



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR



INSTITUTO PEDAGOGICO DE BARQUISIMETO

“LUIS BELTRAN PRIETO FIGUEROA”

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE FISICA

**DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE PLANCK MEDIANTE
DIODOS EMISORES DE LUZ.**

Autores:

Escobar Patricia

Márquez Fralismar

Tutores:

González Juan

Díaz Cruz

Durán Julio C

Barquisimeto, Febrero 2012

INTRODUCCIÓN

La constante de Planck es uno de los números más importantes del universo al alcance del conocimiento humano. Su trascendencia real a nivel físico y filosófico aún no se conoce completamente. La constante de Planck, simbolizada con la letra h (o bien $\hbar=h/2\pi$, en cuyo caso se conoce como constante reducida de Planck), es una constante física que representa al cuanto elemental de acción. Es la relación entre la cantidad de energía y de frecuencia asociadas a un cuanto o a una partícula. Desempeña un papel central en la teoría de la mecánica cuántica y recibe su nombre de su descubridor, Max Planck, uno de los padres de dicha teoría.

De acuerdo con el procedimiento experimental que se sigue, para determinar la constante de Planck, h , se empleará la ecuación $E = hv$, donde v , es la frecuencia de la luz emitida por el correspondiente diodo y donde E es la energía del fotón emitido que, a su vez, es igual al salto entre los dos niveles energéticos del diodo e igual a eV_g , que es el trabajo necesario para que un electrón salve el salto energético, W_g , siendo V_g la diferencia de potencial que hay que aplicar para conseguirlo y $e = 1,60217653(14) \times 10^{-19}$ C es la carga elemental (la carga del electrón cambiada de signo).

Por tanto, si se consigue medir la diferencia de potencial para un salto energético que emite luz de frecuencia conocida, se podrá determinar h . Utilizando varias fuentes de luz, diodos emisores de luz en este caso, midiendo V_{gi} y v_i para cada uno de ellos se podrá determinar h con mayor precisión.

ANTECEDENTES E HISTORIA

En 1900, el físico alemán Max Planck (1858-1947) trató de modelar el espectro de radiación electromagnética emitida por una cálida (o caliente) del cuerpo. Esta radiación del cuerpo negro es lo que se ve que viene del sol, el filamento de una bombilla de incandescencia, o un elemento caliente (estufa eléctrica).

Con el fin de realizar las observaciones de acuerdo con la teoría, Planck tuvo que asumir que la radiación electromagnética se agrupó en la igualdad de bultos discretos de energía que ahora llamamos fotones. Los fotones en cada frecuencia tiene una energía $E = hf$ discreto, donde E es la energía del fotón en julios, f es la frecuencia en Hertz, y la constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js.

En 1905, Albert Einstein explicó los principios fundamentales de la mecánica cuántica detrás de radiación del cuerpo negro y también un fenómeno aún más desconcertante llamado efecto fotoeléctrico en el que la luz ilumina un cátodo de metal en un diodo de vacío provocando la expulsión de electrones. Con las energías cinética determinada por la de la frecuencia de la luz (o equivalentemente, la longitud de onda, que va a utilizar el efecto fotoeléctrico para medir la constante de Planck h con luz moderna diodos emisores de luz (Leds) mediante la medición de la tensión umbral V en voltios y longitud de onda de emisión λ en metros de varios Leds de diferentes colores.

En tanto, el primer led fue desarrollado en 1927 por Oleg Vladimírovich Lósev (1903-1942), sin embargo no se usó en la industria hasta los años sesenta. Solo se podían construir de color rojo, verde y amarillo con poca intensidad de luz y limitaba su utilización a mandos a distancia (controles remotos) y electrodomésticos para marcar el encendido y apagado. A finales del siglo XX se inventaron los Leds ultravioletas y azules, lo que dio paso al desarrollo del led blanco, que es un led de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce una luz amarilla, la mezcla del azul y el amarillo produce una luz blanquecina denominada «luz de luna»

consiguiendo alta luminosidad con lo cual se ha ampliado su utilización en sistemas de iluminación.

FUNDAMENTACION TEORICA

DIODO EMISOR DE LUZ

Un led es un material semiconductor que emite luz. Se usan como guías en numerosos dispositivos, y cada vez con mucha más frecuencia.

Cuando un led se encuentre en polarización directa, los electrones deben estar con los huecos en el dispositivo, y así liberar energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz (correspondiente a la energía del fotón) se establece a partir de la banda de energía del circuito integrado, que por lo general, el espacio de un led es muy pequeña (menor a 1 y 2mm), y se pueden usar dispositivos ópticos integrados para formar su patrón de iluminación.

FUNCIONAMIENTO DE UN LED

Un led es ante todo un semiconductor, como cualquier otro semiconductor, son materiales cuyas partículas están mezclados unos a otros en un arreglo tridimensional repetitivo. Es por eso, que la conexión de los átomos implica principalmente la interacción de sus electrones exteriores. Estos electrones, además de conservar el cristal unido, dan al material sus características ópticas. Cada electrón tiene una energía dentro de un conjunto de valor permitidos (es decir, que el electrón ocupa tal nivel de energía); y el nivel que ocupa un electrón depende de su posición en la estructura electrónica del átomo, de la temperatura, del grado de excitación externa y otros. Agregando energía en cantidades discretas, puede hacerse que los electrones suban de un nivel a otro superior. La luminiscencia resulta de la transferencia de la energía de excitación de un electrón a un fotón, cuando un electrón va de un nivel alto a uno bajo. En los cristales, los niveles de energía aparecen formando bandas de energía consistentes en niveles muy cercanos. Se dice que las bandas están vacías, parcialmente llenas o llenas dependiendo de si ninguno de los estados está ocupado por electrones, algunos de los estados están ocupados por electrones o todos los estados están ocupados, respectivamente. Las bandas están

separadas unas de otras por “bandas prohibidas” de energía. Excepto bajo circunstancias especiales, los electrones del material no pueden tener energías con un valor en el rango prohibido.

Normalmente, la Banda de Conducción (BC) casi no contiene electrones a menos que el cristal tenga impurezas “dadoras” que contribuyan a ello. La banda de valencia (BV) está casi llena con electrones. Tiene algunos estados vacíos (correspondientes a los electrones en la BC), llamados huecos, que pueden actuar como partículas cargadas positivamente. La cantidad de huecos puede aumentarse con la presencia de átomos “aceptores” ajenos, los cuales han aceptado algunos electrones de la banda de valencia dejando estados vacíos (huecos).

Los dadores son elementos que cuentan con una cantidad de electrones de enlace mayor a la necesaria por la red, mientras que los aceptores son elementos con una cantidad de electrones de valencia menor; la adición deliberada de impurezas a un conductor se denomina doping. Los huecos en la banda de valencia y los electrones en la banda de conducción son los únicos portadores de carga en un semiconductor. Si hay más dadores que aceptores, la corriente en el material es conducida por los electrones (cargados negativamente) de la banda de conducción y el material se dice que es de tipo n. Si hay más aceptores que dadores, la corriente es conducida por los huecos (cargados positivamente) y el material es designado como de tipo p. En datos referidos al doping de semiconductores. El nivel de energía mínimo de los electrones movibles otorgados por los dadores suele estar ligeramente por debajo del nivel de separación entre la BC y la banda prohibida; el nivel de energía máximo de los huecos creados por los aceptores suele estar ligeramente sobre la separación entre la banda prohibida y la BV.

CARACTERISTICAS DEL LED

Actualmente los LED tienen diferentes tamaños, formas y colores. Tenemos led redondos, cuadrados, rectangulares, triangulares y con diversas formas.

Los colores básicos son rojo, verde y azul, aunque podemos encontrarlos naranjas, amarillos incluso hay un Led de luz blanca.

Las dimensiones en los LED redondos son 3mm, 5mm, 10mm y uno gigante de 20mm. Los de formas poliédricas suelen tener unas dimensiones aproximadas de 5x5mm. (Ver tabla 1).

