consume una determinada energía eléctrica que transforma en energía radiante y de la que sólo una pequeña parte es percibida por el ojo en forma de luz, mientras que el resto se pierde en calor y en flujo no luminoso.

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas, toda la potencia eléctrica consumida en luz de una longitud de onda de 555 nm, esta lámpara tendría el mayor rendimiento

luminoso posible, cuyo valor sería de 680 lm/W, pero como sólo una pequeña parte es transformada en luz los rendimientos luminosos ob-



tenidos hasta ahora, por las distintas lámparas, quedan muy por debajo de ese valor.

INTEI

Es fuente "dirigida". Puedo luminoso mensurado á

El : La de la



una pero ción. lumi-tridirefe- a (cd) 1/60 | ma- Luxómetro

nantial luminoso patrón (cuerpo negro) a la temperatura de fusión del platino (2.046 °K).

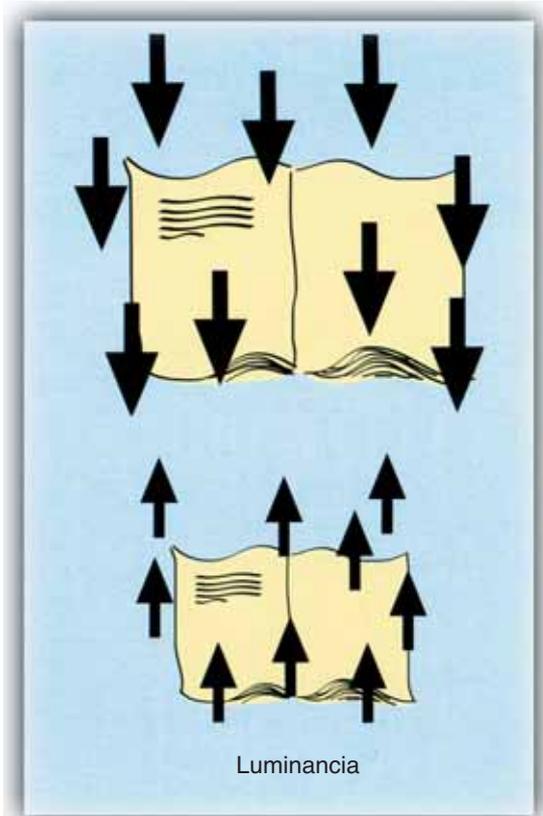
El cuerpo negro es aquel capaz de emitir y absorber todas las radiaciones del espectro visible.

Este dato tiene mucha importancia en las lámparas reflectoras, halógenas dicroi-

sin reflector tiene un valor de 1 cd., al poner el reflector, este valor llega a 250 cd.!

Los diodos LED's de señalización tienen un diseño para una emisión de luz hacia delante y en las tablas de los fabricantes aparece un valor que puede llegar hasta 9 cd como elementos sueltos.

Otra cuestión es el montaje de varios encracimados, versión multiled, que es como se le denomina y de la que se está empezando a hacer uso.



ILUMINANCIA.

También se llama nivel de iluminación y se refiere a la cantidad de luz que incide en una determinada superficie, dividida por el valor en metros cuadrados de esta, considerándola uniformemente iluminada.

Su símbolo es **E**.

$$lx = \frac{lm}{m^2}$$

Su unidad el lux (**lx**)

Medida de la iluminancia.

Se mide con un aparato llamado luxómetro, del que hablaremos más adelante.



cas y proyectores, al ser fuentes de luz direccionales y para darnos cuenta de su relevancia sepamos que,

¡la bombilla del faro de una bicicleta

LUMINANCIA O BRILLO.

Es la sensación del reflejo de la luz en esa determinada superficie.



Esfera de Ulbricht

El símbolo es **L**.

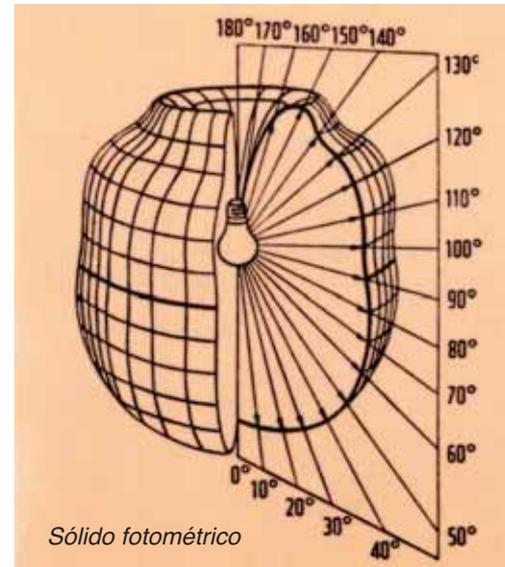
Y la unidad:

Candela por metro cuadrado (**cd/m²**)

El tubo fluorescente tiene un valor bajo de Luminancia y en contraposición la bombilla incandescente lo tiene elevado.

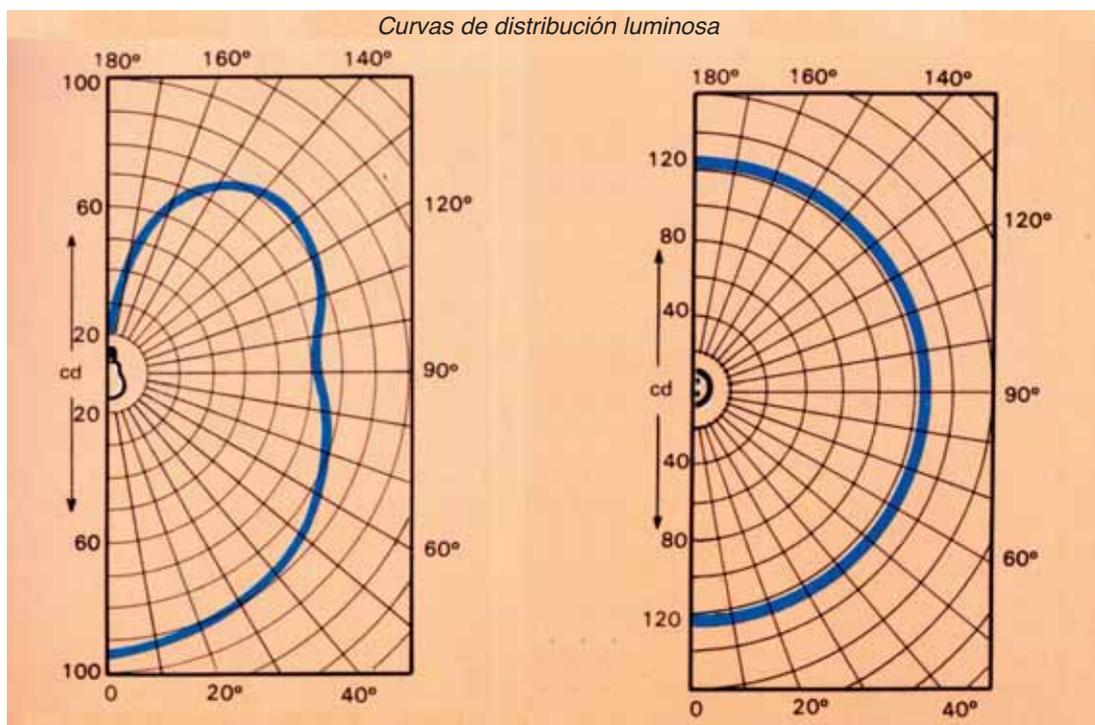
Dicho de otra forma, somos capaces de mirar, sin notar excesiva molestia, un tubo fluorescente de 18W pero no tanto una bombilla de 75W que es su equivalente en emisión luminosa.

Valores aproximados de luminancia,



Sólido fotométrico

que nos servirán de referencia para comparar unas fuentes de otras y también para adquirir la cultura necesaria para poder concretar aspectos y pronunciarnos sobre soluciones.



Sol	150.000 cd/cm ²
Cielo despejado	0,3 a 0,5 cd/cm ²
Cielo Cubierto	0,03 a 0,1 cd/cm ²
Luna	0,25 cd/cm ²
Llama de una vela	0,7 cd/cm ²

*Se utiliza cd/cm² en fuentes de elevada luminancia.

Medida de la luminancia

Se puede medir con un aparato parecido a un luxómetro y que se llama luminancímetro.

Actualmente los luxómetros de última generación son capaces, seleccionando esta medida, de medir luminancias porque están preparados para ello.

Medida del flujo luminoso

Se realiza en el laboratorio mediante un fotoelemento ajustado según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas (curva V_{λ}), incorporado a una esfera hueca a la que se le da el nombre de esfera integradora de Ulbricht, en cuyo interior se coloca la fuente a medir.

El conjunto de la intensidad luminosa de

un manantial en todas direcciones constituye lo que se llama distribución luminosa. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, donde su intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente, presentando así diversos valores en las distintas direcciones.

Con aparatos especiales se puede determinar la intensidad luminosa de un manantial en todas las direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Si pudiésemos representar por medio de vectores la intensidad luminosa de un manantial, en infinitas direcciones del espacio, obtendríamos un cuerpo llamado "sólido fotométrico".

Haciendo pasar un plano por el eje de simetría del cuerpo luminoso se obtendría una sección limitada por una curva que se denomina curva de distribución luminosa y también curva fotométrica.

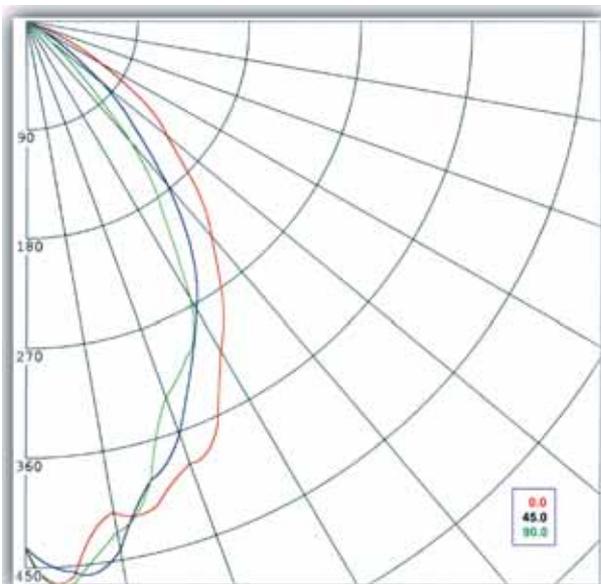
Mediante la curva fotométrica de un manantial se puede determinar con exactitud la intensidad luminosa en cualquier dirección, dato necesario para algunos cálculos de iluminación.

Puede representarse solo un cuadrante cuando existe una simetría respecto al eje vertical, como luego podremos apreciar.

Muy importante:

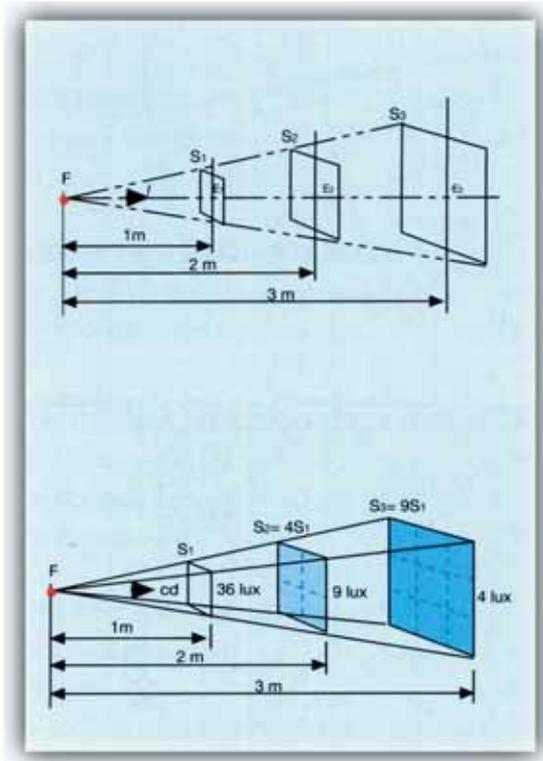
Las curvas fotométricas se representan referidas a un flujo luminoso emitido de 1000 lúmenes con la intención de universalizarlas (para evitar repeticiones innecesarias) y como el caso más general es que la fuente de luz emita un flujo superior, los valores de la intensidad luminosa correspondiente se extrapolarán, es decir, se hallarán multiplicando los valores obtenidos en la curva por un factor que represente tantas veces 1000 lúmenes tenga la fuente que estamos ensayando.

