

**MONOGRAFIA DEL ESTADO DEL ARTE DE LA ILUMINACION DE
ESTADO SOLIDO**

**ANDRES FELIPE GALLO GARCIA
CESAR AUGUSTO RUEDA ROBAYO
JOSE LEONARDO BETANCUR MELCHOR**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA
PEREIRA
2009**

**MONOGRAFIA DEL ESTADO DEL ARTE DE LA ILUMINACION DE
ESTADO SOLIDO**

**ANDRES FELIPE GALLO GARCIA
CESAR AUGUSTO RUEDA ROBAYO
JOSE LEONARDO BETANCUR MELCHOR**

**TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR AL TITULO DE TECNOLOGO ELECTRICO**

**DIRECTOR
JHON JAIME ROBBY GOEZ
TECNOLOGO ELECTRICISTA
DOCENTE PROGRAMA TECNOLOGIA ELECTRICA**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA
PEREIRA**

2009

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, 27 de Noviembre de 2009

A nuestros padres por depositar en nosotros todo su amor, confianza y fortaleza para afrontar todas las dificultades que se cruzan en el camino y por brindarnos la oportunidad de seguir preparándonos y cada día poder ser mejores.

Dedicamos este trabajo a nuestras familias como muestra de agradecimiento por toda su dedicación y entrega incondicional durante todos estos años de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es una parte de nuestras vidas y comienzo de otras etapas y es gracias a muchas personas que nos han apoyado, tanto a lo largo del desarrollo de este proyecto, como a lo largo de nuestras vidas.

José Leonardo

Agradecerle primero a Dios creador del universo y dueño de nuestras vidas vida que me permite construir otros mundos mentales posibles.

A mi madre, que desde pequeño me ha guiado y acompañado en los momentos en que más le he necesitado. Por su apoyo, por su incondicional de madre y principalmente por su amor que no espera nada a cambio.

A mis hermanos que no puedo si no darle las gracias por el tiempo, por entender las veces que no pude estar con ellos, pero sobre todo por el amor que siento de su parte. Gracias por ser mi apoyo, mí puesta a tierra.

Mi padre, a su manera también a jugado un rol importante en mi vida. Gracias por ser el proveedor durante muchos años que viví bajo tu techo.

A ese grupo de amigos entrañables, amigos del alma, de correrías y de secretos, amigos de toda la vida, condescendientes, que lo aguantan todo, a cambio muchas veces de nada. A los que asalté insistentemente en cualquier momento, a cualquier hora, siempre receptivos, dando ánimos, sinceros y con los ojos, siempre tan abiertos, que da gusto hablar con ellos...Gracias a: Jerson, Diego, Natalia, Adriana, David, Hader "Derja", Astrid, Daniela, Camila, Isabel, Nano, Ana María con su ternura y Amor sincero de escucharme y estar ahí siempre en los momentos de angustia y felicidad...A todos gracias.

A mis profesores de la Escuela de Tecnología Eléctrica por su conocimiento compartido.

Al director de este proyecto profesor Jhon Jaime Robby Goez, por su dedicación y paciencia durante el tiempo de ejecución del proyecto.

Andrés Felipe

Quiero agradecer a mis padres quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida. Por su apoyo incondicional, por estar siempre en los momentos más difíciles de mi vida, por su esfuerzo y dedicación a lo largo de mis estudios y por todo lo que me han brindado a lo largo de mi vida con tanto sacrificio.

A mis hermanas que son mis ojos y todos los días le doy gracias a Dios por haberlas traído a mi vida. Gracias infinitas por siempre estar presentes. Gracias por ser mis dos razones para seguir peleando el día a día.

A mis compañeros que siempre estuvieron en los momentos más difíciles de mi carrera, por brindarme consejos y su amistad incondicional, a todos muchas gracias.

A los profesores del programa muchas gracias porque gracias a ustedes debo mi formación profesional.

Agradezco la dirección de nuestro proyecto al profesor Jhon Jaime Robby Goez, por su dedicación, por su paciencia y su entrega incondicional al desarrollo de este. Y por todo lo que pude aprender de usted muchas gracias profe.

Cesar Augusto

A mi familia. A mis padres que me enseñaron todos los valores de la vida y a que querer es poder. Gracias por inculcarme el anhelo de ser mejor cada día, siempre con nobleza de corazón. A mis hermanos, por quererme tanto. Y a mis compañeros por siempre estar en los momentos más difíciles.

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de un proyecto de grado es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, el análisis objetivo te muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte no hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para nosotros un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles nuestros agradecimientos.

Al profesor Sigilfredo por facilitarnos los equipos del laboratorio de control y por todos sus sabios consejos ya que la mayor parte de este proyecto fue redactado allí.

Debemos agradecer de manera especial y sincera al Profesor Jhon Jaime Robby Goez por aceptarnos para realizar este proyecto bajo su dirección. Su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este proyecto, sino también en nuestra formación como investigadores. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

RESUMEN

La Iluminación de estado sólido se puede consultar en diferentes tipos de artículos publicados tanto en revistas como en páginas de Internet y algunos periódicos, pero no hay un documento en el que se pueda encontrar la información detallada y completa que pueda ser utilizado por las personas interesadas en el estudio y análisis de sistemas de iluminación con este tipo de fuente de luz. Por lo tanto el objetivo de nuestra investigación es la recopilación de información referente al estado del arte de la iluminación de estado sólido y la elaboración de un documento que contenga todos los aspectos que deben tenerse en cuenta para usar este tipo de iluminación.

La Iluminación de estado sólido se refiere a un tipo de iluminación en la que se emplean los diodos LED como fuente de luz, las características más importantes de estos son: alta eficiencia de conversión de la energía eléctrica en luz, bajo consumo de energía, reducido calentamiento (luz fría), extremadamente larga vida útil (actualmente 100.000horas), amplio espectro de colores visibles (16 millones aproximadamente), fuentes de luz de tamaño reducido, alta robustez.

Su bajo consumo y su larga vida útil, comparada con otras fuentes de luz (, lámparas incandescentes, tubos fluorescentes y lámparas de alta y baja presión) son características que posicionan este tipo de fuente de luz dentro del grupo de los productos ambientalmente amigables y ecológicos. Su precio y disponibilidad en el mercado son cada vez más accesibles, debido a la producción robotizada característica de todos los productos y dispositivos electrónicos, permitiendo que los diseñadores cuenten con una nueva alternativa para los diseños de iluminación, novedosos y sin precedentes, para todas las aplicaciones presentes y futuras.