COMPOSICIÓN DE LOS LEDS

Led Rojo:

Formado por GaP consiste en una unión p-n obtenida por el método de crecimiento epitaxial del cristal en su fase líquida, en un sustrato. La fuente luminosa está formada por una capa de cristal p junto con un complejo de ZnO, cuya máxima concentración está limitada, por lo que su luminosidad se satura a altas densidades de corriente. Este tipo de Led funciona con baja densidades de corriente ofreciendo una buena luminosidad, utilizándose como dispositivo de visualización en equipos portátiles. El constituido por GaAsP consiste en una capa p obtenida por difusión de Zn durante el crecimiento de un cristal n de GaAsP, formado en un sustrato de GaAs, por el método de crecimiento epitaxial en fase gaseosa. Actualmente se emplea los Led de GaAlAs debido a su mayor luminosidad. El máximo de radiación se halla en la longitud de onda 660 nm.

Led Anaranjado Y Amarillo:

Están compuestos por GaAsP al igual que sus hermanos los rojos pero en este caso para conseguir luz anaranjada y amarilla así como luz de longitud de onda más pequeña, lo que hacemos es ampliar el ancho de la "banda prohibida" mediante el aumento de fósforo en el semiconductor. Su fabricación es la misma que se utiliza para los diodos rojos, por crecimiento epitaxial del cristal en fase gaseosa, la formación de la unión p-n se realiza por difusión de Zn. Como novedad importante en estos Leds se mezcla el área emisora con una trampa isoelectrónica de nitrógeno con el fin de mejorar el rendimiento.

Led Verde:

El Led verde está compuesto por GaP. Se utiliza el método de crecimiento epitaxial del cristal en fase líquida para formar la unión p-n. Al igual que los Leds amarillos, también se utiliza una trampa isoelectrónica de nitrógeno para mejorar el rendimiento. Debido a que este tipo de Led posee una baja probabilidad de transición fotónica, es importante mejorar la cristalinidad de la capa n. La disminución de impurezas a larga la vida de los portadores, mejorando la cristalinidad. Su máxima emisión se consigue en la longitud de onda 555 nm.

Leds Azules:

Para obtener buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa el led; para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1,8 hasta 3,8 voltios aproximadamente (lo que está relacionado con el material de fabricación y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Valores típicos de corriente directa de polarización de un led corriente están comprendidos entre los 10 y los 40 mA. En general, los leds suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos). El primer led que emitía en el espectro visible fue desarrollado por el ingeniero de General Electric Nick Holonyak en 1962.

VENTAJAS DEL LED

Las ventajas de los leds son muchas, entre las cuales se puede mencionar las siguientes: Fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente, capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, respuesta rápida, entre otros. Asimismo, con

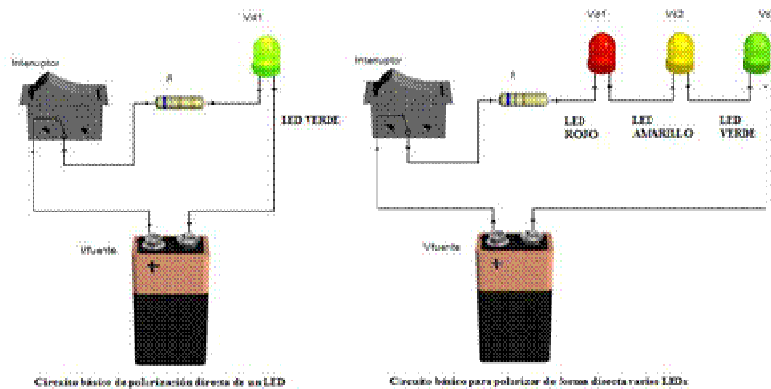
LED se pueden producir luces de diferentes colores con un rendimiento luminoso elevado, a diferencia de muchas de las lámparas utilizadas hasta ahora, que tienen filtros para lograr un efecto similar (lo que supone una reducción de su eficiencia energética). Todo ello pone de manifiesto las numerosas ventajas que los LED ofrecen. También se utilizan en la emisión de señales de luz que se transmiten a través de fibra óptica.

DESVENTAJAS DEL LED

Las desventajas del diodo LED son que su potencia de iluminación es tan baja, que su luz es invisible bajo una fuente de luz brillante y que su ángulo de visibilidad está entre los 30° y 60°. Este último problema se corrige con cubiertas difusores de luz.

CONEXIÓN DE LOS LED

Para conectar LED de modo que iluminen de forma continua, deben estar polarizados directamente, es decir, con el polo positivo de la fuente de alimentación conectada al ánodo y el polo negativo conectado al cátodo. Además, la fuente de alimentación debe suministrarle una tensión o diferencia de potencial superior a su tensión umbral. Por otro lado, se debe garantizar que la corriente que circula por ellos no excede los límites admisibles (Esto se puede hacer de forma sencilla con una resistencia R en serie con los LED). Unos circuitos sencillos que muestran cómo polarizar directamente LED son los siguientes:



La diferencia de potencial (d. d. p.) varía de acuerdo a las especificaciones relacionadas con el color y la potencia soportada.

En términos generales, pueden considerarse de forma aproximada los siguientes valores de diferencia de potencial:

Rojo = 1,8 a 2,2 voltios.

Anaranjado = 2,1 a 2,2 voltios.

Amarillo = 2,1 a 2,4 voltios.

Verde = 2 a 3,5 voltios.

Azul = 3,5 a 3,8 voltios.

Blanco = 3,6 voltios.

Luego, mediante la ley de Ohm: $R=V/I$; se puede calcular la resistencia R adecuada para la tensión de la fuente V que se utiliza. El término I, en la fórmula, se refiere al valor de corriente para la intensidad luminosa que se necesita, donde la común es de 10 mA para leds de baja luminosidad y 20 mA para leds de alta luminosidad; un valor superior puede inhabilitar el led o reducir de manera considerable su tiempo de vida.

Otros leds de una mayor capacidad de corriente conocidos como leds de potencia (1 W, 3 W, 5 W, etc.), pueden ser usados a 150 mA, 350 mA, 750 mA o incluso a 1000 mA dependiendo de las características opto-eléctricas dadas por el fabricante.

Cabe recordar que, también pueden conectarse varios leds en serie, sumándose las diferencias de potencial en cada uno. También se pueden hacer configuraciones en paralelo, aunque este tipo de configuraciones no son muy recomendadas para diseños de circuitos con leds eficientes.

PRINCIPIO FISICO

El fenómeno de emisión de luz está basado en la teoría de bandas, por la cual, una tensión externa aplicada a una unión p-n polarizada directamente, excita los electrones, de manera que son capaces de atravesar la banda de energía que separa las dos regiones.

Si la energía es suficiente los electrones escapan del material en forma de fotones.

Cada material semiconductor tiene unas determinadas características que y por tanto una longitud de onda de la luz emitida.

A diferencia de la lámpara de incandescencia cuyo funcionamiento es por una determinada tensión, los Led funcionan por la corriente que los atraviesa. Su conexión a una fuente de tensión constante debe estar protegida por una resistencia limitadora.

LEDS DE DISTINTOS COLORES

El funcionamiento normal consiste en que, en los materiales conductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse, es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos, "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa con la energía correspondiente a su banda prohibida. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta) no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el nitruro de galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el silicio).

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y solo es visible en diodos como los leds de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta, se puede conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible, mediante sustancias fluorescentes o fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. Aunque el plástico puede estar coloreado, es solo por razones estéticas, ya que ello no influye en el color de la luz emitida. Usualmente un led es una fuente de luz compuesta con diferentes partes, razón por la cual el patrón de intensidad de la luz emitida puede ser bastante complejo.