Las curvas fotométricas que se han representado anteriormente se corresponden con las de distintas fuentes de luz "desnudas" pero también se puede representar el conjunto luminaria-lámpara, quedando la fotometría tal como se aprecia en la figura siguiente:



Se trata de la fotometría de una luminaria fluorescente de empotrar en techo practicable de 4 tubos de 18 W cada uno y que va provista de un difusor de aluminio brillo con lamas longitudinales y transversales parabólicas.

En ella se observa lo que hemos apuntado anteriormente, que conviene de nuevo



reseñar y es que como las fotometrías normalmente son simétricas respecto al eje vertical, representando simplemente un cuadrante habremos representado todos los datos que puedan interesarnos.

LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

$$E_1 = \frac{I}{d_1^2} = \frac{36}{1^2} = 36 \text{ lux}$$

$$E_2 = \frac{I}{d_2^2} = \frac{36}{2^2} = 9 \text{ lux}$$

$$E_3 = \frac{I}{d_3^2} = \frac{36}{3^2} = 4 \text{ lux}$$

• **Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.**

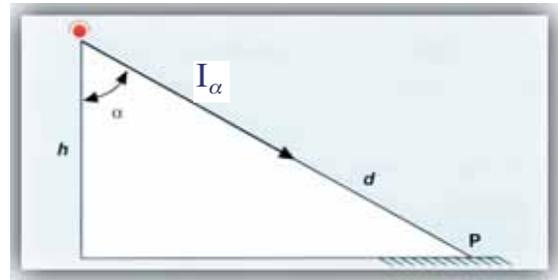
drado de la distancia.

$$E_1 = 4 E_2 = 9 E_3$$

• **Ley del coseno.**

Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

Aquí también se cumple lo que es habitual en toda manifestación física donde exista propagación de energía y que relaciona la intensidad de la fuente energética con la distancia.



"Para un mismo manantial luminoso las iluminancias en diferentes superficies, situadas perpendicularmente a la dirección de la radiación, son directamente proporcionales a la intensidad luminosa del foco, e inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia que las separa del mismo"

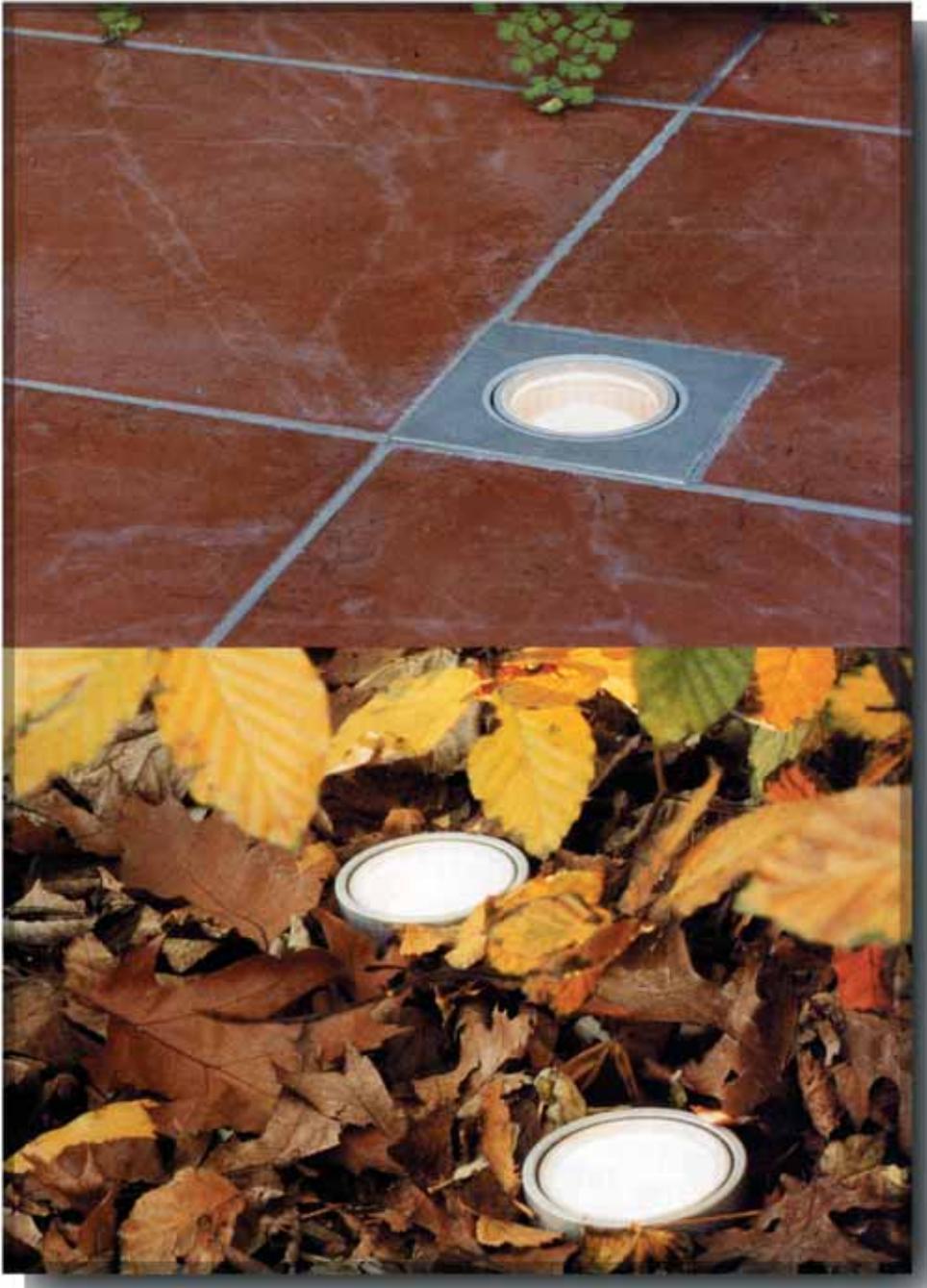
$$E = \frac{I}{d^2}$$

Esta ley se expresa por la fórmula descrita y se cumple cuando se trata de una fuente puntual, de superficies perpendiculares a la dirección del flujo luminoso y cuando la distancia es grande con relación al tamaño del foco. Para fuentes de luz secundarias (luminarias) se considera suficientemente exacta si la distancia es por lo menos cinco veces la máxima dimensión de la luminaria.

Según esta ley un manantial con una intensidad luminosa uniforme de 36 candelas producirá sobre una superficie situada perpendicularmente a la dirección de la radiación y a las distancias de 1,2 y 3 m, las siguientes iluminancias:

En la superficie a 1 m:

En la superficie a 2 m:



REFLEXIÓN, TRANSMISIÓN, ABSORCIÓN, REFRACCIÓN Y DIFUSIÓN DE LA LUZ

En la superficie a 3 m:

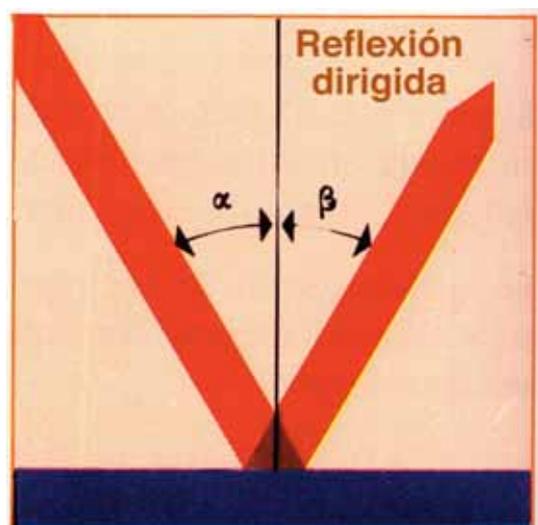
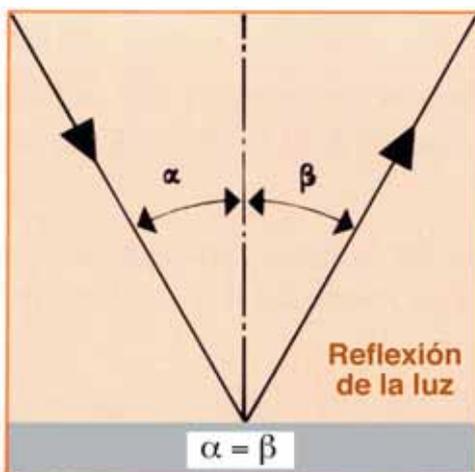
De donde se deduce que:

Ley del coseno.

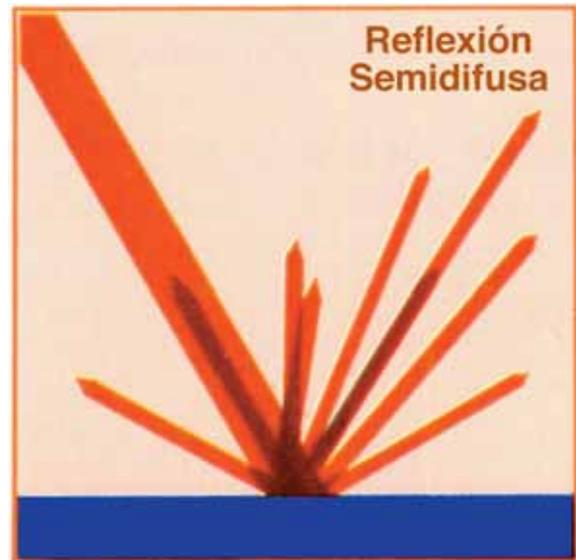
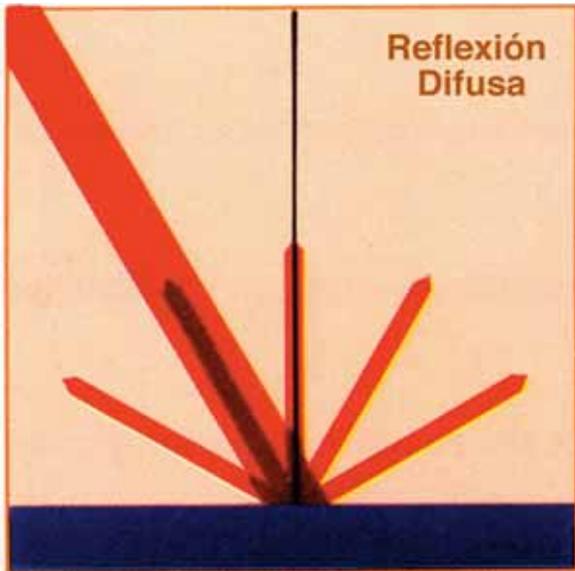
“La Iluminancia en un punto cualquiera, alejado de la vertical, de un plano es proporcional al coseno del ángulo de incidencia (el ángulo comprendido entre la dirección de la luz incidente y una línea perpendicular al plano)”.