INTRODUCCION

El rápido desarrollo de los LED's (Light Emitting Diodes) como nuevas fuentes de emisión luminosa ha permitido que de ser considerados simplemente indicadores luminosos, pasen a ser habitualmente empleados en sistemas de señalización luminosa y en los sistemas de alumbrado e iluminación. Esto ha sido posible por la elevada vida media de los LED's de las últimas generaciones, el notable incremento de su luminosidad y su reducido consumo y bajo costo de mantenimiento, ofreciendo una alta eficiencia en la conversión de energía.

La iluminación de estado sólido ha podido evolucionar gracias a la utilización de nuevos materiales que han permitido crear LED's para todo el espectro visible, ofreciendo al mismo tiempo una eficiencia lumínica que supera a la de las lámparas incandescentes. Estos eficientes y coloridos nuevos LED's están expandiendo su dominio a un amplio rango de aplicaciones en todo tipo de iluminación.

El empleo en los sistemas de iluminación con base en LED's tradicionales ha sido bastante limitado hasta la actualidad, dado que los niveles de iluminación necesarios son muy elevados y los requerimientos en cuanto a la "calidad visual" de la iluminación que produce cualquier fuente luminosa empleada para iluminación convencional, exige altas prestaciones en cuanto al aspecto del color de dicha luz (temperatura de color de la fuente), índices de reproducibilidad cromática, posibilidad de control de los haces luminosos y confort visual: reducción de deslumbramientos molestos directos e indirectos. Todos estos aspectos han sido superados por los LED's de última generación que cuentan con las siguientes características, entre otras: manejan todo el espectro de colores, elevadas intensidades y posibilidad de agrupación e incorporación de elementos ópticos que permitan regular, direccionar y apantallar la iluminación según convenga para cada aplicación, alta vida media, bajos costos de trabajos de mantenimiento y reposición, reducido consumo de energía (disminución en los costos de mantenimiento de las instalaciones e incluso posibilidad del empleo de baterías).

El objetivo fundamental que se plantea con el desarrollo de este proyecto es el estudio de la tecnología de LED's en sistemas de alumbrado y sus diferentes tipos de aplicaciones y el análisis de los requerimientos a la luz de la normativa aplicable.

CONTENIDO

	Pág.
1. QUE ES LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO	21
2. LOS DIODOS LED's	23
2.1. TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE LOS LED'S	23
2.1.1 Que es un semiconductor	23
2.1.2 Tipos de semiconductores	25
2.1.3 Fabricación de los LED's	29
2.1.4 Funcionamiento físico del LED	31
2.1.5 Los colores en los LED's	33
2.1.6 Aspecto físico de los LED's	35
2.2. TIPOS DE LED'S (ALTA LUMINOSIDAD)	39
2.3. GRANDES FABRICANTES DE LED'S EN EL MUNDO	43
2.3.1 Philips Lumileds Lighting Company	43
2.3.2 Osram	43
2.3.3 LED's International LLC	44
2.3.4 CREE	44
2.3.5 NEO NEON	44
3. BENEFICIOS DE LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO	45
3.1 REDUCIDO MANTENIMIENTO	46
3.1.1 Alta robustez	46
3.2 MAYOR AHORRO DE ENERGÍA	47
3.3 FLEXIBILIDAD DE DISEÑO	48
3.4 AMPLIO ESPECTRO DE COLORES NATURALES	50
3.5 ILUMINACIÓN ESPECIAL CON LED's	57
3.5.1 Diodos IR	57
3.5.2 Diodos UV	58
3.5.3 Diodos Láser	59
3.6 LUZ INSTANTÁNEA SIN PARPADEOS Y SIN LA NECESIDAD	

DE UN PRECALENTAMIENTO	60
3.7 BENEFICIOS ECOLÓGICOS	61
3.7.1 Iluminación LED en medicina lámpara LED para el tratamiento de la hiperbilirrubinemia neonatal	61
3.7.2 LED en turbinas dentales la innovación actual	62
3.7.3 Nuevos descubrimientos en la tecnología LED claves para la conservación de las tortugas	62
4. ALGUNOS EJEMPLOS Y APLICACIONES COMERCIALES ACTUALES DE LA ILUMINACIÓN DE ESTADO SOLIDO	67
4.1 APLICACIONES COMERCIALES	72
4.1.1 Señalización con LED's	72
4.1.2 Semáforos con LED's	76
4.1.3 Alumbrado público	78
4.1.4 Iluminación General	83
4.1.5 Iluminación residencial para hogares fuera de la red	83
4.1.6 Iluminación arquitectónica, publicitaria y decorativa	86
4.1.7 Iluminación en vehículos	87
4.1.8 Luminarias industriales	87
5. EVOLUCION Y PROYECCION (FUTURO DE LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO)	89
5.1 EVOLUCIÓN DE LOS LED's	89
5.2 PROYECCION DE LA ILUMINACIÓN DE ESTADO SOLIDO	91
5.2.1 Nuevas opciones de iluminación: Píxeles de LED's.	91
6. INSTALACIONES PARA LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO	93
6.1 ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION TRADICIONAL IMPLEMENTADA CON BOMBILLOS LED's	93
6.2 ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	98
6.2.1 Energía Fotovoltaica	98
6.2.2 Elementos de una instalación fotovoltaica	99
6.2.3Funcionamiento de una red eléctrica domiciliaria empleando	

corriente continua generada por medio de energía fotovoltaica	102
6.2.4 Protección contra sobrecargas y cortocircuitos en corriente continua (DC)	103
6.2.5 Instalación y selección de la protección para corriente continua (DC)	109
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113