TEORIA DE BANDAS

En un átomo aislado los electrones pueden ocupar determinados niveles energéticos pero cuando los átomos se unen para formar un cristal, las interacciones entre ellos modifican su energía, de tal manera que cada nivel inicial se desdobra en numerosos niveles, que constituyen una banda, existiendo entre ellas huecos, llamados bandas energéticas prohibidas, que sólo pueden salvar los electrones en caso de que se les comunique la energía suficiente. En los aislantes la banda inferior menos energética (banda de valencia) está completa con los e^- más internos de los átomos, pero la superior (banda de conducción) está vacía y separada por una banda prohibida muy ancha (~ 10 eV), imposible de atravesar por un e^- . En el caso de los conductores las bandas de conducción y de valencia se encuentran superpuestas, por

lo que cualquier aporte de energía es suficiente para producir un desplazamiento de los electrones.

Entre ambos casos se encuentran los semiconductores, cuya estructura de bandas es muy semejante a los aislantes, pero con la diferencia de que la anchura de la banda prohibida es bastante pequeña. Los semiconductores son, por lo tanto, aislantes en condiciones normales, pero una elevación de temperatura proporciona la suficiente energía a los electrones para que, saltando la banda prohibida, pasen a la de conducción, dejando en la banda de valencia el hueco correspondiente. En el caso de los diodos LED los electrones consiguen saltar fuera de la estructura en forma de radiación que percibimos como luz (fotones).

TECNOLOGÍA LED

En corriente continua (CC), todos los diodos emiten cierta cantidad de radiación cuando los pares electrón-hueco se recombinan; es decir, cuando los electrones caen desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía), emitiendo fotones en el proceso. Indudablemente, por ende, su color dependerá de la altura de la banda prohibida (diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia), es decir, de los materiales empleados. Los diodos convencionales, de silicio o germanio, emiten radiación infrarroja muy alejada del espectro visible. Sin embargo, con materiales especiales pueden conseguirse longitudes de onda visibles. Los leds e IRED, además tienen geometrías especiales para evitar que la radiación emitida sea reabsorbida por el material circundante del propio diodo, lo que sucede en los convencionales.

Los primeros diodos construidos fueron los diodos infrarrojos y de color rojo, permitiendo el desarrollo tecnológico posterior la construcción de diodos para longitudes de onda cada vez menores. En particular, los diodos azules fueron desarrollados a finales de los años noventa por Shuji Nakamura, añadiéndose a los rojos y verdes desarrollados con anterioridad, lo que permitió por combinación de los mismos la obtención de luz blanca. El diodo de seleniuro de zinc puede emitir

también luz blanca si se mezcla la luz azul que emite con la roja y verde creada por fotoluminiscencia. La más reciente innovación en el ámbito de la tecnología led son los diodos ultravioleta, que se han empleado con éxito en la producción de luz negra para iluminar materiales fluorescentes.

Tanto los diodos azules como los ultravioletas son caros respecto de los más comunes (rojo, verde, amarillo e infrarrojo), siendo por ello menos empleados en las aplicaciones comerciales.

Los leds comerciales típicos están diseñados para potencias del orden de los 30 a 60 mW. En torno a 1999 se introdujeron en el mercado diodos capaces de trabajar con potencias de 1 vatio para uso continuo; estos diodos tienen matrices semiconductoras de dimensiones muchos mayores para poder soportar tales potencias e incorporan aletas metálicas para disipar el calor generado por efecto Joule.

Hoy en día, se están desarrollando y empezando a comercializar leds con prestaciones muy superiores a las de hace unos años y con un futuro prometedor en diversos campos, incluso en aplicaciones generales de iluminación. Como ejemplo, se puede destacar que Nichia Corporation ha desarrollado leds de luz blanca con una eficiencia luminosa de 150 lm/W, utilizando para ello una corriente de polarización directa de 20 miliamperios (mA). Esta eficiencia, comparada con otras fuentes de luz solamente en términos de rendimiento, es aproximadamente 1,7 veces superior a la de la lámpara fluorescente con prestaciones de color altas (90 lm/W) y aproximadamente 11,5 veces la de una lámpara incandescente (13 lm/W). Su eficiencia es incluso más alta que la de la lámpara de vapor de sodio de alta presión (132 lm/W), que está considerada como una de las fuentes de luz más eficientes.

El comienzo del siglo XXI ha visto aparecer los diodos OLED (leds orgánicos), fabricados con materiales polímeros orgánicos semiconductores. Aunque la eficiencia lograda con estos dispositivos está lejos de la de los diodos inorgánicos, su fabricación promete ser considerablemente más barata que la de aquellos, siendo además posible depositar gran cantidad de diodos sobre cualquier superficie empleando técnicas de pintado para crear pantallas en color.

El OLED (organic light-emitting diode: 'diodo orgánico de emisión de luz') es un diodo basado en una capa electroluminiscente que está formada por una película de componentes orgánicos, y que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos.

No se puede hablar realmente de una tecnología OLED, sino más bien de tecnologías basadas en OLED, ya que son varias las que hay, dependiendo del soporte y finalidad a la que vayan destinados.

Su aplicación es realmente amplia, mucho más que, en el caso que nos ocupa (su aplicación en el mundo de la informática), cualquier otra tecnología existente.

Pero además, las tecnologías basadas en OLED no solo tienen una aplicación puramente como pantallas reproductoras de imagen, sino que su horizonte se amplía al campo de la iluminación, privacidad y otros múltiples usos que se le pueda dar.

Las ventajas de esta nueva tecnología son enormes, pero también tiene una serie de inconvenientes, aunque la mayoría de estos son totalmente circunstanciales, y desaparecerán en unos casos conforme se siga investigando en este campo y en otros conforme vaya aumentando su uso y producción.

Una solución tecnológica que pretende aprovechar las ventajas de la eficiencia alta de los leds típicos (hechos con materiales inorgánicos principalmente) y los costes menores de los OLED (derivados del uso de materiales orgánicos) son los Sistemas de Iluminación Híbridos (Orgánicos/Inorgánicos) basados en diodos emisores de luz. Dos ejemplos de este tipo de solución tecnológica los está intentando comercializar la empresa Cyberlux con los nombres de HWL (Hybrid White Light: 'luz blanca híbrida') y HML (Hybrid Multicolor Light: 'luz multicolor híbrida'), cuyo resultado puede producir sistemas de iluminación mucho más eficientes y con un coste menor que los actuales.

APLICACIONES

Los diodos infrarrojos (IRED) se emplean desde mediados del siglo XX en mandos a distancia de televisores, habiéndose generalizado su uso en otros electrodomésticos como equipos de aire acondicionado, equipos de música, etc., y en

general para aplicaciones de control remoto, así como en dispositivos detectores, además de ser utilizados para transmitir datos entre dispositivos electrónicos como en redes de computadoras y dispositivos como teléfonos móviles, computadoras de mano, aunque esta tecnología de transmisión de datos ha dado paso al bluetooth en los últimos años, quedando casi obsoleta.

Los leds se emplean con profusión en todo tipo de indicadores de estado (encendido/apagado) en dispositivos de señalización (de tránsito, de emergencia, etc.) y en paneles informativos (el mayor del mundo, del NASDAQ, tiene 36,6 metros de altura y está en Times Square, Manhattan). También se emplean en el alumbrado de pantallas de cristal líquido de teléfonos móviles, calculadoras, agendas electrónicas, etc., así como en bicicletas y usos similares. Existen además impresoras con leds.

El uso de leds en el ámbito de la iluminación (incluyendo la señalización de tráfico) es moderado y es previsible que se incremente en el futuro, ya que sus prestaciones son superiores a las de la lámpara incandescente y la lámpara fluorescente, desde diversos puntos de vista. Cabe destacar también que diversas pruebas realizadas por importantes empresas y organismos han concluido que el ahorro energético varía entre el 70 y el 80% respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora. Todo ello pone de manifiesto las numerosas ventajas que los leds ofrecen en relación al alumbrado público.