Su fórmula es:

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

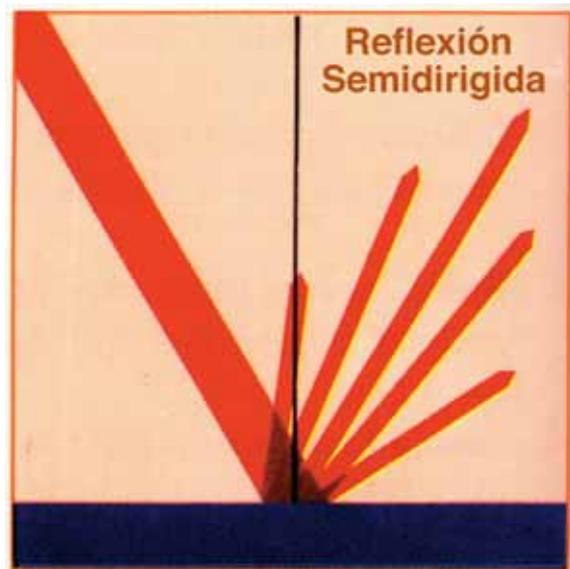


Donde I_{α} es la intensidad luminosa que llega al punto bajo el ángulo α .



Como d es la distancia entre el foco y el punto considerado en el plano de referencia, que tiene un valor desconocido y la altura h puede ser un valor fácilmente men-

$$E_p = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$



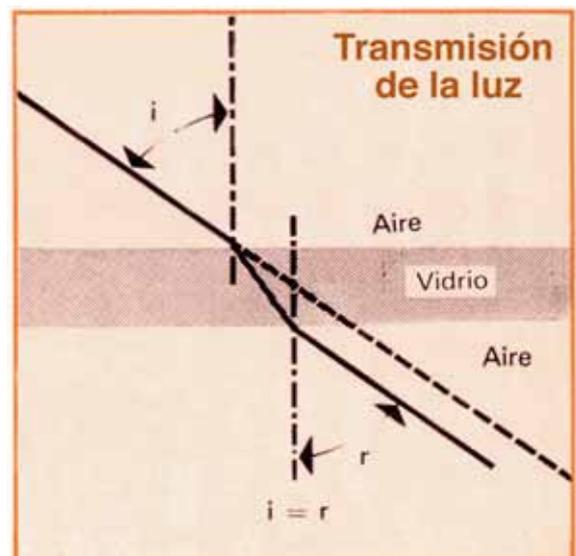
UTILIDAD DE ESTA FÓRMULA

Sirve para calcular la aportación de una fuente de luz a la iluminación de un punto determinado (**Método punto por punto**).

surable, se busca, en la fórmula, la manera de incorporar esta.

Ya que el $\cos \alpha = \frac{h}{d}$, podemos despejar

$d = h / \cos \alpha$,
quedando:



Repitiendo el cálculo para todos los puntos deseados y sumando las aportaciones de todas las fuentes de luz presentes se

obtiene la iluminancia en toda la superficie.

Ya veremos de donde pueden salir los valores que nos faltan.



Un manantial luminoso no puede utilizarse libremente, como por ejemplo, la típica bombilla colgando, de los primeros años



de la utilización de la luz artificial, siendo preciso, para un control lógico, recurrir a superficies, o volúmenes de distintos materiales donde gracias a los fenómenos físicos, que ahora veremos, se produce la atenuación, difusión o la direccionalidad de la



luz.

La modificación de las características específicas de un manantial luminoso, con vistas a una utilización racional y eficiente de la luz emitida puede llegar a conseguirse



aprovechando uno o varios de los siguientes fenómenos físicos:

- Reflexión
- Transmisión
- Absorción
- Refracción
- Difusión

REFLEXIÓN

Gracias a ella si un rayo de luz incide en una superficie especular (espejo) se refleja

de tal forma que el ángulo que forma con la normal es igual al ángulo incidente.

Dicho de otra forma, el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado.

La reflexión de la luz está condicionada por diversas circunstancias:

- 1.- Características de las superficies donde incide la luz.
- 2.- La inclinación que tiene el rayo de luz al incidir.
- 3.- El color de los rayos que inciden ya que la luz blanca se refleja mejor que la luz coloreada.

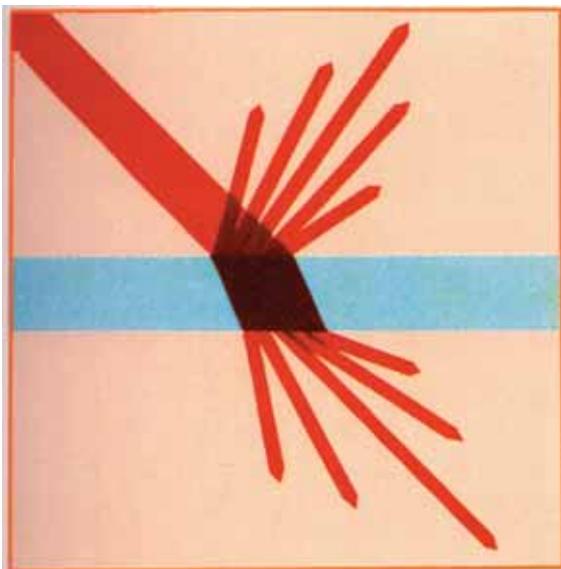
Existen muchas clases de reflexión y así tenemos.

Dirigida o especular.

Es la producida por superficies completamente lisas y brillantes como espejos o metales pulidos.

Difusa.

Se produce en superficies rugosas y ma-



La luz incidente en un cuerpo es reflejada, transmitida y absorbida

tes, como la tela blanca y el yeso.

Semidirigida.

Contrariamente a la anterior esta se produce en superficies rugosas y brillantes.

Semidifusa.

La producida en superficies blancas y esmaltadas.

Las dos últimas son formas mixtas o mezcla de las dos primeras. Si somos observadores comprobaremos que la mayor parte de los materiales presentan una combinación de todas ellas.

Es de dominio común afirmar que la reflexión difusa evita el deslumbramiento. Comparemos la molestia ocasionada por una bombilla clara, esto es, transparente, y la misma oculta en una tulipa de cristal esmerilado u opal.

TRANSMISIÓN DE LA LUZ

Es la propagación a través de cuerpos transparentes o translúcidos. Y tal como se desplaza por refracción la imagen introducida en el agua de un remo o de un palo, así los rayos luminosos se ven desplazados.

También existen cuatro formas básicas:

Dirigida, que se produce por los cuerpos transparentes, como el vidrio claro.

Difusa.

Que se produce por los cuerpos translúcidos, muy densos como el vidrio opal.

Semidirigida.

Que se produce por los cuerpos menos transparentes, como el vidrio mateado.

Semidifusa.

Que se produce por los cuerpos translúcidos, menos densos, como el vidrio ligeramente opal.

ABSORCIÓN

En los anteriores fenómenos es cosa evidente que parte de la luz que incide es absorbida en mayor o menor proporción, según la naturaleza del material.

De donde se infiere que los fenómenos descritos además del de absorción estén íntimamente ligados.

La absorción juega un papel importante en el color de los cuerpos, que veremos más adelante.

Es importante reseñar que siempre re-

presenta una pérdida de luz. La dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar la luz de un medio a otro de diferente densidad. A este fenómeno físico se llama refracción y como ejemplo podemos verificarlo metiendo un palo dentro del agua, observaremos que la imagen se desvía. Otro ejemplo lo constituye un mineral, el Espato de Islandia, que si vemos el párrafo de un texto a su través, observaremos que las letras se desdoblan.

DIFUSIÓN.

Ya hemos hablado del mismo en los espacios dedicados a la reflexión y transmisión de la luz, donde hemos podido constatar que, debido a la rugosidad de la superficie que refleja o transmite el flujo luminoso, este se esparce en todas las direcciones del espacio.

REFRACCIÓN.

FACTORES DE REFLEXIÓN, TRANSMISIÓN Y ABSORCIÓN.

La dirección de los rayos luminosos queda modificada al pasar la luz de un medio a otro de diferente densidad. A este fenómeno físico se llama refracción y como ejemplo podemos verificarlo metiendo un palo dentro del agua, observaremos que la imagen se desvía. Otro ejemplo lo constituye un mineral, el Espato de Islandia, que si vemos el párrafo de un texto a su través, observaremos que las letras se desdoblan.

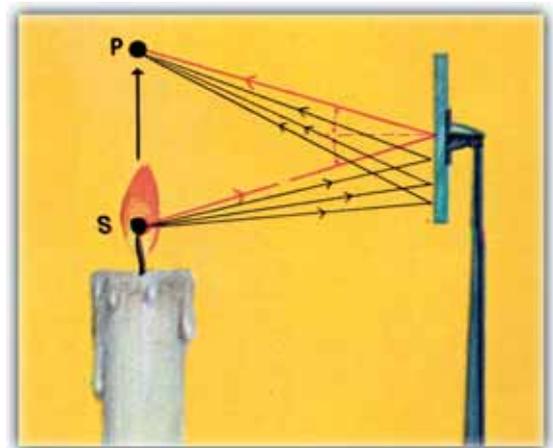
Cuando iluminamos un cuerpo una parte de la luz que incide sobre él se refleja, otra parte lo atraviesa, es decir, se transmite y otra parte queda absorbida.

Esto lo podemos expresar diciendo:

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_t + \Phi_a$$

donde

Φ_i es el flujo luminoso incidente



La vela y el espejo

Φ_r es el flujo luminoso reflejado

Φ_t es el flujo luminoso transmitido

Φ_a es el flujo luminoso absorbido

Se llama factor de reflexión F_r al cociente entre el flujo reflejado y el incidente.

$$F_r = \Phi_r / \Phi_i$$

Se llama factor de transmisión **F_t** a la relación del flujo transmitido y el incidente.

$$F_t = \Phi_t / \Phi_i$$

Y llamaremos factor de absorción **F_a** a la relación del flujo absorbido y el incidente.

$$F_a = \Phi_a / \Phi_i$$



EL COLOR

Siempre es mayor el denominador que el numerador por lo tanto siempre será inferior a la unidad cualquiera de los factores que hemos reseñado, existiendo otra curiosidad y es que en determinado cuerpo se da:

$$F_r + F_t + F_a = 1$$

De todos ellos el más utilizado en cálculos de iluminación es el factor de reflexión.

Nos hartaremos de dar valores del mismo al suelo, paredes y techos de los espacios que vamos a iluminar.

Pero no nos confundamos al leer indistintamente 0,5 ó 50% porque es lo mismo y depende de autores el utilizar una u otra expresión, y significa el % de luz que se refleja.

Vamos a ver algún valor de los comentarios con la finalidad de fijar las ideas. Para ello elegimos dos materiales que nos pueden resultar familiares, el vidrio opal blanco y la seda blanca.

MATERIAL	F. DE REFLEX.	F. DE TRANS.	F. DE ABS.	EFEECTO PRODUCIDO
----------	---------------	--------------	------------	-------------------

Vidrio opal	0,30...0,55			
0,66...0,36	0,04...0,08			
Transmisión semidirigida				
Seda blanca	0,28...0,38			
0,61...0,71	0,01		Reflexión	
semidirigida.				

Transmisión difusa

Gracias a las propiedades comentadas en los párrafos anteriores tenemos ya unas

referencias que nos ayudarán a entender algo más lo relacionado con la luz y sus efectos.

Aún así es necesario insistir en algunos conceptos mediante puntos de vista que nos van a resultar útiles y por ello vamos a hacerlo de la mano del:

ANECDOTARIO

Al encender un punto de luz en una habitación oscura podemos ver los objetos que la ocupan gracias a que estos se constituyen en fuentes de luz. Si así no fuera la visión no podría percibirlos. Es por lo que las hojas de un libro iluminado, que no tienen luz en su interior, la reciben de otra fuente y la difunden.

Una vela, por el contrario, genera la luz, como lo hace una bombilla.

Por eso a estas últimas se les conoce como fuentes primarias de luz y a las páginas de un libro, de papel, incapaces de iluminar una habitación, se las conoce como fuentes secundarias, lo mismo que cualquier elemento que se comporte igual.

Recordemos lo que hemos estudiado sobre la luna: "satélite de la tierra que refleja la luz que recibe del sol".