CONTENIDO DE FIGURAS

	FIGURA	Pág.
1	Germanio de gran pureza	24
2	Silicio de gran pureza	24
3	Salto de un electrón a la banda de conducción	26
4	Movimiento de electrones en el material semiconductor tipo n	27
5	Estructura atómica del semiconductor tipo n	27
6	Movimiento de electrones en el material semiconductor tipo p	28
7	Estructura atómica del semiconductor tipo p	28
8	Construcción del diodo LED	29
9	Funcionamiento del LED	32
10	Diagrama de cromaticidad	34
11	Estructura del LED	35
12	Luz emitida por los LED's	36
13	LED's Transparente o clear water	37
14	LED's Coloreados o tinted	37
15	LED's difuso o difused	38
16	LED's lechosos o milky	38
17	LED de 5 mm	40
18	LED's Super Flux O Tipo araña	41
19	LED's ovales	41
20	LED de alta potencia	42
21	LED's RGB	43
22	Vallas publicitarias en los juegos olímpicos Beijing 2008	45
23	Bombilla tradicional con cubierta frágil de vidrio	46
24	Bombilla con LED's Compacta con cristal de alta resistencia	47
25	Panel-led	48
26	Diseños arquitectónicos con LED's	49

27	Sistema de iluminación de estado sólido	50
28	Iluminación con múltiples colores	50
29	Diodos infrarrojos	58
30	Luz emitida por diodos ultravioleta	58
31	Diodo laser	59
32	Aplicación del diodo laser	60
33	Pre calentamiento de una lámpara fluorescente	61
34	luz de una lámpara con LED's	61
35	Comparación: lámparas halógenas y luminiscente LED blanco	62
36	Lámpara LED para señalización de torres y antenas de comunicaciones	72
37	Balizas con LED's para helipuertos y barco	73
38	Baliza marina con LED's	73
39	Reflector LED para señalización de cabinas de peaje	74
40	Estructura de una baliza LED de señalizamiento de aeropuertos y vías vehiculares	75
41	Balizas LED viales	76
42	Semáforos con LED's	76
43	semáforos peatonales con LED's	78
44	Rendimiento fotométrico de una lámpara LED	80
45	Comparación entre una lámpara de haluro metálico 250W y una luminaria de LED's de 112W	81
46	Comparación de la aureola y la temperatura de color para luminarias de LED's y las lámparas convencionales de la calle	82
47	Iluminación de interiores	83
48	Elementos de una instalación fotovoltaica	85
49	Iluminación publicitaria y decorativa	86
50	Pantallas electrónicas publicitarias	86
51	Barras de iluminación con LED's	87
52	Iluminación LED en vehículos	87
53	Iluminación industrial con LED's	88
54	Píxeles de LED's	91

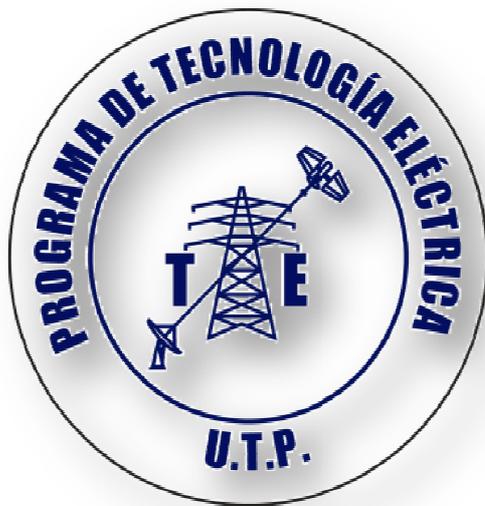
55	Red de pixeles de LED's	92
56	Instalación eléctrica residencial	94
57	Tablero y protecciones contra sobrecarga	94
58	Protección contra sobretensiones	96
59	Tablero con las protecciones para sobrevoltajes	96
60	Bombillo incandescente	97
61	Bombillo LED	97
62	Diagrama de una instalacion fotovoltaica	99
63	Elementos de una estación fotovoltaica	100
64	Banco de baterías	101
65	Grupo de paneles solares	102
66	Protección para sobretensiones interruptor DS210	105
67	Protección tipo 1 para fotovoltaico interruptor DS60PV	106
68	Protección tipo II para fotovoltaico interruptor DS50PVS-1000	108
69	Protección para sobretensiones interruptor DS210	111

CONTENIDO DE TABLAS

	TABLA	Pág.
1	Materiales y frecuencias de emisión típicas de un LED	33
2	tabla de colores HTML	57
3	Iluminación incandescente Vs iluminación de estado solido	65
4	Iluminación fluorescente Vs iluminación de estado solido	66
5	Iluminancias para ambientes al interior	71

009

ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO



ANDRES FELIPE GALLO GARCIA
CESAR AUGUSTO RUEDA ROBAYO
JOSE LEONARDO BETANCUR M.



OGRAFIA DEL ESTADO DEL
TE DE LA ILUMINACION DE
ESTADO SOLIDO

ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO

MONOGRAFIA DEL ESTADO DEL ARTE DE LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
2009

OBJETIVOS

Objetivo general.

Elaborar un documento que recopile el estado del arte de la iluminación de estado sólido.

Objetivos específicos.

- Recopilar información respecto a la iluminación de estado sólido
- Organizar y determinar la información importante para el estudio y análisis de la iluminación de estado sólido
- Elaborar un documento detallado y completo con la información recopilada

GLOSARIO

- **LED:** Su nombre proviene de las siglas de las palabras en inglés Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz) es un dispositivo semiconductor que puede emitir luz policromática, es decir, con diferentes longitudes de onda, cuando se polariza directamente y es atravesado por la corriente eléctrica de ánodo a cátodo.
- **RGB:** RGB (del inglés *Red, Green, Blue*; "Rojo, Verde, Azul") de un color hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores [6].
- **Estado sólido:** Es uno de los tres estados de agregación de la materia, se caracteriza porque opone resistencia a cambios de forma y de volumen.[7]
- **Lumen:** El lumen (símbolo lm) es la unidad del Sistema Internacional de Unidades para medir el flujo luminoso. La relación entre vatios y lúmenes se llama eficacia luminosa de la radiación y tiene la siguiente equivalencia 1Watio-luz a 555nm = 683lm (555 nanómetros, es la longitud de onda a la que corresponde el color verde de la luz visible). También se puede definir al flujo luminoso como la cantidad de luz que emite un foco por segundo y en todas direcciones [15].
- **Incandescencia:** Los materiales sólidos y líquidos al calentarse, emiten radiación visible a temperaturas superiores a 1.000°K, éste fenómeno recibe el nombre de incandescencia [36].
- **Florescencia:** La fluorescencia es la propiedad de una sustancia o materia para emitir luz cuando es expuesta a radiaciones del tipo ultravioleta, rayos catódicos o rayos X [36].
- **Descarga por arco:** La descarga eléctrica es una técnica utilizada en las modernas fuentes de luz para el comercio y la industria, debido a que la producción de luz es más eficaz [36].
- **Candela:** La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hertz y cuya intensidad energética en dicha dirección es 1/683 vatios por estereorradián [37].