Los leds de luz blanca son uno de los desarrollos más recientes y pueden considerarse como un intento muy bien fundamentado para sustituir los focos o bombillas actuales (lámparas incandescentes) por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume el 92% menos que las lámparas incandescentes de uso doméstico común y el 30% menos que la mayoría de las lámparas fluorescentes; además, estos leds pueden durar hasta 20 años y suponer el 200% menos de costes totales de propiedad si se comparan con las lámparas o tubos fluorescentes convencionales. Estas características convierten a los leds de luz blanca en una alternativa muy prometedora para la iluminación.

También se utilizan en la emisión de señales de luz que se transmiten a través de fibra óptica. Sin embargo esta aplicación está en desuso ya que actualmente se opta por tecnología láser que focaliza más las señales de luz y permite un mayor alcance de la misma utilizando el mismo cable. Sin embargo en los inicios de la fibra óptica eran usados por su escaso coste, ya que suponían una gran ventaja frente al coaxial (aún sin focalizar la emisión de luz).

Pantalla de leds: pantalla muy brillante, formada por filas de leds verdes, azules y rojos, ordenados según la arquitectura RGB, controlados individualmente para formar imágenes vivas, muy brillantes, con un altísimo nivel de contraste, entre sus principales ventajas frente a otras pantallas se encuentran: buen soporte de color, brillo extremadamente alto (lo que le da la capacidad de ser completamente visible bajo la luz del sol), altísima resistencia a impactos.

CONSTANTE DE PLANCK

HISTORIA

Planck encontró en 1900 que sólo era posible describir la radiación del cuerpo negro de una forma matemática que correspondiera con las medidas experimentales, haciendo la suposición de que la materia sólo puede tener estados de energía discretos y no continuos. La idea era que la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro se podía modelar como una serie de osciladores armónicos con una energía cuántica de la forma:

$$E = h\nu = \hbar \frac{\omega}{2\pi} = \frac{h}{2\pi} \omega = \hbar \omega$$

Donde:

E : es la energía de los fotones de radiación con una frecuencia (Hz) de ν o frecuencia angular (radianes/s) de ω (omega).

El mismo Planck, cuando publicó sus resultados sobre la radiación del cuerpo negro, afirmaba que su hipótesis sin duda debía ser falsa.

Es por eso que, el minúsculo valor de la constante de Planck significa que a nivel macroscópico es despreciable el efecto de esta "Cuantización" o "discretización" de los valores energéticos posibles, y por tanto los valores de la energía de cualquier sistema parece que pueden variar de forma continua. Así que, se inauguró una nueva forma de pensar en física, que se ha desarrollado a lo largo de todo el siglo XX gracias al esfuerzo de numerosos y brillantes pensadores, dando lugar al nacimiento de la física cuántica.

Es por eso que, la constante de Planck, h , dio pie al desarrollo de la mecánica cuántica y en este sentido, a la general consideración de que la realidad se divide en dos mundos: el microscópico y el macroscópico.

La constante de Planck surge de la hipótesis presentada por Planck para solucionar 'la catástrofe ultravioleta'; en donde, se llama catástrofe ultravioleta a la incoherencia de la teoría electromagnética clásica para describir los patrones energéticos relativos a las ondas estacionarias de un cuerpo negro. La teoría clásica predecía que la densidad de energía de un cuerpo negro tendía asintóticamente al infinito al aumentar arbitrariamente la frecuencia de sus ondas. Aunque esta teoría rompía la continuidad energética por lo que no era fácil hacer cuadrar de una forma u otra los resultados teóricos con los empíricos.

En tanto, la constante de Planck, es una constante física que representa al cuanto elemental de acción. Es decir, la relación entre la cantidad de energía y de frecuencia asociadas a un cuanto o a una partícula. La constante de Planck relaciona la energía E de los fotones con la frecuencia ν de la onda lumínica según la fórmula:

$$E = h\nu$$

Dado que la frecuencia ν , longitud de onda λ , y la velocidad de la luz c están relacionados por $\nu \lambda = c$, la constante de Planck también puede ser expresada como:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

UNIDADES, VALOR Y SÍMBOLOS

En las unidades del SI la constante de Planck se expresa en julios • segundo.
El valor conocido de la constante de Planck es:

$$h=6,62606896(33) \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s} = 4,13566733(10) \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$$

Los dos dígitos entre paréntesis denotan la incertidumbre en los últimos dígitos del valor.

MONTAJE EXPERIMENTAL



MATERIALES

- 4 Leds de colores (rojo, amarillo, verde y azul).
- 1 amperímetro.
- 1 voltímetro.
- 1 protoboa.
- Cables de conexiones.
- 2 pinzas caimán.
- 1 fuente de alimentación.

PROCEDIMIENTO

Se conectan la fuente de alimentación en serie con el amperímetro y el diodo led, este a su vez esta en paralelo con el voltímetro. Se enciende los dispositivos del circuito y se va midiendo la corriente y el voltaje de cada led hasta que se observa que comienza a prender. Allí es que se tomara como medida del voltaje de corte o de saturación de cada uno de ellos. Se hacen los respectivos cálculos de las energías de cada leds, las frecuencias y finalmente la constante de Planck.

DATOS

DIODO LED

- **ROJO:**

Voltaje (V) Corriente (μ A)

0	0
0,55	0
1,1	0
1,23	4
1,28	10
1,31	20
1,33	24
1,36	44
1,37	56
1,41	90

- **AMARILLO:**

Voltaje (V) Corriente(μ A)

0	0
0,152	0
0,214	0
0,412	0
0,532	0
0,681	0
0,79	0
1,28	2
1,347	6
1,386	10
1,4	14
1,43	22
1,45	28
1,466	35
1,483	44
1,5	56
1,512	64
1,525	74
1,533	84

- **VERDE:**

Voltaje (V) Corriente(μ A)

0	0
0.86	0
1.38	4
1.45	20
1.48	32
1.50	40
1.51	46
1.52	54
1.54	76
1.54	80
1.55	82

- AZUL

Voltaje (V) Corriente (μA)

0	0
0.86	0
1.71	2
1.89	10
1.91	14
1.94	20
1.98	36
2.01	54
2.06	88

CÁLCULO DE ERRORES:

- Led Rojo:

VOLTAJE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum V}{n} \text{ V}$$

$$V_p = \frac{(0+0,55+1,1+1,23+1,28+1,31+1,33+1,36+1,37+1,41)}{10} \text{ V}$$

$$V_p = \frac{9,84 \text{ V}}{10} = 0,98 \text{ V}$$

Error absoluto:

Ea = m - Vp

$$Ea_1 = 0 - 0,98 \text{ V} = -0,98 \text{ V}$$

$$Ea_2 = 0,55 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = -0,43 \text{ v}$$

$$Ea_3 = 1,1 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,12 \text{ v}$$

$$Ea_4 = 1,23 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,25 \text{ v}$$

$$Ea_5 = 1,28 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,3 \text{ v}$$

$$Ea_6 = 1,31 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,33 \text{ v}$$

$$Ea_7 = 1,33 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,35 \text{ v}$$

$$Ea_8 = 1,36 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,38 \text{ v}$$

$$Ea_9 = 1,37 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,39 \text{ v}$$

$$Ea_{10} = 1,41 \text{ v} - 0,98 \text{ v} = 0,43 \text{ v}$$

Error relativo:

$$Er = \frac{\sum Ea}{n \cdot Ea}$$

$$Er = \frac{-0,98v - 0,43v + 0,12v + 0,25 + 0,3v + 0,33v + 0,35v + 0,38v + 0,39v + 0,43v}{10}$$

$$Er = \frac{0,81v}{10} = 0,081v$$

Error porcentual:

$$Ep = Er \times 100\%$$

$$Ep = 0,081 \times 100 = 8,1\%$$

CORRIENTE:

Valor promedio:

$$Vp = \frac{\sum I}{n} \cdot I$$

$$Vp = \frac{(0+0+0+4+10+20+24+44+56+90)}{10} \mu A$$

$$Vp = \frac{238}{10} \mu A = 23,8 \mu A$$

Error absoluto:

$$Ea = m - Vp$$

$$Ea_1 = 0 - 23,8 = -23,8 \mu A$$

$$Ea_2 = 0 - 23,8 = -23,8 \mu A$$

$$Ea_3 = 0 - 23,8 = -23,8 \mu A$$

$$Ea_4 = 4 - 23,8 = -19,8 \mu A$$

$$Ea_5 = 10 - 23,8 = -13,8 \mu A$$

$$Ea_6 = 20 - 23,8 = -3,8 \mu A$$

$$Ea_7 = 24 - 23,8 = 0,2 \mu A$$

$$Ea_8 = 44 - 23,8 = 20,2 \mu A$$

$$Ea_9 = 56 - 23,8 = 32,2 \mu A$$

$$Ea_{10} = 90 - 23,8 = 66,2 \mu A$$

Error relativo:

$$Er = \frac{\sum Ea}{n \cdot Ea}$$

$$Er = \frac{(-23,8 - 23,8 - 23,8 - 19,8 - 13,8 - 3,8 + 0,2 + 20,2 + 32,2 + 66,2) \mu A}{10}$$

$$E_r = 1 \mu A$$

Error porcentual:

$$E_p = E_r \times 100\%$$

$$E_p = 1 \times 100\%$$

$$E_p = 100\%$$

- **Led Verde:**

VOLTAJE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum V}{n} \text{ V}$$

$$V_p = \frac{(0 + 0.86 + 1.38 + 1.45 + 1.48 + 1.50 + 1.51 + 1.52 + 1.54 + 1.54 + 1.55) \text{ V}}{11}$$

$$V_p = 1.302 \text{ V}$$

Error absoluto:

$$E_a = m - v_p$$

$$E_{a1} = 0 - 1.302 = -1.302 \text{ V}$$

$$E_{a2} = 0.86 - 1.302 = -0.44 \text{ V}$$

$$E_{a3} = 1.38 - 1.302 = 0.078 \text{ V}$$

$$E_{a4} = 1.45 - 1.302 = 0.148 \text{ V}$$

$$E_{a5} = 1.48 - 1.302 = 0.178 \text{ V}$$

$$E_{a6} = 1.50 - 1.302 = 0.198 \text{ V}$$

$$E_{a7} = 1.51 - 1.302 = 0.208 \text{ V}$$

$$E_{a8} = 1.52 - 1.302 = 0.218 \text{ V}$$

$$E_{a9} = 1.54 - 1.302 = 0.238 \text{ V}$$

$$E_{a10} = 1.54 - 1.302 = 0.238 \text{ V}$$

$$E_{a11} = 1.55 - 1.302 = 0.248 \text{ V}$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{\sum E_a}{n} \text{ Ea}$$

$$E_r = \frac{(-1.302 - 0.44 + 0.078 + 0.148 + 0.178 + 0.198 + 0.208 + 0.218 + 0.238 + 0.238 + 0.248) \text{ V}}{11}$$

$$E_r = \frac{0.11 \text{ V}}{11} = 0.01 \text{ V}$$

Error porcentual:

$$E_p = E_r \times 100\%$$

$$E_p = 0,01 \times 100\%$$

$$E_p = 1\%$$

CORRIENTE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum I}{n} \text{ I}$$

$$V_p = \frac{(0+0+4+20+32+40+46+54+76+80+82)}{11} \mu A$$

$$V_p = \frac{434}{11} \mu A = 39.45 \mu A$$

Error absoluto:

$$E_a = m - v_p$$

$$E_{a1} = 0 - 39.45 = -39.45 \mu A$$

$$E_{a2} = 0 - 39.45 = -39.45 \mu A$$

$$E_{a3} = 4 - 39.45 = -35.45 \mu A$$

$$E_{a4} = 20 - 39.45 = -19.45 \mu A$$

$$E_{a5} = 32 - 39.45 = -7.45 \mu A$$

$$E_{a6} = 40 - 39.45 = -1.45 \mu A$$

$$E_{a7} = 46 - 39.45 = 6.55 \mu A$$

$$E_{a8} = 54 - 39.45 = 14.55 \mu A$$

$$E_{a9} = 76 - 39.45 = 36.55 \mu A$$

$$E_{a10} = 80 - 39.45 = 40.55 \mu A$$

$$E_{a11} = 82 - 39.45 = 42.65 \mu A$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{\sum E_a}{n} \text{ E}_a$$

$$E_r = \frac{1.02 \mu A}{11} = 0.092 \mu A$$

Error porcentual.

$$E_p = E_r \times 100\%$$

$$E_p = 0.092 \times 100\%$$

$$E_p = 9.2\%$$

- **Led Amarillo:**

VOLTAJE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum V}{n} \text{ V}$$

$$V_p = \frac{(0+0,152+0,214+0,412+0,532+0,681+0,79+1,28+1,347+1,386+1,4+1,43+1,45+1,466+1,486+1,5+1,512+1,525+1,533) \text{ V}}{19}$$

$$V_p = \frac{20,096 \text{ V}}{19} = 1,057 \text{ V}$$

Error absoluto:

$$E_a = m - V_p$$

$$E_{a1} = (0 - 1,057) \text{ V} = - 1,057 \text{ V}$$

$$E_{a3} = (0,214 - 1,057) \text{ V} = - 0,843 \text{ V}$$

$$E_{a5} = (0,532 - 1,057) \text{ V} = -0,525 \text{ V}$$

$$E_{a7} = (0,79 - 1,057) \text{ V} = -0,267 \text{ V}$$

$$E_{a9} = (1,347 - 1,057) \text{ V} = 0,29 \text{ V}$$

$$E_{a11} = (1,4 - 1,057) \text{ V} = 0,343 \text{ V}$$

$$E_{a13} = (1,45 - 1,057) \text{ V} = 0,393 \text{ V}$$

$$E_{a15} = (1,486 - 1,057) \text{ V} = 0,429 \text{ V}$$

$$E_{a17} = (1,512 - 1,057) \text{ V} = 0,455 \text{ V}$$

$$E_{a19} = (1,533 - 1,057) \text{ V} = 0,476 \text{ V}$$

$$E_{a2} = (0,152 - 1,057) \text{ V} = - 0,905 \text{ V}$$

$$E_{a4} = (0,412 - 1,057) \text{ V} = - 0,645 \text{ V}$$

$$E_{a6} = (0,681 - 1,057) \text{ V} = -0,376 \text{ V}$$

$$E_{a8} = (1,28 - 1,057) \text{ V} = 0,223 \text{ V}$$

$$E_{a10} = (1,386 - 1,057) \text{ V} = 0,329 \text{ V}$$

$$E_{a12} = (1,43 - 1,057) \text{ V} = 0,373 \text{ V}$$

$$E_{a14} = (1,466 - 1,057) \text{ V} = 0,409 \text{ V}$$

$$E_{a16} = (1,5 - 1,057) \text{ V} = 0,443 \text{ V}$$

$$E_{a18} = (1,525 - 1,057) \text{ V} = 0,468 \text{ V}$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{\sum E_a}{n} \text{ Ea}$$

$$E_r = \frac{1,823 \text{ V}}{19} = 0,0959 \text{ V}$$

Error porcentual:

$$E\% = E_r \cdot 100\%$$

$$E\% = 0,0959 \text{ V} \cdot 100\% = 9,59\%$$

CORRIENTE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum I}{n} \text{ I}$$

$$V_p = \frac{(0+0+0+0+0+0+0+2+6+10+14+22+28+35+44+56+64+74+84) \mu\text{A}}{19} = \frac{-439 \mu\text{A}}{19}$$

$$V_p = 23,11 \mu\text{A}$$

Error absoluto:

$$E_a = m - V_p$$

$$E_{a1} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a3} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a5} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a7} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a9} = (6 - 23,11) \mu\text{A} = -17,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a11} = (14 - 23,11) \mu\text{A} = -9,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a13} = (28 - 23,11) \mu\text{A} = -4,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a15} = (44 - 23,11) \mu\text{A} = 20,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a17} = (64 - 23,11) \mu\text{A} = 40,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a19} = (84 - 23,11) \mu\text{A} = 60,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a2} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a4} = (0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a6} = ((0 - 23,11) \mu\text{A} = -23,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a8} = (2 - 23,11) \mu\text{A} = -21,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a10} = ((10 - 23,11) \mu\text{A} = -13,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a12} = (22 - 23,11) \mu\text{A} = -1,11 \mu\text{A}$$

$$E_{a14} = (35 - 23,11) \mu\text{A} = 11,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a16} = (56 - 23,11) \mu\text{A} = 32,89 \mu\text{A}$$

$$E_{a18} = (74 - 23,11) \mu\text{A} = 50,89 \mu\text{A}$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{\sum E_a}{n} \text{ Ea}$$

$$E_r = \frac{-0,09 \mu\text{A}}{19} = -0,00474 \mu\text{A}$$

Error porcentual:

$$E\% = E_r \cdot 100\%$$

$$E\% = -0,00474 \cdot 100\% = -0,474 \%$$

- **Led Azul:**

VOLTAJE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum V}{n} \text{ V}$$

$$V_p = \frac{(0+0,86+1,71+1,89+1,91+1,94+1,98+2,01+2,06) \text{ V}}{9} = \frac{14,36 \text{ V}}{9} = 1,595 \text{ V}$$

Error absoluto:

$$E_a = m - V_p$$

$$E_{a1} = (0 - 1,595) \text{ V} = -1,595 \text{ V}$$

$$E_{a2} = (0,86 - 1,595) \text{ V} = -0,735 \text{ V}$$

$$E_{a3} = (1,71 - 1,595) \text{ V} = 0,115 \text{ V}$$

$$E_{a4} = (1,89 - 1,595) \text{ V} = 0,295 \text{ V}$$

$$E_{a5} = (1,91 - 1,595) \text{ V} = 0,315 \text{ V}$$

$$E_{a6} = (1,94 - 1,595) \text{ V} = 0,345 \text{ V}$$

$$E_{a7} = (1,98 - 1,595) \text{ V} = 0,385 \text{ V}$$

$$E_{a8} = (2,01 - 1,595) \text{ V} = 0,415 \text{ V}$$

$$E_{a9} = (2,06 - 1,595) \text{ V} = 0,465 \text{ V}$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{E_a}{n} \cdot 100\%$$

$$E_r = \frac{0,005 \text{ V}}{9} = 0,000556 \text{ V}$$

Error porcentual:

$$E\% = E_r \cdot 100\%$$

$$E\% = 0,000556 \text{ V} \cdot 100\% = 0,0556\%$$

CORRIENTE:

Valor promedio:

$$V_p = \frac{\sum I}{n}$$

$$V_p = \frac{(0+0+2+10+14+20+36+54+88) \mu\text{A}}{9} = \frac{224 \mu\text{A}}{9} = 24,88 \mu\text{A}$$

Error absoluto:

$$E_a = m - V_p$$

$$E_{a1} = (0 - 24,88) \mu\text{A} = -24,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a2} = (0 - 24,88) \mu\text{A} = -24,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a3} = (2 - 24,88) \mu\text{A} = -22,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a4} = (10 - 24,88) \mu\text{A} = -14,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a5} = (14 - 24,88) \mu\text{A} = -10,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a6} = (20 - 24,88) \mu\text{A} = -4,88 \mu\text{A}$$

$$E_{a7} = (36 - 24,88) \mu\text{A} = 11,12 \mu\text{A}$$

$$E_{a8} = (54 - 24,88) \mu\text{A} = 29,12 \mu\text{A}$$

$$E_{a9} = (88 - 24,88) \mu\text{A} = 63,12 \mu\text{A}$$

Error relativo:

$$E_r = \frac{\Delta E}{E}$$

$$E_r = \frac{0,08 \mu A}{9} = 0,0088 \mu A$$

Error porcentual:

$$E\% = E_r \cdot 100\%$$

$$E\% = 0,0088 \cdot 100\% = 0,88 \%$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Medición de la constante de Planck:

La constante de Planck relaciona la energía E de los fotones con la frecuencia ν de la onda lumínica según la fórmula:

$$E = h\nu$$

Dado que la frecuencia ν , longitud de onda λ , y la velocidad de la luz c están relacionados por $\nu \cdot \lambda = c$, entonces: $\nu = c/\lambda$

Así que, para la frecuencia y longitud de onda de cada led se obtienen los siguientes resultados:

- **Led amarillo:**

$$\nu = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{590 \text{ nm}} = 5,08 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Su energía está dada por:

$$E = e \cdot \Delta V$$

$$\text{Donde: } E = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1,280 \text{ V} = 2,04 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Por lo que:

$$h = E / \nu$$

$$\text{Por tanto: } h = 2,04 \text{ J} / 5,08 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,01 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- **Led rojo:**

$$\nu = 3 \times 10^8 \frac{\text{m/s}}{660 \text{ nm}} = 4,54 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$660 \text{ nm}$$

Su energía está dada por:

$$E = e \cdot \Delta V$$

$$\text{Donde: } E = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1,23 \text{ V} = 1,968 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Por lo que:

$$h = E / \nu$$

$$\text{Por tanto: } h = 1,968 \times 10^{-19} \text{ J} / 4,54 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,33 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- **Led verde:**

$$\nu = 3 \times 10^8 \frac{\text{m/s}}{555 \text{ nm}} = 5,4 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$555 \text{ nm}$$

Su energía está dada por:

$$E = e \cdot \Delta V$$

$$\text{Donde: } E = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1,38 \text{ V} = 2,208 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Por lo que:

$$h = E / \nu$$

$$\text{Por tanto: } h = 2,208 \times 10^{-19} \text{ J} / 5,4 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,08 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- **Led azul:**

$$\nu = 3 \times 10^8 \frac{\text{m/s}}{470 \text{ nm}} = 6,38 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$470 \text{ nm}$$

Su energía está dada por:

$$E = e \cdot \Delta V$$

$$\text{Donde: } E = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1,71 \text{ V} = 2,73 \times 10^{-19} \text{ J}$$

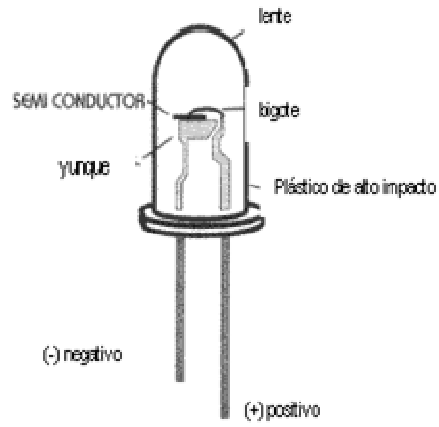
Por lo que:

$$h = E / \nu$$

$$\text{Por tanto: } h = 2,73 \times 10^{-19} \text{ J} / 6,38 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 4,27 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