En ambos supuestos la luz se propaga de la misma manera, es decir, en todas las direcciones. Así la luz de una vela, rodeada por una caja de cartón se propaga igualmente en todas las direcciones. El propio cuerpo de la vela impide que la distribución de la luz sea homogénea, originando sombras. Pero si se considerase a la llama idealmente suspendida en el espacio, aquél principio sería válido. Hay una excepción:

el rayo láser, que como sabemos se trata de un rayo de luz coherente y solo se transmite en una dirección, con una ligerísima dispersión.

Vamos a insistir de nuevo con la vela y con una de las propiedades de la luz, la reflexión, y nada mejor que recurrir a un dibujo.

La vela, frente al espejo, emite luz en todas las direcciones.

Un punto **P**, próximo a ella, puede ser alcanzado por el rayo que se propaga en línea recta a partir de la llama **S**, ó también por un rayo reflejado en el espejo.

Sólo alcanzará el punto **P** el rayo cuyo tiempo de recorrido sea menor (marcado en rojo).

Las líneas en negro no son recorridas por la luz.

El rayo rojo forma, con la normal a la superficie del espejo, ángulos iguales de incidencia y reflexión.

Debemos recordar este pequeño ejemplo para justificar, cuando llegue el momento, la necesidad de los reflectores de brillo especular (la palabra viene de espejo) en todo aquel aparato que vayamos a incluir en un proyecto.

Durante las primeras etapas de la filosofía griega e incluso en el pensamiento prefilosófico, las cualidades de la materia, y entre ellas el color, se interpretaban como si fuese una sustancia. Se solía hablar de lo claro, de lo oscuro, de lo liviano, de lo pesado y de lo rojo. Mucho después, con Demócrito de Abdera, se empieza a hacer la distinción entre las cualidades objetivas (del propio objeto) y subjetivas ("traducciones", que el sujeto realiza de lo que observa y siente). El color deja entonces de considerarse como existiendo objetivamente para interpretarse como algo dependiente del observador. Ya no es importante saber lo que es rojo; lo principal es la visión del rojo.

En estos términos se encuentra en Platón y en Aristóteles una teoría de la visión y de los colores como un aspecto de

la explicación general del conocimiento del mundo exterior. Mientras los sucesivos estudios condujeron a la obtención de resultados definitivos con respecto a los demás sentidos (oído, olfato, tacto, sabor), el me-



Filtro de color.

canismo de la visión presentó dificultades insuperables y sólo después de 2.000 años de investigaciones, cada vez más intensas, se pudo llegar a una conclusión positiva. Fue en la segunda mitad del siglo XIX, después del descubrimiento de los primeros colorantes sintéticos, cuando comenzaron a formularse las teorías que subordinan el color de las sustancias a su estructura química. Esto permitió que se abriera un nuevo y amplio campo de estudios físico-químicos, de gran importancia en la práctica.

Concretando:

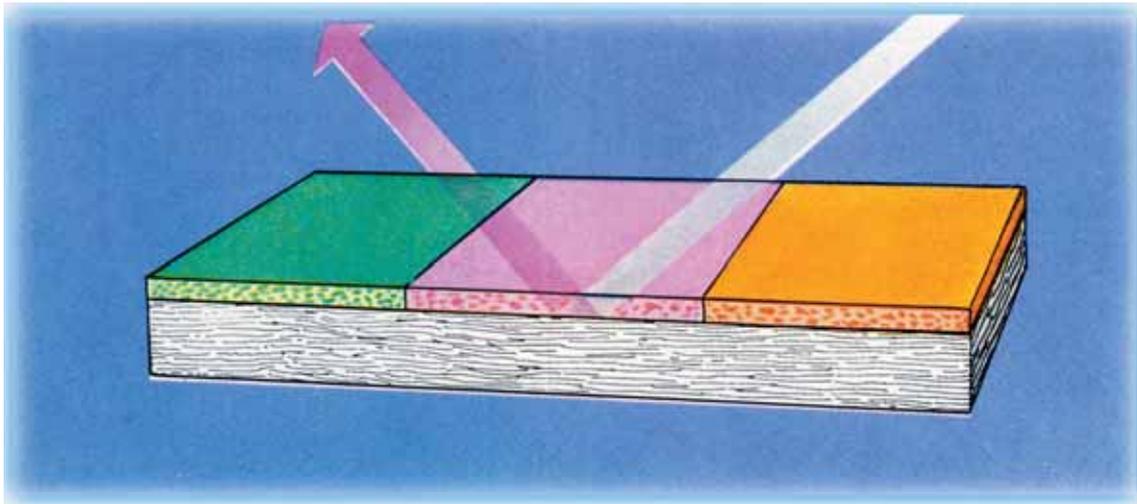
Es habitual consignar el color de los cuerpos como una propiedad inherente a los mismos y así hablamos de olor, sabor y calor pero no es cierto en lo referente al color ya que como tal no existe ni se produce en ellos. Los cuerpos sólo tienen unas de-

terminadas propiedades de reflejar, transmitir o absorber los colores de la luz que reciben, de tal forma que si, por cualquier circunstancia, en un cuerpo no se produjeran las propiedades mencionadas, éste sería invisible.

El Sol emite un conjunto de radiaciones que cubre una amplia franja de longitudes de onda pero el ojo humano es sólo sensi-

ble a las radiaciones con longitudes de onda entre los 400 y 800 nm que se corresponden con las radiaciones luminosas. Las situadas antes y después de estos límites el ojo humano no tiene la facultad de percibir las.

Una cosa es la percepción de la luz cuando la emite un cuerpo y otra cuando la luz se refleja ya que al incidir la luz blanca



Porción de hoja impresa.

sobre un objeto experimenta en alguna de sus radiaciones la absorción y en otras la reflexión, siendo esta última la que da color al objeto.

Un cuerpo aparece blanco cuando la sustancia que lo constituye refleja la totalidad de las radiaciones incidentes. Y será negro si toda la radiación incidente es absorbida. Esto no significa que un cuerpo sea rojo porque absorbe todas las restantes longitudes de onda ya que el ojo, a pesar de distinguir los diferentes colores, no tiene poder discriminatorio y de este modo el rojo es el color percibido porque el cuerpo absorbe la luz azul; la composición de las radiaciones luminosas reflejadas produce el color rojo.

En las sustancias inorgánicas la presencia del color se debe a la absorción de radiaciones por parte de los iones ó átomos de los metales de transición.

En los compuestos orgánicos la situa-

ción es más compleja ya que para que la sustancia se coloree debe poseer determinados grupos en la molécula, denominados cromófonos y la molécula a que pertenecen se llama cromógena.

OPERACIONES CON LOS COLORES.

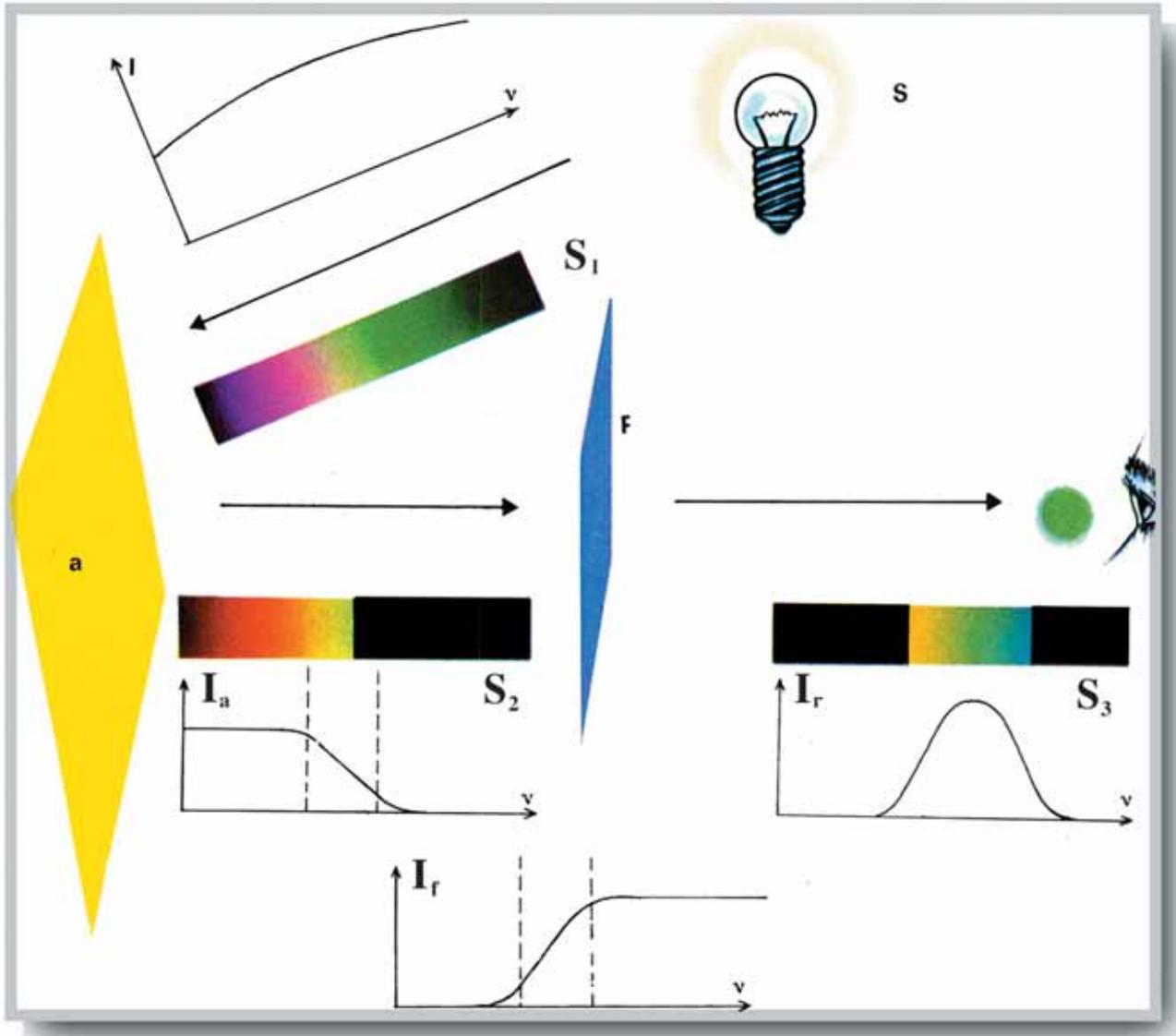
El estudio del espectro de las luces de colores conduce a la comprensión de los fenómenos principales de la física del color, ya que permite razonar teniendo en cuenta su propia composición.

La luz blanca, cuando incide sobre un objeto pierde algunas de las radiaciones que integran su espectro y es difundida con otro color, o sea, adquiere el color que se atribuye al objeto. Este comportamiento resulta más fácil de comprender analizando una luz que atraviese un cuerpo de color, pero transparente.

LOS GRUPOS CROMÓGENOS

Las radiaciones luminosas que atraviesan un cuerpo transparente son absorbidas en parte por la disposición de las moléculas que lo componen, que están formadas por grupos especiales de átomos cuya estructura electrónica es capaz de absorber se-

lectivamente determinadas radiaciones visibles. Ese mecanismo de filtración incitó a los químicos a separar los grupos de átomos por el color absorbido, surgiendo así la química de los colorantes, con innumerables aplicaciones en la vida moderna.



Superposición de los colores.

La presencia de esos grupos de átomos en las moléculas les confiere a éstas el poder colorear la luz y por esa razón dichos grupos atómicos son conocidos como cromógenos.