- **Resina epoxi:** Son productos obtenidos a partir del bisfenol A y la epiclorhidrina, destinados a coladas, recubrimientos, estratificados, encapsulados, prensados, extrusionados, adhesivos y otras aplicaciones de consolidación de materiales.
- **Electrón:** Se conoce como electrón a la partícula elemental más ligera que constituye a los átomos y que presenta la mínima carga posible de electricidad negativa. Se trata de una partícula subatómica que rodea al núcleo del átomo, que está compuesto por protones y neutrones [38].
- **Fotón:** El fotón es una partícula cuya carga y masa en reposo son nulas y que se mueve continuamente a la velocidad de la luz. Una luz muy intensa es aquella que posee muchos fotones; una luz muy energética es la que posee fotones de gran energía. A cada fotón le corresponde una determinada energía que es función de la frecuencia de la radiación en la que se integra - mayor frecuencia mayor energía.
- **LUX:** (símbolo lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un lumen /m². Se usa en fotometría como medida de la intensidad luminosa, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano [39].

1. QUE ES LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO

La iluminación de estado sólido se refiere a un tipo de iluminación en la que se emplean diodos LED (Diodo Emisor de Luz) de alta luminosidad. El término "sólido" hace referencia al hecho que un LED como fuente de luz está fabricado por semiconductores de estado sólido.

Los dispositivos que utilizan la Iluminación de estado sólido pueden conseguir luz con un menor calentamiento y una mayor eficiencia en la conversión de la energía. Además, el estado sólido permite lograr dispositivos de mayor resistencia y fiabilidad ante diferentes condiciones de operación, lo que presenta numerosas ventajas en los sistemas de iluminación críticos.

Entre sus principales ventajas se destacan: [1] [2]

- Bajo consumo de potencia.
- Mayor eficiencia de la transformación de energía eléctrica en energía lumínica
- Emisión de una amplia gama de colores naturales, desde el ultravioleta (UV) hasta el infrarrojo (IR)
- Menor pérdida de calor
- Mayor resistencia a vibraciones (robustez mecánica)
- Mayor seguridad y confiabilidad
- Vida útil hasta 100.000 horas (aproximadamente 11 años)

La iluminación con LED's o de estado sólido, constituye el avance más significativo en el campo de la iluminación desde la invención de la luz eléctrica incandescente desde hace más de un siglo. Con una libertad de diseño sin precedentes en cuanto al color, la dinámica, la miniaturización, la integración arquitectónica y la eficiencia energética, las posibilidades de diseño que se abren con esta tecnología serán inimaginables.

La iluminación de estado sólido ofrece claros ahorros de energía y beneficios medioambientales en comparación con las lámparas incandescentes o fluorescentes tradicionales. Los principios fundamentales de la física imponen límites más severos a la eficiencia de las luces incandescentes y fluorescentes que a la de las luces de estado sólido. En teoría, y como un ejemplo, se estima que en promedio los dispositivos de estado sólido con materiales y diseños adecuados exigirían sólo 10 vatios para generar la luz obtenida de una bombilla incandescente de 60 vatios.

En el futuro, el desarrollo de fuentes de estado sólido para reemplazar la iluminación tradicional reducirá el consumo de energía y la dependencia del petróleo, así como las emisiones de gases de efecto invernadero, el dióxido de azufre causante de las lluvias ácidas, y el mercurio [3].

La iluminación de estado sólido pretende cambiar por completo la iluminación tradicional pues sus características y ventajas ayudarán al ahorro energético y a disminuir el calentamiento global y su impacto medioambiental.

Los LED's tendrán un papel importante al apuntar hacia la eficiencia energética en el sector de la iluminación. Los beneficios de esta tecnología avanzada son muchos y los productos comerciales que los contienen ya están emergiendo para muchas aplicaciones (como los semáforos, iluminación publicitaria, iluminación arquitectónica y estructural, iluminación de interiores y exteriores, etc.), la iluminación de estado sólido sin duda es la mejor opción que se tiene actualmente para todo tipo de iluminación.

El mayor inconveniente que tiene el LED sin duda es su precio, pero si evaluamos sus múltiples e inmejorables condiciones de funcionamiento, y sobre todo su larga vida en comparación con los demás sistemas de iluminación tradicionales, estamos en condiciones de afirmar que es la inversión más sensata, eficaz y rentable que podemos hacer [19].

Otras características que hacen que este tipo de iluminación sea muy atractiva para las futuras instalaciones residenciales, es su fácil adaptación a la domótica, que es más simple que con la iluminación convencional, y la posibilidad de alimentar los sistemas con fuentes de energía solar y baterías.

2. LOS DIODOS LED

2.1 TECNOLOGIA DE FABRICACION DE LOS DIODOS LED

El LED es un dispositivo electro-óptico cuyo componente fundamental es un chip semiconductor que emite luz cuando se le aplica una corriente eléctrica.

Las diferentes características fundamentales del LED, como su potencia, color, emisión luminosa, etc., son variables que se obtienen modificando las propiedades de ese chip (composición, estructura, combinaciones de chips, etc.) y de otros componentes que le rodean y forman parte del LED.

Los LED's están contruidos por semiconductores. El dispositivo semiconductor está comúnmente encapsulado en una cubierta de plástico (resina epoxidica) de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes.

2.1.1 Que es un semiconductor. La denominación semiconductor advierte en si misma sus características. El prefijo semi es aplicado normalmente en un rango de nivel entre dos límites. Un semiconductor es una sustancia que se comporta como conductor o como aislante dependiendo de las condiciones físico-químicas a las cuales sea sometido.

Un semiconductor es un componente que no es directamente un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante. En un conductor la corriente es debida al movimiento de las cargas negativas (electrones). En los semiconductores se producen corrientes producidas por el movimiento de electrones como de las cargas positivas (huecos). Los semiconductores son aquellos elementos pertenecientes al grupo IV de la Tabla Periódica (Silicio, Germanio, etc). Generalmente a estos se le introducen átomos de otros elementos, denominados impurezas, de forma que la corriente se deba primordialmente a los electrones o a los huecos, dependiendo de la impureza introducida. Otra característica que los diferencia se refiere a su resistividad, estando ésta comprendida entre la de los conductores y la de los aislantes [23].