ANEXOS

Estructura de un led



Leds de diversos colores



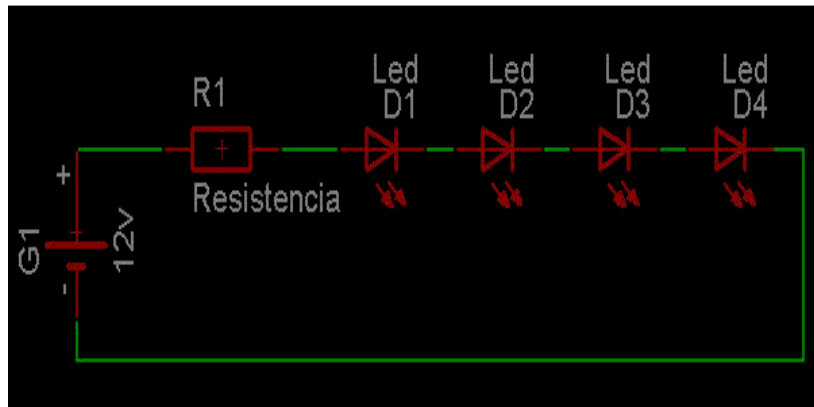
Leds azules

Color	Luminosidad	Consumo	Longitud onda	Diámetro
Rojo	1,25 mcd	10 mA	660 nm	3 y 5 mm
Verde, amarillo y naranja	8 mcd	10 mA		3 y 5 mm
Rojo (alta luminosidad)	80 mcd	10 mA	625 nm	5 mm
Verde (alta luminosidad)	50 mcd	10 mA	565 nm	5 mm
Hiper Rojo	3500 mcd	20 mA	660 nm	5 mm
Hiper Rojo	1600 mcd	20 mA	660 nm	5 mm
Hiper Verde	300 mcd	20 mA	565 nm	5 mm
Azul difuso	1 mcd 60°		470	5 mm
Rojo y verde	40 mcd	20 mA		10 mm

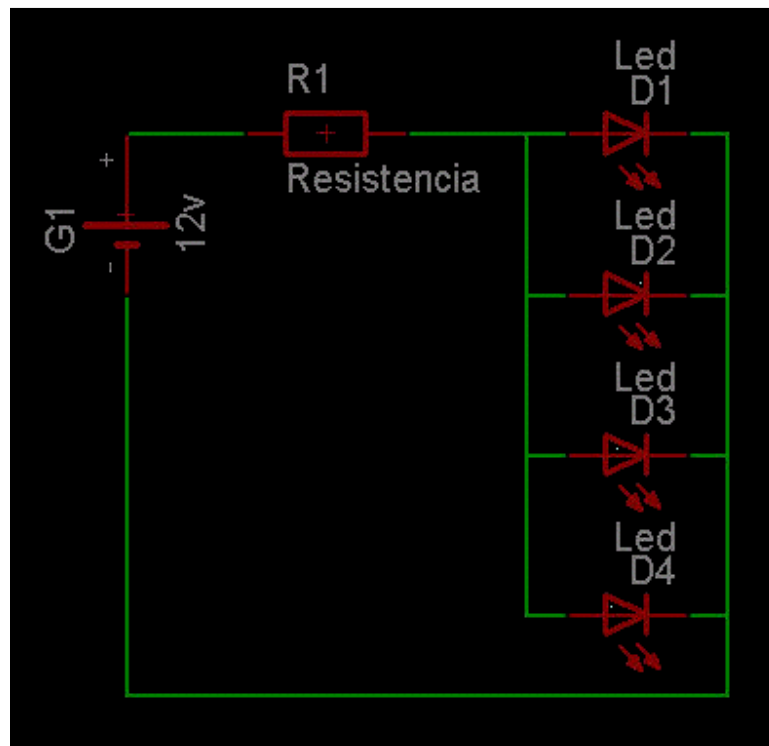
Tabla 1. Características de los Leds.

Color	Caída de tensión (VLED) V	Intensidad máxima (ILED) mA	Intensidad media (ILED)mA
Rojo	1.6	20	5 – 10
Verde	2.4	20	5 – 10
Amarillo	2.4	20	5 – 10
Naranja	1.7	20	5 – 10

Tabla 2. Caída de tensión e intensidad de los leds.



Conexión de led en serie.



Conexión de led en paralelo.

DIODO LED

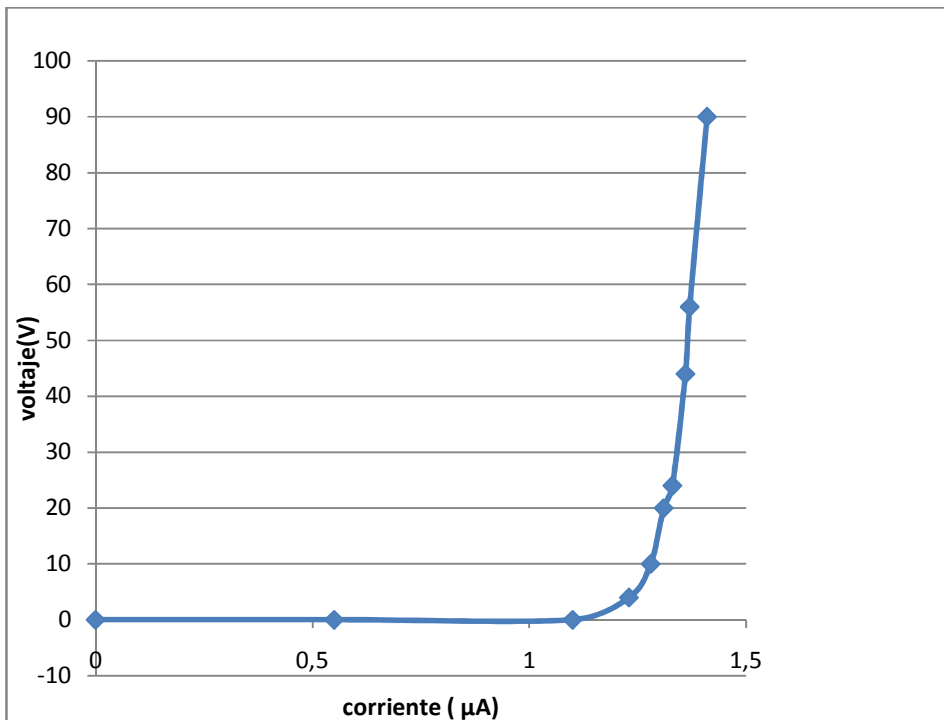
- ROJO:

Tabla de datos:

Voltaje (V) Corriente (μA)

0	0
0,55	0
1,1	0
1,23	4
1,28	10
1,31	20
1,33	24
1,36	44
1,37	56
1,41	90

Gráfica voltaje en función de la corriente



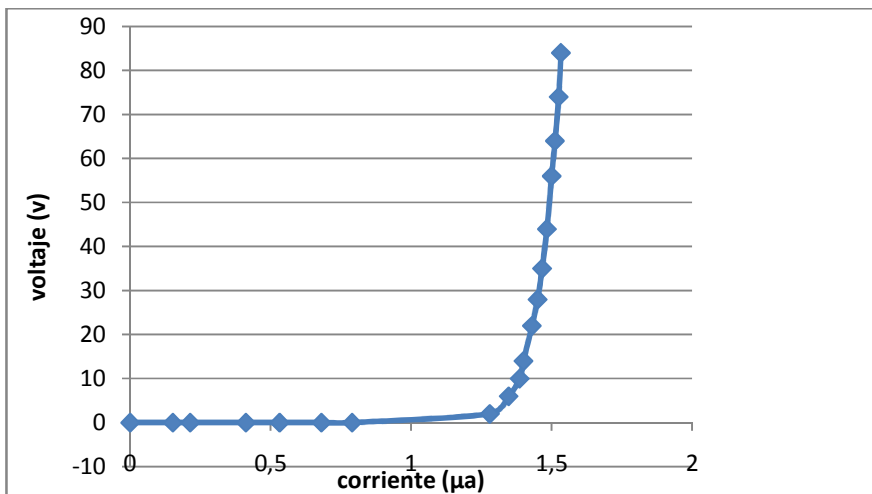
Curva característica del diodo led rojo

- **AMARILLO:**

Tabla de datos:

Voltaje (V)	Corriente(μ A)
0	0
0,152	0
0,214	0
0,412	0
0,532	0
0,681	0
0,79	0
1,28	2
1,347	6
1,386	10
1,4	14
1,43	22
1,45	28
1,466	35
1,483	44
1,5	56
1,512	64
1,525	74
1,533	84