La química de los colorantes consiste en

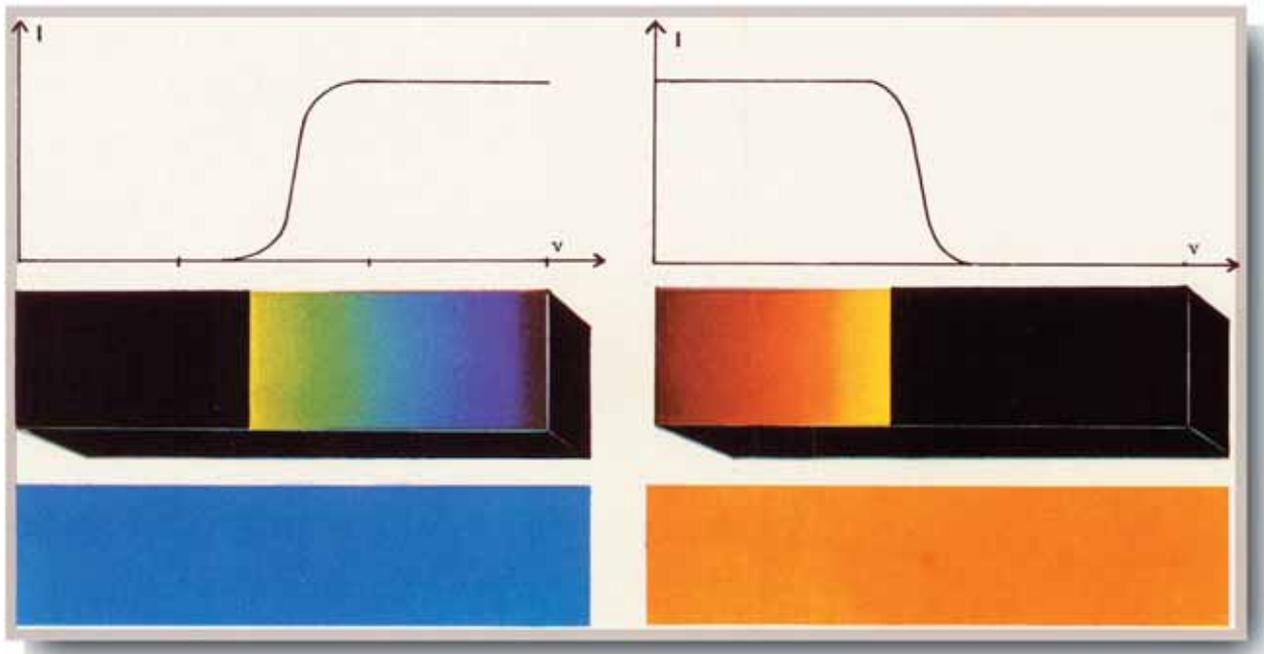
construir moléculas que posean el grupo cromógeno del color deseado y que, además, puedan ser combinadas fácilmente con la sustancia a la que se desea dar una coloración determinada.

LOS FILTROS DE COLORES

El que aparece en el dibujo es una placa delgada, transparente, compuesta por una substancia que sólo deja pasar las radiaciones de cierto rango de frecuencias de la luz blanca incidente (aquí, el anaranjado)

Un filtro de color es un sólido transparente, compuesto por una substancia capaz

de sustraer de la luz blanca alguna de sus radiaciones. Respecto al color el filtro actúa como lo haría una superficie coloreada: absorbe algunas frecuencias de la luz blanca, pero permite la visión por transparencia. Así, cuando se hace incidir luz blanca sobre un filtro azul, éste sólo dejará pasar las radiaciones luminosas de una determinada



Colores complementarios

frecuencia y retiene las demás, en consecuencia el color que pasa al otro lado del filtro es azul.

La incorporación de sustancias minerales que absorben selectivamente determinadas radiaciones en el material con el que está hecho el filtro (como el vidrio, por ejemplo) hace que se puedan obtener series enormes de filtros coloreados, que se utilizan en la ejecución de fotografías especiales, en muchos instrumentos para medir frecuencias de colores y para producir haces de luz de color.

El vidrio no es el único material utilizado para hacer filtros ya que se usan muchos plásticos transparentes desde que se pudo contrastar que el celofán podía ser coloreado en cualquier tonalidad. Para que el filtro

permita una visión perfecta debe tener alta transparencia y caras muy bien pulidas.

LA IMPRESIÓN EN COLOR

Es posible imaginar a la tinta de impresión como una delgada capa de una substancia casi perfectamente transparente y en la cual se encuentran partículas coloreadas de pigmento, es decir, de substancia colorante. La luz que llega sobre el papel impreso atraviesa la capa de tinta, incide sobre la superficie blanca del papel es difundida por este y vuelve a atravesar la capa de tinta. De este modo su coloración se presenta doblemente intensa, porque la luz incidente es filtrada dos veces: al incidir y después de ser difundida.

Si cortamos una hoja de papel impresa

en varios colores descubrimos que son las tintas depositadas sobre ella las responsables de la coloración de la luz incidente. El papel es blanco y de no estar cubierto de tinta difundiría la luz sin atenuar ninguna radiación. Bajo esta teoría se puede imaginar a la hoja impresa en colores como una pantalla blanca sobre la que se ha superpuesto un filtro coloreado que la luz atraviesa dos veces.

El color de las tintas depende, por ello, de las propiedades absorbentes que poseen en sus pigmentos.

SUPERPOSICIÓN DE LOS COLORES

La luz de la bombilla (S) es blanca y en consecuencia contiene todos los colores del espectro visible (S_1), cuyo diagrama de composición de luz ha sido representado inmediatamente encima de él. Al incidir sobre la pantalla amarilla (a), la luz es difundida con un espectro, representado por S_2 , que contiene solamente rojo, naranja y amarillo y un poco de verde, porque los

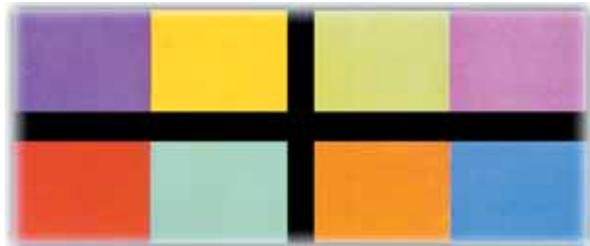


Síntesis aditiva

otros colores ya fueron absorbidos. El diagrama de composición de la luz difundida (I_a) está representado debajo del espectro S_2 .

Haciendo incidir luz blanca sobre un filtro azul, (F) éste deja pasar apenas el

verde, el azul y el violeta (diagrama I_f); pero como en la luz difundida por la pantalla (a) solo hay rojo, amarillo, naranja y verde, solo este último color -el verde- conseguirá atravesarlo, tal como se aprecia en el espectro S_3 . El diagrama obtenido, I_r es una composición de los diagramas I_a e I_f . De esta forma un observador situado frente al filtro verá solamente luz verde, que es la única que consigue superar los procesos de difusión y filtración.



LA SÍNTESIS SUBSTRACTIVA

Otro experimento interesante es observar lo que ocurre cuando se hace incidir sobre una superficie coloreada, o cuando se hace atravesar un filtro, una luz de la que ya fueron retirados algunos componentes.

Tenemos, por ejemplo, el supuesto de iluminar una pantalla amarilla, para luego observarla a través de un filtro azul. El resultado final será el siguiente: la tela amarilla, observada a través de un filtro azul, parecerá verde.

La explicación es que la luz blanca experimentó dos sustracciones: al incidir sobre la pantalla amarilla perdió parte de las radiaciones, mientras que otra parte de ellas fue absorbida por el filtro, quedando de la luz original, al llegar al ojo humano, lo que produce la sensación correspondiente al color verde.

Esta forma de colorear la luz blanca, mediante sustracciones sucesivas de color, recibe el nombre de **síntesis sustractiva**. **Síntesis** porque tuvo lugar la combinación de dos agentes colorantes; **substractiva**, porque cada uno de los dos sustrajo, sucesivamente, parte de la luz incidente.

LOS COLORES COMPLEMENTARIOS

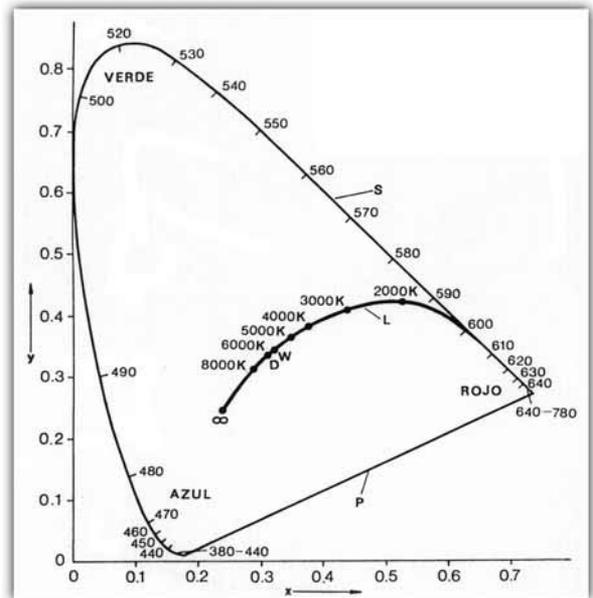
El espectro del anaranjado muestra que ese color posee apenas la parte del espectro de la luz blanca correspondiente a la franja que va del amarillo al rojo. El espectro del azul, por su parte, sólo contiene la parte que va del verde al violeta. Como los colores que se encuentran presentes en uno de los dos espectros no figuran en el otro, una composición de ambos dará el espectro de la luz blanca. Dos colores que cumplen esos requisitos se denominan complementarios ya que ambos forman la luz blanca. Esto ocurre con el azul y el anaranjado.

Por definición los colores complementarios son aquellos que al ser combinados dan luz blanca.

De tal forma que observando un color cualquiera a través de un filtro del color que lo complementa, no se verá luz alguna: el primer color es el resultado de substracción hecha al espectro de la luz blanca y el filtro se encarga de retirar de dicho espectro remanente todos los colores que le quedaban. Es por la misma razón que al observar a través de filtros coloreados todos los colores del espectro del blanco, se nota que los complementarios de cada filtro aparecen negros, siendo consecuencia de la síntesis subtractiva de los colores complementarios.

Si en vez de negros apareciesen nada más que oscurecidos querría decir que los dos colores, el impreso y el del filtro, o no son complementarios o no están completamente saturados, es decir, que se encuen-

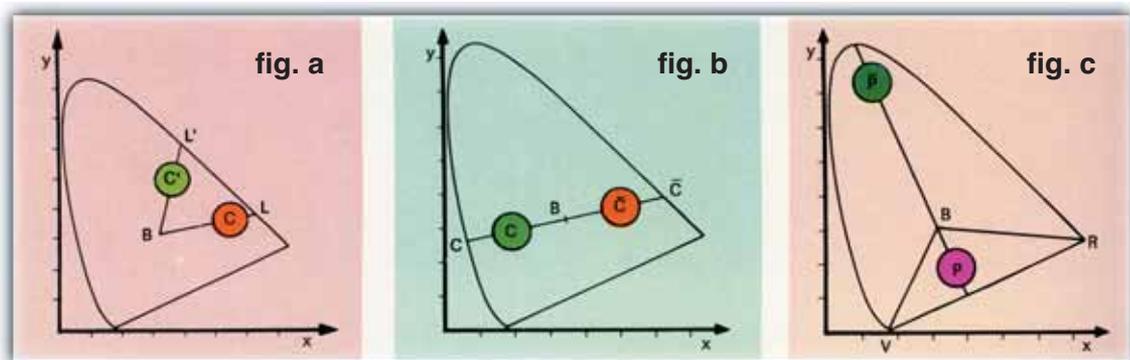
tran mezclados con blanco y por lo tanto, difunden también un poco de todas las demás radiaciones.



Es posible sumar los colores de otra manera y es proyectando sobre una pantalla dos haces de luz de colores diferentes, por ejemplo, azul y naranja. Esta forma de proceder, sumando colores, se denomina síntesis aditiva, porque produce una luz que es la suma de aquellas que fueron superpuestas.

La síntesis aditiva de colores complementarios produce invariablemente luz blanca, cuestión que puede fácilmente verificarse uniendo la luz de dos proyectores provistos de filtros cuyos colores sean complementarios.

LA SÍNTESIS ADITIVA



Colocando frente a un proyector de luz blanca un filtro azul y haciendo incidir sobre una pantalla la luz así obtenida se verá que esta es azul.