Los materiales semiconductores más conocidos son: Silicio (Si) y el Germanio (Ge), los cuales poseen cuatro electrones de valencia en su último nivel. Por otra parte, hay que decir que tales materiales forman también una estructura cristalina y son muy comunes en la naturaleza [22].

El carbono, el silicio y el germanio poseen una propiedad única en su estructura electrónica, cada uno posee 4 electrones en su órbita externa lo que les permite combinar o compartir estos electrones con 4 átomos vecinos, formando así una malla cuadrangular o estructura cristalina, de esta forma no quedan electrones libres como en el caso de los conductores que poseen electrones libres en su última orbita que pueden moverse a través de los átomos formando así una corriente eléctrica.



Figura 1. Germanio de gran pureza



Figura 2. Silicio de gran pureza

- **Conducción eléctrica.** Para que la conducción de la electricidad sea posible es necesario que haya electrones que no estén ligados a un enlace determinado (en la banda de valencia), sino que puedan desplazarse fácilmente por la superficie de la estructura cristalina (en la banda de conducción). La separación entre la banda de valencia y la de conducción se llama banda prohibida, porque en ella no puede haber portadores de corriente.

La conductividad de la materia puede clasificarse de la siguiente forma, de acuerdo con la energía que se necesita para generar electrones libres, teniendo en cuenta que este tipo de energía puede obtenerse de muchas formas (luz, calor, presión, cinéticamente, etc.):

- **Material conductor,** el término conductor se aplica a cualquier material que permite un flujo generoso de carga cuando una fuente de voltaje de magnitud limitada se aplica a través de sus terminales.

No existe banda prohibida, estando superpuestas las bandas de valencia y conducción. Esto hace que siempre haya electrones en la banda de conducción, por lo que su conductividad es muy elevada.

Esta conductividad disminuye lentamente al aumentar la temperatura, por efecto de las vibraciones de los átomos de la red cristalina.

- **Los aislantes (o dieléctricos)**, un aislante o dieléctrico es un material que presenta un nivel muy inferior de conductividad cuando se encuentra bajo la presión de una fuente de voltaje aplicada

La magnitud de la banda prohibida es muy grande (6 eV), de forma que todos los electrones del cristal se encuentran en la banda de valencia incluso a altas temperaturas por lo que, al no existir portadores de carga libres, la conductividad eléctrica del cristal es nula.

- **Los semiconductores**, en los semiconductores la magnitud de la banda prohibida es pequeña (1 eV), de forma que a bajas temperaturas son aislantes, pero conforme aumenta la temperatura algunos electrones van alcanzando niveles de energía dentro de la banda de conducción, aumentando la conductividad. Otra forma de aumentar la conductividad es añadiendo impurezas que habiliten niveles de energía dentro de la banda prohibida. Pueden conducir la electricidad; pero además, su conductividad puede regularse, puesto que bastará disminuir la energía aportada para que sea menor el número de electrones que salte a la banda de conducción [24].

2.1.2 Tipos de semiconductores:

- **Semiconductores intrínsecos.** Un cristal de silicio forma una estructura tetraédrica como la del carbono mediante enlaces covalentes entre sus átomos, que se muestran en la figura xxx representados en el plano por simplicidad. Cuando el cristal se encuentra a temperatura ambiente, algunos electrones pueden, absorbiendo la energía necesaria, saltar a la banda de conducción dejando tras de sí el correspondiente hueco en la banda de valencia (1). Las energías requeridas, a temperatura ambiente, son de 1,12 y 0,67 eV para el silicio y el germanio respectivamente.

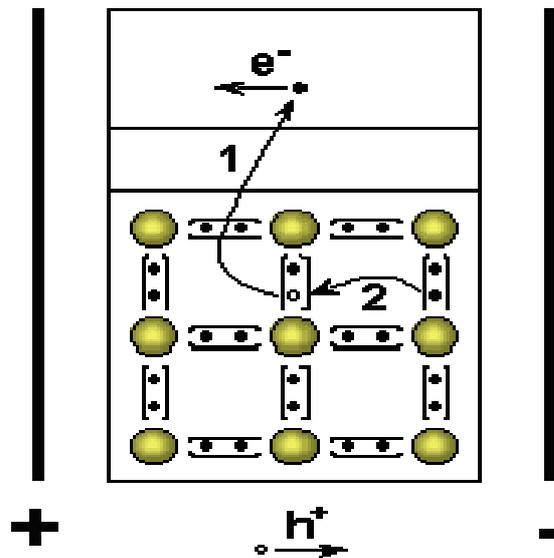


Figura 3. Salto de un electrón a la banda de conducción

Obviamente el proceso inverso también se da, de modo que los electrones pueden caer desde el estado energético correspondiente a la banda de conducción a un hueco en la banda de valencia, liberando energía. A este fenómeno se le denomina recombinación. A una determinada temperatura, las velocidades de creación de pares e-h y de su recombinación se igualan, de modo que la concentración global de electrones y huecos permanece invariable. Siendo "n" la concentración de electrones (cargas negativas) y "p" la concentración de huecos (cargas positivas), se cumple que $n_i = n = p$, donde n_i es la concentración intrínseca del semiconductor, y es función exclusiva de la temperatura.

Si se somete el cristal a una diferencia de tensión, se producen dos corrientes eléctricas. Por un lado la debida al movimiento de los electrones libres de la banda de conducción, y por otro, la debida al desplazamiento de los electrones en la banda de valencia, que tenderán a saltar a los huecos próximos (2), originando una corriente de huecos en la dirección contraria al campo eléctrico cuya velocidad y magnitud es muy inferior a la de la banda de conducción.

- **Semiconductores extrínsecos.** Si a un semiconductor intrínseco, como el anterior, se le añade un pequeño porcentaje de impurezas controladas, es decir, elementos trivalentes o pentavalentes, el semiconductor se denomina extrínseco, y se dice que está dopado. Evidentemente, las impurezas deberán añadirse de forma tal que pasen a formar parte de la estructura cristalina sustituyendo al correspondiente átomo de silicio.