Gráfica voltaje en función de la corriente



Curva característica del diodo led amarillo

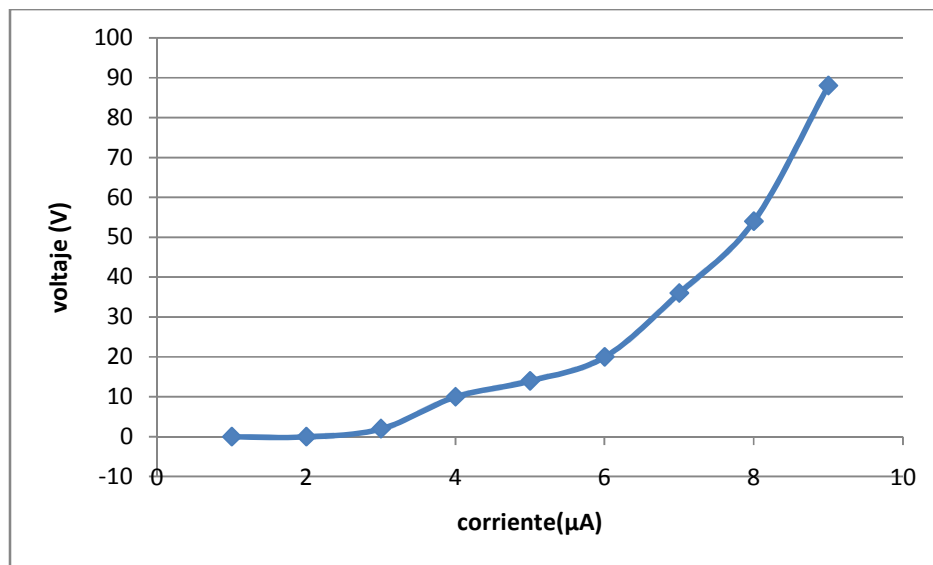
- **AZUL:**

Tabla de datos:

Voltaje (V) Corriente (μA)

0	0
0.86	0
1.71	2
1.89	10
1.91	14
1.94	20
1.98	36
2.01	54
2.06	88

Gráfica voltaje en función de la corriente



Curva característica del diodo led azul

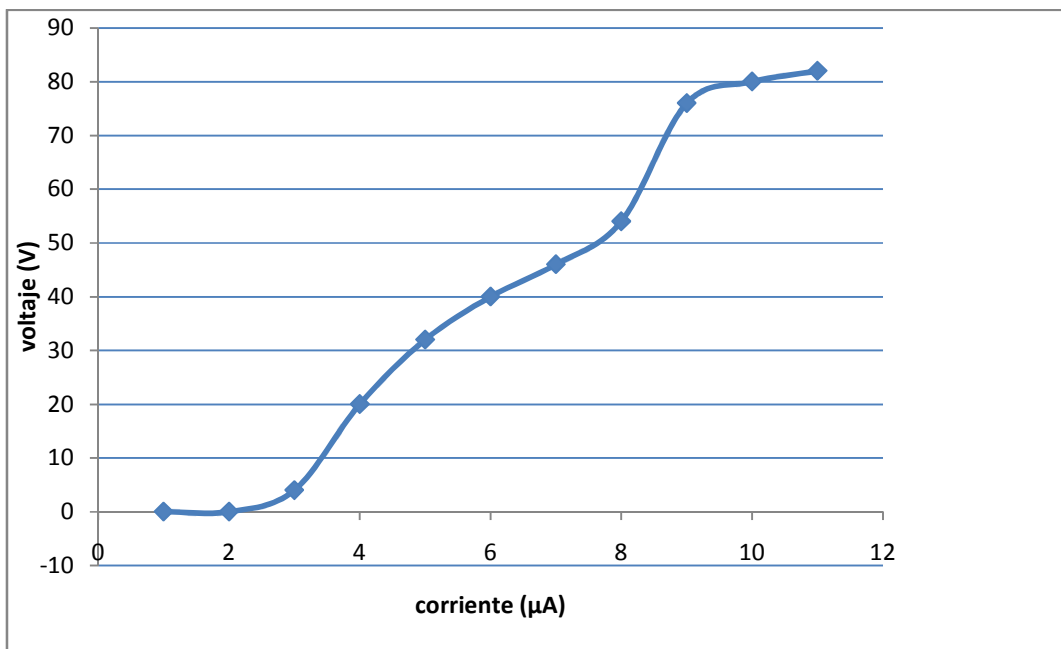
- **VERDE:**

Tabla de datos:

Voltaje (V) Corriente(μ A)

0	0
0.86	0
1.38	4
1.45	20
1.48	32
1.50	40
1.51	46
1.52	54
1.54	76
1.54	80
1.55	82

Gráfica voltaje en función de la corriente



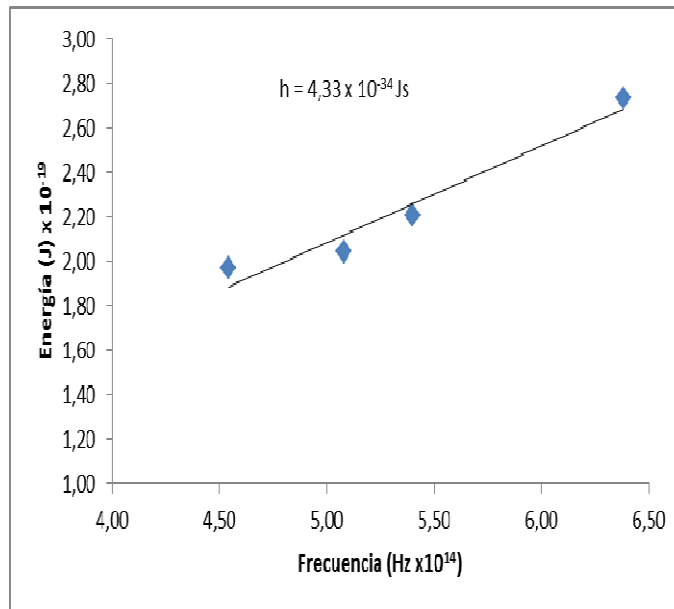
Curva característica del diodo led verde

CONSTANTE DE PLANCK:

Tabla de datos

ENERGIA (J)	FRECUENCIA (S ⁻¹)
$2,04 \times 10^{-19}$	$5,08 \times 10^{14}$
$1,968 \times 10^{-19}$	$4,54 \times 10^{14}$
$2,208 \times 10^{-19}$	$5,4 \times 10^{14}$
$2,73 \times 10^{-19}$	$6,38 \times 10^{14}$

Gráfica De La Constante De Planck





Medición Del Voltaje- Corriente Del Diodo Azul



Medición Del Voltaje- Corriente Del Diodo Verde



Medición Del Voltaje- Corriente Del Diodo Amarillo



Medición Del Voltaje- Corriente Del Diodo Rojo

REFERENCIAS

✓ Documento en línea:

- <http://es.wikipedia.org/wiki/Led>. Consulta: [Octubre, 25 de 2011].
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Led>. Consulta: [Octubre, 25 de 2011].
- <http://www.voltimum.es/news/7649/cm/los-led--principio-fisico.html>. Consulta: [Octubre, 25 de 2011].
- http://es.wikipedia.org/wiki/Constante_de_Planck. Consulta: [Noviembre, 10 de 2011].
- <http://robertduran.net/constanteplanck.html>. Consulta: [Noviembre, 10 de 2011].
- <http://mecanicacuanticaxnietobustos.obolog.com/constante-planck-20257>. Consulta: [Noviembre, 10 de 2011].
- http://www.iearobotics.com/personal/ricardo/articulos/diodos_led/index.html. Consulta: [Noviembre, 10 de 2011].
- http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_emisor_de_luz. Consulta: [Noviembre, 10 de 2011].