Haciendo lo mismo con otro proyector y esta vez con filtro anaranjado, la luz conseguida será anaranjada.

Pero si interceptamos parte de los dos haces de luz se observará que en la zona de superposición se forma luz blanca: Es que en la zona de la pantalla que difunde la luz proveniente de los dos proyectores tuvo lugar una síntesis aditiva. La pantalla difunde simultáneamente, en esa zona, las radiaciones correspondientes a todos los colores del espectro, indicando así que dos luces coloreadas son complementarias.

El mismo experimento, realizado con todos los otros colores complementarios da invariablemente el mismo resultado.

Otros colores complementarios

Violeta y amarillo, rojo y verde azulado, verde y magenta, anaranjado y azul, son pares de colores complementarios, siendo importante su estudio para la decoración, la química de los colorantes y en otros muchos campos.

Resumiendo:

MEZCLA DE COLORES: \bar{P} .

Generalmente los colores que aparecen ante nuestra vista no son los que presenta el espectro visible, más bien en cada caso son una resultante de la mezcla de distintos colores que puede tener lugar de dos formas distintas y que a una de ellas se llama mezcla de colores "aditiva" y a la otra, mezcla de colores "substractiva".

En el primer caso se suman los colores

mezclados y el color mixto obtenido es siempre más claro que cualquiera de sus componentes. Como recordatorio pensemos en la luz blanca, resultado de la mezcla aditiva de colores complementarios.

En la mezcla substractiva se restan los colores y el color mixto obtenido es siempre más oscuro que cualquiera de los intervinientes.

Cuando en la mezcla se emplean dos colores se llama dicromática y tricromática si son tres.

TRIÁNGULO CROMÁTICO

Se da la circunstancia de que el color no produce la misma sensación en los órganos visuales de todas las personas y con el fin de crear un denominador común se recurrió a un sistema donde los colores se pueden representar de una forma objetiva y matemática por medio de coordenadas cromáticas. Así se obtuvo el triángulo cromático aprobado por la Comisión Internacional del Alumbrado, en adelante CIE:

En el sistema CIE 1931 (publicación número 15, 1971) la cromaticidad de la luz se establece en función de las coordenadas x e y y del diagrama de cromaticidad CIE 1931 (ver figura).

Estas coordenadas cromáticas se calculan a partir de la distribución espectral del flujo radiante emitido por la fuente de luz.

Los puntos representativos de todos los colores están dentro del área limitada por el lugar espectral (S) que es una línea continua que une los puntos que representan la cromaticidad de los colores espectrales y por la línea (P) que une los extremos del lugar espectral.

El punto W indica el blanco equienergético.

EL CONTROL DE LA LUZ

tico de coordenadas $x = 0.33$, $y = 0.33$, que representa el punto de cromaticidad del espectro de igual energía.

El punto **D** indica el iluminante patrón CIE D_{65} representante de la luz de día media.

El lugar de la cromaticidad del cuerpo negro en el diagrama xy se conoce como lugar Planckiano (**L**).

Cualquier color puede obtenerse, por lo menos de manera aproximada, de la combinación de los tres colores primarios adoptados por la CIE. La proporción en que los colores primarios entran en la formación de un color determinado se expresa mediante tres números, llamados valores triestímulos de ese color. El gráfico que hemos visto se consigue representado los valores triestímulos y es el lugar geométrico de todos los puntos que significan colores.

LA SATURACIÓN DE LOS COLORES

Todo color, que no esté sobre el contorno

del diagrama, no es saturado (como ocurre con **C** y **C'** en la figura a). La longitud de onda dominante en cada uno de ellos se puede saber prolongando el segmento que une el punto blanco (**B**) con el punto que representa al color en cuestión, hasta que la prolongación corte el contorno del diagrama. El color así determinado (como **L** ó **L'**) será el dominante. La saturación del color **C**, por ejemplo, está dada por la relación BC/BL . Cuanto más próximo esté el punto representativo del color a la periferia del diagrama, tanto más saturado será dicho color.

Para encontrar el color complementario de otro dado, **C** (figura b) se une el punto correspondiente al blanco (**B**) y se prolonga el segmento así obtenido (**CB**). El color opuesto a **C** que se halle sobre la prolongación del segmento y que tenga la misma saturación (**C**) será el complementario de (**C**).

En el diagrama de cromaticidad hay un segmento, recta **VR** (figura c), cuyos puntos no están asociados a longitudes de on-

das espectrales. Los colores que corresponden a puntos interiores al triángulo **VBR** no se pueden especificar directamente por medio de una longitud de onda: se les llama **magenta**, **ciano** ó **púrpura**. Sin embargo lo que sí se puede es establecer una correspondencia indirecta entre estos colores y las longitudes de onda de colores espectrales. Así, por ejemplo, el color púrpura, representado por el punto **P** (figura c) tiene un complementario que es **P**. Esos dos colores cuando se combinan forman el blanco lo que significa que en **P** hay componentes cromáticos que **P** no tiene y por ese motivo se acostumbra denominar al color magenta **P**, color **menos verde**, y se le identifica especificando la longitud de onda del color verde que "le falta" para formar el blanco.



INFLUENCIA PSICOFISIOLÓGICA DEL COLOR

Es conocido el hecho de que el color del medio ambiente puede afectarnos, es decir, que influye notablemente en nuestro estado de ánimo de ahí que en un estudio avanzado de cualquier trabajo sobre arquitectura o decoración se cuiden los detalles que afectan al color.

Aunque no hay reglas fijas en el establecimiento del color adecuado, pues influyen muchos factores, si se pueden considerar una serie de experiencias donde se ha verificado fehacientemente esta influencia del color en el individuo.

Así podemos hablar de sensaciones de frío y calor en determinados ambientes y por ello podemos hablar de "colores cálidos" y "colores fríos".

Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso y los fríos desde el verde al azul.

Considerando que un color será más cálido o más frío según sea su tendencia hacia el rojo o el azul, respectivamente.

Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de recogimiento, de aproximación, mientras que los colores fríos calman, relajan y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

También se ha observado que los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

Se desprende de todo lo anterior la importancia que tiene conocer el espectro de las fuentes de luz que estemos proyectando, pues se pueden producir sorpresas no deseadas.

FACTORES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA POR INFLUIR DIRECTAMENTE EN LA VISIÓN.

La luz es necesaria para convivir.

Sin ella no tenemos estímulos en nuestros ojos y en consecuencia no podemos interpretar lo que nos rodea.

Pero esta luz debe llegarnos en unos niveles apropiados porque en la percepción visual de los objetos influyen los siguientes factores:

- **Un nivel adecuado de iluminación**
- **Un nivel idóneo de contraste**
- **Un control de las sombras**
- **Del deslumbramiento y**
- **Del nivel cromático**

Todos son importantes y están interrelacionados.

NIVEL DE ILUMINACIÓN

Se han llevado a cabo análisis estadísticos sobre una población lo suficientemente amplia como para establecer unos valores mínimos para iluminar distintos ambientes, donde realizar diversas actividades teniendo en cuenta factores como el tamaño de los detalles a captar, distancia entre el ojo y el objeto observado, factor de reflexión del objeto deseado, contraste, tiempo empleado en la observación y finalmente la rapidez de movimiento del objeto observado.

De todos estos factores la edad significa un gran determinante del nivel de iluminación necesario y por ello existen tablas donde se relacionan los años con el nivel de iluminación (pág. 46).

Con el fin de disponer de más información sobre los niveles de iluminación mínimos que marca la Norma DIN 5.035 para áreas de trabajo se detalla a continuación un extracto de ese valor para diferentes ambientes.

<u>ÁREAS DE TRABAJO</u>	<u>NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)</u>
-------------------------	-------------------------------------

AMBIENTES GENERALES

• Corredores y zonas de tránsito	100
• Almacenes y depósitos	120
• Apartaderos y depósitos	30
• Garajes	60
• Vestuarios, lavabos, duchas, WC	120
• Embalajes y expediciones	250

ASCENSORES

• Interior	300
• Rellano	50

AUDITORIUMS

• Cines	60
• Teatros y salas de conciertos	120
• Salas multiuso	250

BIBLIOTECAS

• Estanterías	200
• Mesas de lectura	500
• Bancos, catalogación y clasificación	300

<u>ÁREAS DE TRABAJO</u>	<u>NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)</u>
-------------------------	-------------------------------------

ESCUELAS

• Aula de dibujo	500
• Laboratorios	500
• Biblioteca	500
• Aulas en general	250
• Pizarras	300
• Gimnasio interior	150
• Auditorio	250
• Duchas y servicios muy frecuentados	120



EXPOSICIONES

- Museos y Galerías de arte 250
- Pabellones y ferias 500

FUNDICIONES

- Vasos de fundición 200
- Mezcla basta 300
- Mezcla fina, control 500

FUNDICIONES DE ACERO

- Instalaciones de producción sin intervención manual 100
- Instalaciones de producción con intervención manual 150
- Puestos de trabajo ocupados permanentemente 300
- Puestos de prueba y control 500

GASTRONOMÍA

- Habitaciones de hotel 120
- Restaurantes, comedores 120
- Vestíbulos, restaurantes con autoservicio 250
- Cocinas de hotel 500

GARAJES

- Parkings 100
- Reparaciones 200

HOGAR

- Escaleras 30
- Cocinas, cuartos de plancha 250

ÁREAS DE TRABAJO

NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)

HOGAR

- Costura 750
- Lectura 500
- Baños y tocadores 120
- Comedor 200
- Sala de estar 150
- Dormitorios 120
- Lavadero 100

HOSPITALES

• Inspección ocular	5000
• Quirófanos	1000
• Tratamientos de urgencia	1000
• Visita médica	300
• Comedores	300
• Sala de espera	150
• Habitación de enfermos	100

IGLESIAS

• Nave de iglesia	60
• Coro, altar, púlpito	120

INDUSTRIA ALIMENTARIA

• Areas de trabajo genéricas	300
• Procesos automáticos	200

INDUSTRIA DE LA CERÁMICA

• Sala de hornos	150
------------------------	-----

INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN

• Costura	750
• Control	1000
• Planchado	500

INDUSTRIA DEL CUERO

• Conformación	300
• Acabado	750
• Coloreado, decoración	1000

ÁREAS DE TRABAJO

NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)

INDUSTRIA DEL CEMENTO

• Molido, hornos, procesos automáticos	150
--	-----

INDUSTRIA DEL VIDRIO

• Sala de mezcla y conformación	300
• Acabado, esmaltado, abrillantado	500
• Coloreado, decoración	750
• Amoladura de vidrios de óptica, de cristal	1000

INDUSTRIA ELÉCTRICA

• Fabricación de cables	250
-------------------------------	-----

- Montaje aparatos telefónicos 500
- Enrollamiento de bobinas 750
- Montaje de aparatos de radio y TV 1000
- Montaje de partes de alta precisión 1500