- **Semiconductor tipo N.** Es el que está impurificado con impurezas "donadoras", que son impurezas pentavalentes (son elementos cuyos átomos tienen cinco electrones de valencia en su orbital exterior. Entre ellos se encuentran el fósforo, el antimonio y el arsénico). Como los electrones superan a los huecos en un semiconductor tipo n, reciben el nombre de "portadores mayoritarios", mientras que a los huecos se les denomina "portadores minoritarios".

Al aplicar una tensión al semiconductor de la figura, los electrones libres dentro del semiconductor se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. Cuando un hueco llega al extremo derecho del cristal, uno de los electrones del circuito externo entra al semiconductor y se recombinan con el hueco.

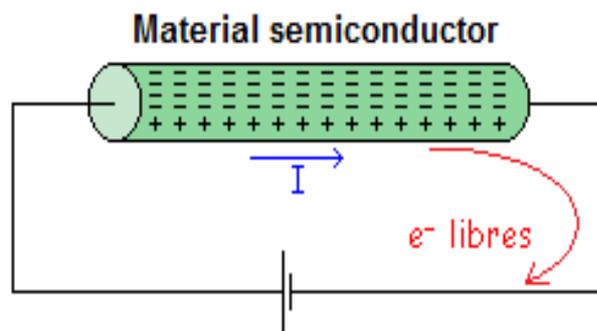


Figura 4. Movimiento de electrones en el material semiconductor tipo n

Los electrones libres de la figura circulan hacia el extremo izquierdo del cristal, donde entran al conductor y fluyen hacia el positivo de la batería. El número de electrones libres se llama n (electrones libres/m³).

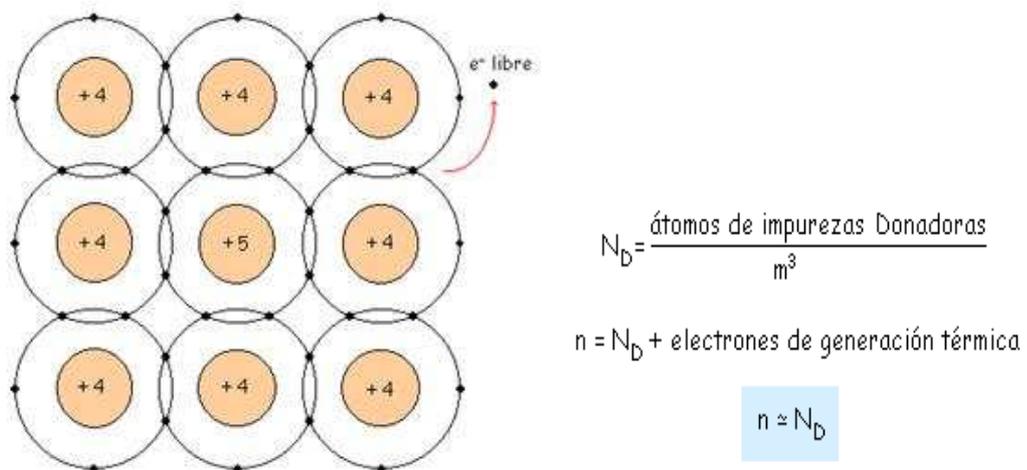


Figura 5. Estructura atómica del semiconductor tipo n

- **Semiconductor tipo P.** Es el que está impurificado con impurezas "aceptoras", que son impurezas trivalentes (son elementos cuyos átomos tienen tres electrones de valencia en su orbital exterior. Entre ellos se encuentran el boro, el galio y el indio). Como el número de huecos supera el número de electrones libres, los huecos son los portadores mayoritarios y los electrones libres son los minoritarios. Al aplicarse una tensión, los electrones libres se mueven hacia la izquierda y los huecos lo hacen hacia la derecha. En la figura, los huecos que llegan al extremo derecho del cristal se recombinan con los electrones libres del circuito externo.

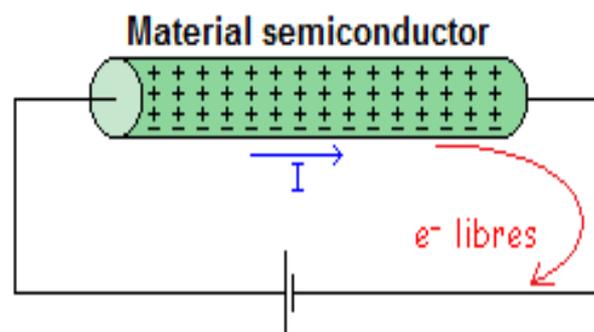
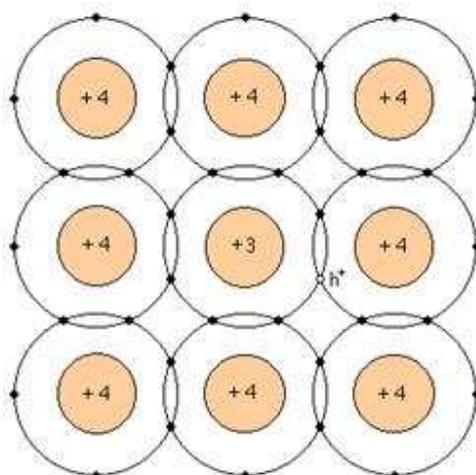


Figura 6. Movimiento de electrones en el material semiconductor tipo p

En el circuito hay también un flujo de portadores minoritarios. Los electrones libres dentro del semiconductor circulan de derecha a izquierda. Como hay muy pocos portadores minoritarios, su efecto es casi despreciable en este circuito. Hay tantos huecos como impurezas de valencia 3 y sigue habiendo huecos de generación térmica (muy pocos). El número de huecos se llama p (huecos/m³) [25].



$$N_A = \frac{\text{átomos de impurezas Aceptoras}}{m^3}$$

$$p = N_A + \text{huecos de generación térmica}$$

$$p \approx N_A$$

Figura 7. Estructura atómica del semiconductor tipo p

2.1.3 Fabricación de los LED's. Para la fabricación de los LED's se deben cumplir los siguientes pasos:



Figura 8. Construcción del diodo LED

El primer paso en el proceso es la creación de una oblea semiconductora (*wafers*). La composición de la oblea puede ser GaAs, GaP, GaAsP, InGaN. Esto depende de qué color se quiera que emita el LED. El semiconductor cristalino se forma en una cámara a una alta temperatura y a una alta presión. Los elementos químicos que forman el LED son purificados y mezclados entre sí en la cámara. La presión y las altas temperaturas licúan los elementos hasta que se convierten en una solución. Para que no se escape el gas se utiliza una capa líquida de óxido de boro. A este proceso se le llama encapsulación líquida o Método Czochralski.