INDUSTRIA QUÍMICA

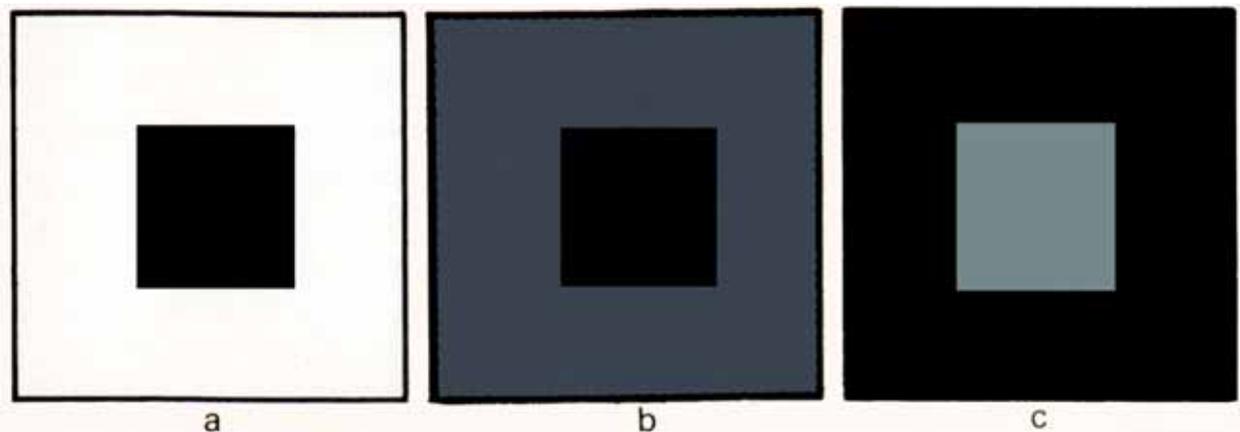
- Procesos automáticos 100
- Instalaciones de producción con intervenciones ocasionales 150
- Areas generales internas de la instalación 300
- Salas de control, laboratorios 500
- Control 1000
- Control color 1000

INDUSTRIA TEXTIL

- Apertura de balas, cardado, planchado 250
- Hilado 500
- Encanillado, bobinado 500
- Peinado, tinte, hilado, torcido, tejido 750

OFICINA Y ADMINISTRACIÓN

250	• Trabajos livianos	500	• Trabajos normales
250	• Cajas y ventanillas	1000	• Dibujo técnico
250	• Salas de reunión	1000	• Oficinas diáfanas



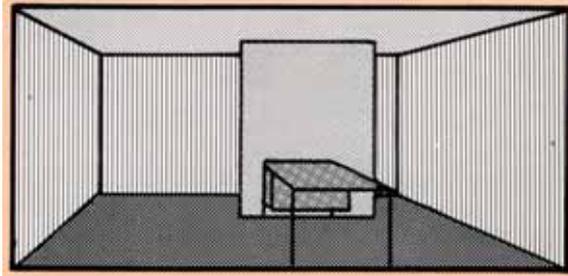
Ejemplos de contrastes

• Mecanografía

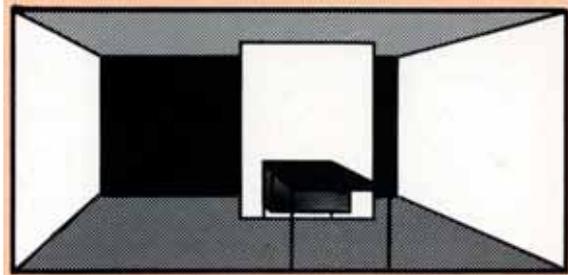
1000

**ÁREAS DE TRABAJO
NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)**

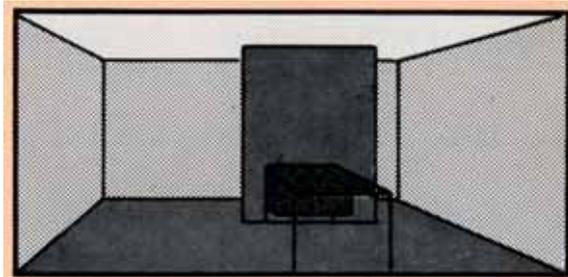
OFICINA Y ADMINISTRACIÓN



A Contraste debil



B Contraste equilibrado



C Contraste fuerte

• Laboratorios

500

PAPELERAS

• Fabricación de papel y cartón

300

• Control, clasificación

500

PELUQUERÍAS

• Secadores

1000



Sombras suaves



Sombras fuertes

• Maquillaje

1000

• Peinado

1000

• Salón de afeitarse

500

• Corte y lavado

500

SALAS DE MONTAJE

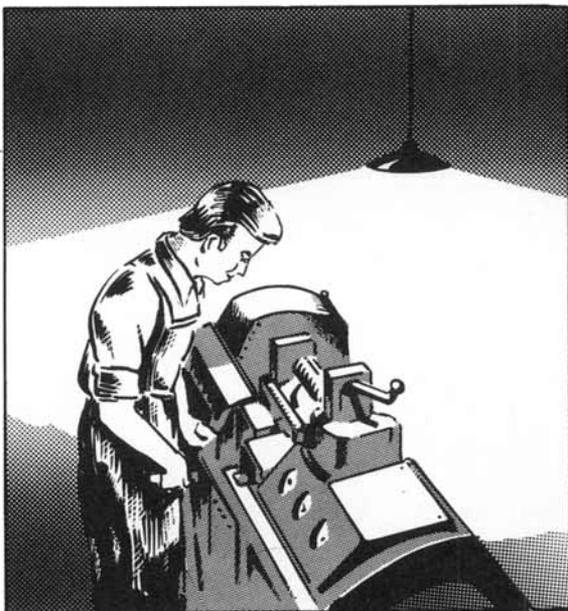
- Ensamblaje basto, montaje grandes máquinas 300
- Montaje cuerpo de vehículos, motores 500
- Ensamblaje fino 750
- Ensamblaje de precisión 1500

TIENDAS Y SUPERMERCADOS

- Alumbrado general de grandes centros comerciales 500
- Alumbrado general de tiendas 500

TIPOGRAFÍAS Y ENCUADERNACIÓN

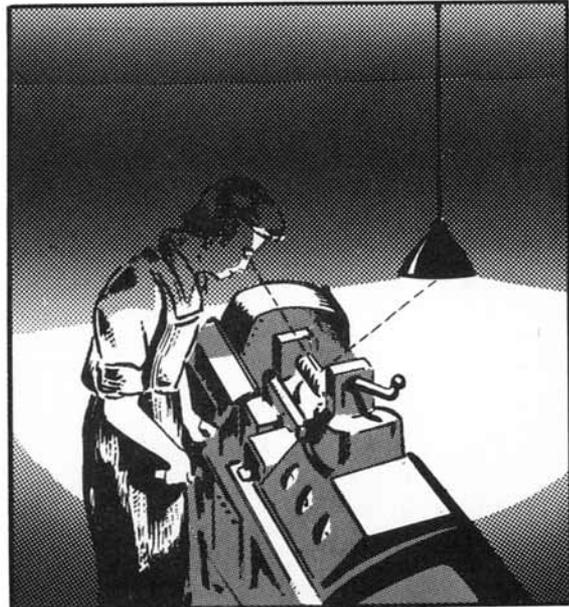
- Sala tipográfica 500
- Sala de composición, corrección de galeradas 500



Luz directa

- Corrección de galeradas de precisión 1000

- Reproducción e impresión en color 1500
- Encuadernación 1500



Luz reflejada

- Acabado, impresión en seco 750

TRABAJOS EN MÁQUINA Y CON EQUIPOS

- Trabajo ocasional 200
- Trabajo basto en banco y máquina 300
- Soldado 300
- Trabajo medio en banco y máquina 500
- Trabajo fino en banco y máquina 500

ÁREAS DE TRABAJO NIVELES DE ILUMINACIÓN (LUX)

TRABAJOS EN MÁQUINA Y CON EQUIPOS

- Máquinas automáticas de pre-

cisión	750
	• Trabajo automático de precisión
750	
	• Trabajo de alta precisión
1500	
	• Comprobación y control de pequeñas partes complicadas
1500	

NIVEL IDÓNEO DE CONTRASTE

Realmente el ojo aprecia diferencias de luminancias. A esto se le llama contraste, o sea la diferencia de luminancia entre el objeto observado y su espacio inmediato. Se comprende que los trabajos de gran precisión necesiten una gran agudeza visual y consecuentemente un gran contraste.

En estos ejemplos podemos verificar que el primero presenta un contraste que permite distinguir la figura central. En el segundo y tercero existe mayor dificultad. Jugando bien con los grados de reflexión de las superficies de una habitación conseguimos una armonía entre la luminancia de las distintas paredes, alcanzándose un contraste fácil de distinguir. Se obtienen las mejores condiciones visuales cuando existe una relación lógica entre la luminancia que tiene el objeto visual y las superficies que lo rodean.

CONTROL DE LAS SOMBRAS

Las sombras permiten apreciar el relieve de los objetos y son el resultado de una diferencia de luminancia entre zonas. Existen dos clases de sombras: fuertes y suaves.

Las primeras aparecen cuando se ilumina fuertemente un objeto y desde una sola dirección. El resultado puede ser una imagen de profunda oscuridad y dureza. Las sombras suaves se producen cuando se ilumina de una forma uniforme el objeto no dando excesiva sensación de relieve.

MODELADO.

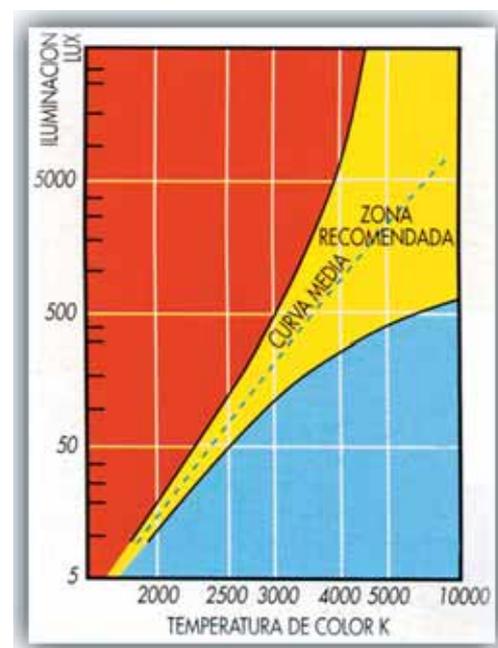
Existe una clara mejoría en la apariencia general de un local cuando sus contornos

estructurales, los ocupantes del mismo y los objetos que lo integran se iluminan de manera que las formas y texturas destacan nítida y agradablemente. Para conseguirlo el alumbrado no debe ser demasiado direccional para evitar la formación de sombras duras y ásperas, como ya se ha comentado, ni tampoco incurrir en el otro extremo, es decir, abusar de la iluminación excesivamente difusa ya que se perdería totalmente la sensación de relieve.

La experiencia demuestra que con control directo del brillo por medio de la luz direccional, descendente y concentrada se suelen crear profundas sombras a la altura de las cejas y sobre las facciones de la cara o profundas y dramáticas sombras sobre la tarea visual. Pero si recurrimos a una iluminación general, como la creada por techos luminosos y además abusamos de la luz indirecta conseguiremos bajo deslumbramiento pero a costa de una iluminación plana, monótona que genera imágenes planas con poca modelación. Hemos descrito dos situaciones extremas que deben evitarse, dentro de lo posible.

CONTROL DEL DESLUMBRAMIENTO.

La mejor forma de definir el deslumbramiento es considerarlo como una saturación



ábaco de Krüitoff

ción de luz en la retina, que produce una insensibilización momentánea de esta, recu-

perándose con posterioridad, después de un tiempo.

El deslumbramiento puede ser directo y como ejemplo el producido por la contemplación de la fuente de luz, por encontrarse esta en el campo visual. O indirecto el recibido por la incidencia de la luz en alguna superficie muy reflexiva.

El valor máximo que admite el órgano visual en gestión directa es de 7.500 cd/m².

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESLUMBRAMIENTO:

- La luminancia de la fuente de luz o de las superficies que reflejan la luz, de tal forma que existe una proporcionalidad directa entre el valor de estas.
- Las dimensiones de la fuente de luz en función del ángulo subtendido por el ojo a partir

de los 45° con respecto a la vertical ya que un área grande, aunque sea de baja luminancia, puede producir el mismo deslumbramiento que una fuente pequeña de mayor luminancia.

- La distancia del ojo a la fuente perturbadora ya que disminuye la molestia como también disminuye a medida que la fuente de luz queda por encima del ángulo visual normal.
- El fuerte contraste puede ser causa de deslumbramiento.
- El tiempo de permanencia en ese ambiente ya que hasta una luminancia de bajo valor puede llegar a ser molesta si el tiempo de exposición a ella es largo. Y es que lo poco agrada y...

y el fondo 20:1

Máxima relación de luminancia en el campo visual 4:1

EL CONTROL DEL NIVEL CROMATICO

Temperatura de color y rendimiento en color.

Las calidades cromáticas de una lámpara se caracterizan por dos cualidades diferentes.

- Su apariencia de color que puede estar dada por su temperatura de color.
- Su capacidad de rendimiento en color, que afecta al aspecto cromático de los objetos iluminados por la lámpara.

Fuentes de luz de igual apariencia de color pueden tener una composición espectral completamente distinta y, por consiguiente, presentar grandes diferencias de discriminación cromática. Por eso es muy difícil sacar ninguna conclusión con relación a las propiedades de rendimiento de color que tiene una lámpara conociendo sólo su apariencia de color.

Apariencia de color

¿Qué es?

Las fuentes de luz blancas pueden subdividirse en tres grupos según su apariencia de color (temperatura de color correlacionada).

RELACIONES MÁXIMAS DE LUMINANCIA ADMISIBLES EN EL CAMPO VISUAL DEL OBSERVADOR, ENCAMINADAS A EVITAR EL DESLUMBRAMIENTO:

Entre la tarea visual y la superficie de trabajo 3:1

Entre la tarea visual y el espacio que nos rodea 10:1

Entre la fuente de luz



TEMPERATURA DE COLOR CORRELACIONADA

APARIENCIA DE COLOR

- >5.000 °K Fría (blanca azulada)
- 3.300-5.000 °K Intermedia (blanca)
- <3.300 °K Cálida (blanca rojiza)

Para que un alumbrado sea de buena calidad ha de existir una relación entre la temperatura de color de las fuentes de luz utilizadas y el nivel de iluminación de la instalación. La experiencia demuestra que al aumentar el valor de iluminancia la temperatura de color de las fuentes de luz debe también aumentar, es decir, a mayor iluminancia el color de la fuente de luz debe tener mayor "blancura".



A continuación aparece el **ábaco de Krüitoff** que fue quien postuló esta teoría basada en la observación.

Y en la tabla que se reproduce a continuación se presentan las impresiones obtenidas asociadas a diferentes niveles de iluminancia y colores de tubos fluorescentes.

APARIENCIA DEL COLOR DE LA LUZ

ILUMINANCIA (LUX) INTERMEDIA	CÁLIDA FRÍA
≤ 500 ble fría	agrada- neutra
500-1.000	
1.000-2.000 lante ble	estimu- agrada- neutra
2.000-3.000 ≥ 3.000 ral lante ble	no natu- estimu- agrada- ble

El calor de la luz

Al hablar de luz fría estamos definiendo

Grupo rendimiento en color	Índice de rendimiento en color R_a	Apariencia de color	Aplicaciones
1	$R_a \geq 85$	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	$70 \leq R_a < 85$	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas cálidos)
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas templados)
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos (en climas fríos)
3	Lámparas con $R_a < 70$ pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

una sensación puramente subjetiva que nos produce su observación.

Lo mismo si la consideramos cálida.

Una luz es fría si predominan en su espectro o en su emisión tonos fríos como el blanco azulado.

Es cálida si esos tonos son rojizos.

Temperatura de color.

Temperatura a la que hay que poner el cuerpo negro para que este emita la misma tonalidad de luz que la lámpara que estamos observando.

Para no olvidar la forma con que se valora (grados Kelvin), recordemos que los grados Kelvin son una medida de temperatura, que esta es una unidad fundamental como ya vimos y que si un trozo de carbón se enciende en una fragua pasa, en función del calor que le aportemos, del rojo cereza, tono cálido, baja temperatura de color (pocos grados), al casi blanco, tono frío, alta temperatura de color (mayor nivel de grados).

Resumen aclaratorio sobre la temperatura del color:

En la naturaleza hay colores cálidos y colores fríos

La luz también puede tener tonos cálidos y tonos fríos

—¿Con qué sistema se miden esos valores?

—Con la ayuda objetiva del triángulo cromático.

—¿Con qué unidad?

—°K (grados kelvin)

Ejemplo de luz cálida: 2700 °K

Ejemplo de luz fría: 6000 °K

Rendimiento en color. El color de la luz

Existen muchas definiciones pero quizá la que mejor se entiende es:

"La capacidad de la fuente de luz de reproducir fielmente los colores iluminados por ella"

El máximo valor teórico del índice de rendimiento cromático es 100 (correspondiente a la luz natural o el correspondiente a la iluminación incandescente). Algunos autores también lo identifican como IRC.

Índice de reproducción cromática Ra

Así también se le denomina al índice de rendimiento cromático.

ANECDOTARIO

Con el fin de aclarar los dos conceptos o mejor dicho, identificarlos en una fuente de luz, vamos a adelantarnos un poco en lo que veremos en próximas entregas de este MUNDO DE LA ILUMINACION poniendo de manifiesto lo que define un tubo fluorescente.

Démonos cuenta del contenido mnemotécnico de cualquiera de las cifras que figuran en la serigrafía de un tubo, por ejemplo, TL 36/840: 1ª cifra: potencia, 36 vatios, 2ª cifra, rendimiento en color 8 (Ra = 80, 85), 3ª cifra, temperatura del color 40 (4.000 °K).

Resumen aclaratorio sobre el rendimiento cromático

Es la facultad de una fuente de luz de reproducir " fielmente " los colores de los objetos por ella iluminados.

Valor patrón del rendimiento cromático: 100

Rendimiento cromático de la luz del sol: 100

Rendimiento cromático de la bombilla incandescente: 100

Rendimiento cromático de un tubo fluorescente estándar: 65

Rendimiento cromático del tubo fluorescente trifósforo gama 80: 85

Rendimiento cromático del tubo fluorescente trifósforo gama 90:90

Breve consejo para acertar con la tonalidad según los ambientes.

En general en lugares donde predominan los tonos cálidos en la decoración, utilizaremos fuentes de luz con tonos cálidos.

Si predominan los tonos fríos actuaremos a la inversa.

Hay que tener en cuenta que la elección de los tonos del color de la decoración ha sido anterior a la fase de iluminación y ese criterio es el que debe predominar.

Para fines prácticos se ha propuesto clasificar las características de rendimiento cromático en cuatro grupo, según CIE.

Recomendaciones

Conviene, al seleccionar una fuente de luz para un determinado ambiente, que su índice de rendimiento en color se ajuste a las recomendaciones dadas en la tabla anterior.

Debemos ser capaces de distinguir entre la apariencia en color y las propiedades de rendimiento en color de las fuentes de luz. Podemos definir la primera como "fría", "intermedia" y "cálida", pero esta clasificación no es precisamente una guía para determinar sus propiedades de rendimiento en color y como existe cierta relación entre la eficacia de una lámpara y sus propiedades de rendimiento en color es conveniente utilizar el criterio de pensar en un término medio entre los dos aspectos.

Luz y color en interiores

Otro aspecto del color, para que influya en el confort visual y en el acabado de un local, es el planteamiento del nivel del mismo elegido para sus superficies. En general para lograr una alta eficiencia del alumbrado deberán escogerse colores tendentes a claros para las zonas principales debiéndose considerar que para la mayor o menor claridad no puede solo estimarse su poder de reflexión ya que un color blanco no refle-

jará mucho más del 80% de la luz incidente, un color claro aproximadamente el 50%, un color medio del 30 al 50% y un color oscuro menos del 10%.

Para obtener los mejores resultados, los materiales y los colores deberán elegirse bajo la misma luz o muy parecida a la prevista para el ambiente que estemos preparando. Conviene tener presente que:

- La temperatura de color y el índice de rendimiento cromático de una fuente de luz dan información diferente sobre las propiedades cromáticas de la misma.
- Cuando se iluminan superficies coloreadas actúan a su vez como fuentes secundarias de luz coloreada, generando, posiblemente, otros colores.
- Aún cuando la preferencia por los colores varía con la personalidad, edad, sexo, clima y grupo étnico, es posible formular algunas reglas generales a este respecto sobre su implantación en las superficies y la apariencia de color de las fuentes de luz.
- Los objetos con colores cálidos son más agradables a la vista con una luz cálida que con una fría. De forma inversa, la ausencia de radiaciones de longitud de onda corta en las fuentes de luz cálidas tiende a matar los colores fríos de los objetos. Es conocido el hecho de que los colores de los alimentos se ven más favorecidos cuando se les ilumina con luz cálida que si lo hacemos con luz fría.
- Ambientes físicamente fríos o calientes pueden ser contrarrestados mediante luz cálida o fría, respectivamente.
- Las mejores fuentes de luz para ambientes variables o indefinidos son las de temperatura de color intermedia.
- Algunos colores saturados, cuando constituyen o forman una parte importante de la ambientación visual durante largos periodos, pueden llegar a te-

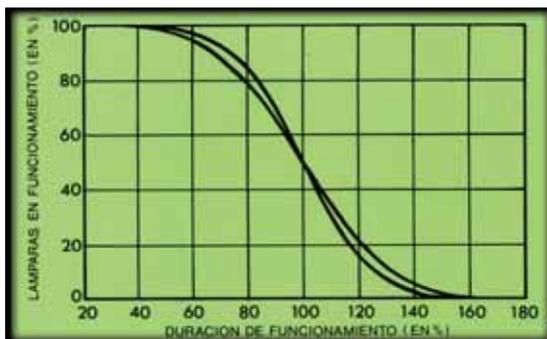


ner una influencia indeseable en el organismo humano. Esta puede ser la razón de que los colores preferidos para fondos (suelos, paredes, techos y grandes objetos en el campo inmediato de visión) son colores con poco colorido muy parecidos a los colores de la naturaleza o de la tierra como por ejemplo el marrón, el ocre o incluso el blanco para el techo.

- Los colores preferidos para las superficies de los objetos son aquellos que tienen un elevado grado de saturación, siempre y cuando no llenen de manera permanente la mayor parte de la visión (mesas, máquinas, etc.).
- Recordemos, como regla general, que la saturación de un color deberá ser inversamente proporcional a la parte que ocupe en el campo normal de visión, tanto en área como en tiempo.

Equipos agrupados

Si analizamos individualmente una luminaria la evaluaremos en función de su forma, color y grado de sofisticación. Si esta evaluación individual se traslada al resto de luminarias que integran la instalación curiosamente cualquier defecto descubierto en una de ellas se supone presente en todas las demás.



Las luminarias se perciben invariablemente como constitutivas de un grupo cuya forma puede acentuar o no la estructura del espacio.

En el primer caso (visión a corta distancia), apreciamos las cualidades mencionadas al principio, mientras que el segundo caso (visión a larga distancia) la forma general y el color de cada una será visible, pero la impresión que recibiremos nos la proporcionará la contemplación del alumbrado general.

Individual y colectivamente, tanto apagadas como encendidas, deben constituir elementos que armonicen con el ambiente.

Las leyes "gestálticas"

Se ha verificado científicamente que el organismo humano percibe un conjunto ordenado (cuyos elementos están dispuestos según unas reglas dadas) no como un mero añadido de las partes que lo constituyen, sino como una única entidad compleja en que los diversos elementos están tan integrados entre sí que no es posible su descomposición sin que se pierdan aspectos inherentes al propio conjunto.

Por ello y basándose en estudios de psicología, se formularon tres leyes que pueden resultar interesantes para un mayor dominio del diseño de las instalaciones de iluminación:

- La ley de contigüidad
- La ley de similaridad
- La ley de continuidad

La ley de contigüidad viene a decir que los objetos situados muy cerca unos de otros son percibidos como unos solo y en el caso de las luminarias si están muy juntas conviene que se complementen con otros elementos de la decoración.

La ley de similaridad determina qué formas o colocaciones similares son inmediatamente reconocidas e interpretadas como grupos.

La interpretación, a efectos prácticos, es evitar la existencia en la misma superficie



¡Adios, amigos!
Hasta la próxima...