Una vez los elementos estén mezclados en una solución uniforme, se introduce una barra y se saca muy despacio. Mientras la solución se enfría, las cristalizaciones se forman al final de la barra mientras se saca de la cámara. Estas cristalizaciones son conocidas como lingotes de GaAs, GaP, GaAsP, o InGaN.

El segundo paso consiste en cortar el lingote en tiras muy finas de obleas de semiconductor, aproximadamente de unos 10mm de ancho. Después se pulen las obleas hasta que la superficie sea muy suave. Cada oblea tiene que ser un único cristal de composición uniforme. Es muy importante que existan la menor cantidad de imperfecciones posibles, si hay muchas imperfecciones, la oblea no funcionará como semiconductor.

El tercer paso consiste en la limpieza de las obleas con un riguroso proceso químico y ultrasónico. Este proceso elimina la suciedad, polvo y materia

orgánica que haya podido depositarse en la superficie pulida. Cuanto más limpio sea el proceso, mejor será el resultado del LED obtenido.

Durante el cuarto paso, se crean capas adicionales de cristal semiconductor en la superficie de la oblea. Esta es una forma de añadir impurezas al cristal. A este proceso se le llama dopado (*doping*). En esta ocasión las capas de cristal son creadas por un proceso llamado fase líquida epitaxial (*Liquid Phase Epitaxy*) (LPE). En esta técnica las capas semiconductoras que poseen la misma orientación que los substratos inferiores son depositadas en una oblea que está sumergida en un recipiente con material derretido. Este recipiente contiene los "dopantes" apropiados. La oblea se coloca sobre una base de grafito, la cual se empuja a través de un canal bajo el contenedor con el líquido derretido "*melt*". Se pueden añadir distintos dopantes "*melts*" secuenciados, o en el mismo "*melt*", creando capas de material con distintas densidades electrónicas. Las capas depositadas se convertirán en la continuación de la estructura cristalina de la oblea. La fase líquida epitaxial crea una capa de material excepcionalmente uniforme, lo que lo convierte en el proceso más usado.

El quinto paso consiste en añadir más dopantes para alterar las características del diodo para su eficiencia o color. Si se realiza el dopado adicional, la oblea se vuelve a colocar en un tubo de alta temperatura otra vez, en la que se sumerge en una atmósfera gaseosa que contiene los dopantes, nitrógeno o amonio de zinc son los más comunes. El nitrógeno se añade frecuentemente a la capa superior del diodo para que la luz sea más amarilla o más verde.

El sexto paso es cuando los contactos de metal se definen en la oblea. El patrón de los contactos se determina en la fase de diseño y depende de si los diodos van a ser usados individualmente o en combinaciones. Los patrones de los contactos son reproducidos en foto-resistencia (*photoresist*), un compuesto sensible a la luz; el líquido "*resist*" se deposita en las gotas mientras que la oblea gira, distribuyéndolo sobre la superficie. El "*resist*" se endurece calentándolo brevemente a 100°C. Después el patrón maestro, o máscara, se duplica en el "*photoresist*" al colocarlo sobre la oblea y exponiendo el "*resist*" a luz ultravioleta. Las áreas expuestas del "*resist*" se lavan con el revelador, y las áreas que no han sido expuestas se quedan, cubriendo las capas de los semiconductores.

El séptimo paso es cuando el contacto de metal se evapora en el patrón, llenando las áreas expuestas. La evaporación tiene lugar en otra cámara de alta temperatura, esta vez al vacío. Una pieza de metal se calienta a temperaturas que provocan que se vaporice. Se condensa y se pega a la oblea de semiconductor expuesta. El "*photoresist*" se puede eliminar lavándose con acetona, dejando solo los contactos de metal. Dependiendo del esquema final de montaje del LED, se puede evaporar una capa adicional de metal en la parte posterior de la oblea. Todo metal depositado tiene que

pasar por un proceso de recocido “*annealing process*”, en el que la oblea se calienta a varios cientos de grados y se deja en el horno (con una atmosfera inerte de hidrogeno o nitrógeno pasando por ella) durante periodos de varias horas. Durante este tiempo el metal y el semiconductor se unen químicamente para que los contactos no se separen.

Paso ocho, en este punto ya tenemos una oblea de dos pulgadas de diámetro que tendrá en ella el mismo patrón repetido hasta 6000 veces, esto nos da una idea del tamaño de los diodos cuando están terminados. Los diodos se separan cortando la oblea con una sierra de diamante. A cada segmento se le llama “*die*”. Debido a lo complicado de este proceso, nunca se consigue que los 6000 LED’s sean usables. Esto es uno de los grandes retos al para limitar los costos de producción de los semiconductores.

El noveno paso es cuando los “*dies*” se montan en su soporte “*package*”. Si el diodo va a ser usado como indicador se monta sobre dos conectores de metal de unas dos pulgadas. Normalmente la parte trasera de la oblea tiene una capa de metal y forma un contacto eléctrico con el conector sobre el que se coloca. Un minúsculo cable de oro se suelda al otro conector y a los contactos de la base del “*die*”.

Decimo paso, todo se sella en plástico epóxico. Los cables se suspenden dentro de un molde con una forma diseñada según las necesidades ópticas del LED, y el molde se llena con plástico líquido. La resina epoxica se cura y el LED está terminado [26].

2.1.4 Funcionamiento físico del LED. Cuando se unen Silicio N y Silicio P, tenemos una juntura semiconductor P-N este es el dispositivo semiconductor más simple y es conocido con el nombre de diodo y es la base de toda la electrónica moderna.

Cuando conectamos el diodo a una batería con el terminal P al borne negativo y el terminal N al borne positivo (lo conectamos en inversa) tenemos que en el primer caso los huecos son atraídos por los electrones que provienen del terminal negativo de la batería y ese es el fin de la historia. Lo mismo sucede del lado N, los electrones libres son atraídos hacia el terminal positivo. Por lo tanto no circula corriente por la juntura ya que electrones y agujeros se movieron en sentido contrario (hacia los terminales del diodo). Si damos vuelta el diodo (lo conectamos en directa), tenemos que los electrones libres del terminal N se repelerán con los electrones libres del terminal negativo de la batería por lo que los primeros se dirigirán a la zona de juntura. En el terminal positivo tenemos que los huecos del terminal P se repelerán con los huecos del terminal positivo de la batería por lo tanto los huecos del semiconductor se dirigirán a la juntura.

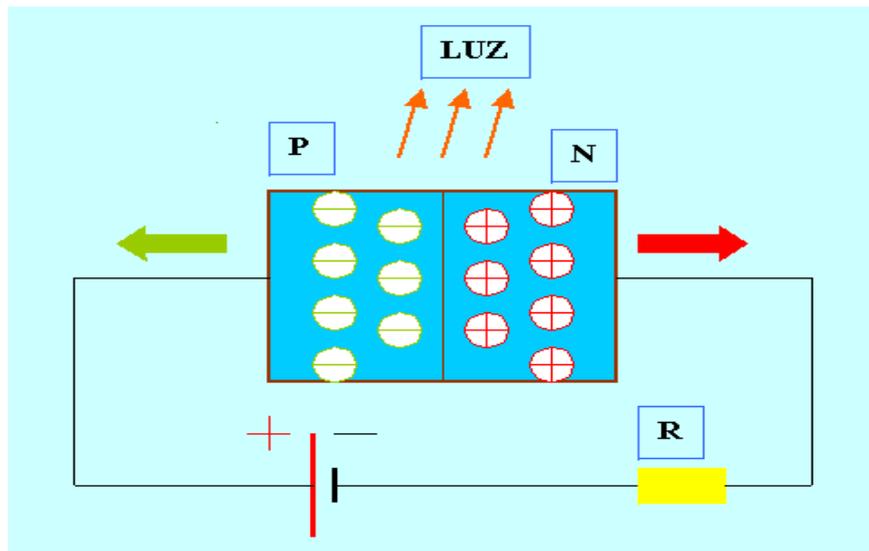


Figura 9. Funcionamiento del LED

En la juntura los electrones y los huecos se recombinan formando así una corriente que fluirá en forma permanente.

Un diodo real cuando se conecta en reversa tiene una pequeña corriente de pérdida del orden de los $10\mu\text{A}$ que se mantiene aproximadamente constante mientras la tensión de la batería no supere un determinado nivel, luego del cual la corriente crece abruptamente, esta zona se llama zona de ruptura o avalancha. Generalmente esta zona queda fuera de las condiciones normales de funcionamiento. Hay que mencionar que dicha corriente inversa es casi linealmente dependiente de la temperatura.

Cuando el diodo se conecta en directa veremos que sobre sus extremos se produce una caída de tensión del orden de los 0.6V para los diodos de silicio normales. Esta caída de tensión es un reflejo de la energía necesaria para que los electrones salten la juntura y es característica de cada material. Este valor es conocido como potencial de salto de banda (*band gap*).

Tenemos entonces que para sacar un electrón de su órbita necesitamos energía y que esta se pierde en el transcurso de su recorrido dentro del diodo, esta energía se transforma en radiación, básicamente calor u ondas infrarrojas en un diodo normal.

Como dijimos, si la energía que se necesita es pequeña, se tendrá que dicha energía se emitirá en ondas infrarrojas de relativamente baja frecuencia, si el material necesitara más energía para que se produzca el paso de la corriente, las ondas que emitirá el diodo tendrían más energía y se pasaría de emitir luz infrarroja a roja, naranja, amarilla, verde, azul, violeta y ultravioleta, dependiendo del material de construcción del diodo. O sea el diodo emitiría luz monocromática en el espectro visible y más allá. Por

supuesto a más longitud de onda mayor será la caída de tensión por lo que pasaremos de 0.6v de caída para un diodo normal a 1,3 v para un LED infrarrojo, 1,8V para un LED rojo, 2,5V para uno verde, y 4,3V para un LED azul y más de 5V para un LED ultravioleta.

Estas distintas longitudes de ondas se forman combinando distintas proporciones de materiales, los mismos que se mencionaron anteriormente.

2.1.5 Los colores en los LED's. En la siguiente tabla. Se detallan las distintas frecuencias de emisión típicas de los LED's comercialmente disponibles y sus materiales correspondientes. Los datos técnicos fueron obtenidos de distintos fabricantes. Es de notar que la resolución del ojo es del orden de los 3 a 5 nm según el color de que se trate.

Frecuencia (nm)	Color	Material
940	Infrarrojo	GaAs
890	Infrarrojo	GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660	Rojo profundo	GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630	Rojo	GaAsP/GaP
626	Rojo	AlInGaP
615	Rojo – Naranja	AlInGaP
610	Naranja	GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590	Amarillo	AlInGaP
565	Verde	GaP
555	Verde	GaP
525	Verde	InGaN
525	Verde	GaN
505	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
498	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450	Azul	InGaN/Zafiro
430	Azul	GaN
425	Azul	InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

Tabla 1. Materiales y frecuencias de emisión típicas de un LED

Para tener una idea aproximada de la relación entre la frecuencia expresada en nanómetros y su correspondencia con un color determinado a continuación se presenta un grafico simplificado del triangulo de Maxwell o diagrama de cromaticidad (Fig.10). Cada color se puede expresar por sus

coordenadas X e Y. Los colores puros o saturados se encuentran en el exterior del triángulo y a medida que nos acercamos a su centro el color tiende al blanco. El centro de la zona blanca es el blanco puro y suele expresarse por medio de la temperatura de color, en grados Kelvin.

Simplificando, podemos decir que un cuerpo negro al calentarse empieza a emitir ondas infrarrojas, al subir la temperatura empieza a tomar un color rojizo, esto es en los 770 nm, al seguir elevándose la temperatura, el color se torna anaranjado, amarillento y finalmente blanco, describiendo una parábola desde el extremo inferior derecho hacia el centro del triángulo. Por lo tanto, cada color por donde pasa dicha parábola puede ser representado por una temperatura equivalente. El centro del triángulo (blanco puro) corresponde con una temperatura de 6500K. El tono de los LED's blanco viene expresado precisamente en grados kelvin. Una temperatura superior significa un color de emisión blanco – azulado [16].

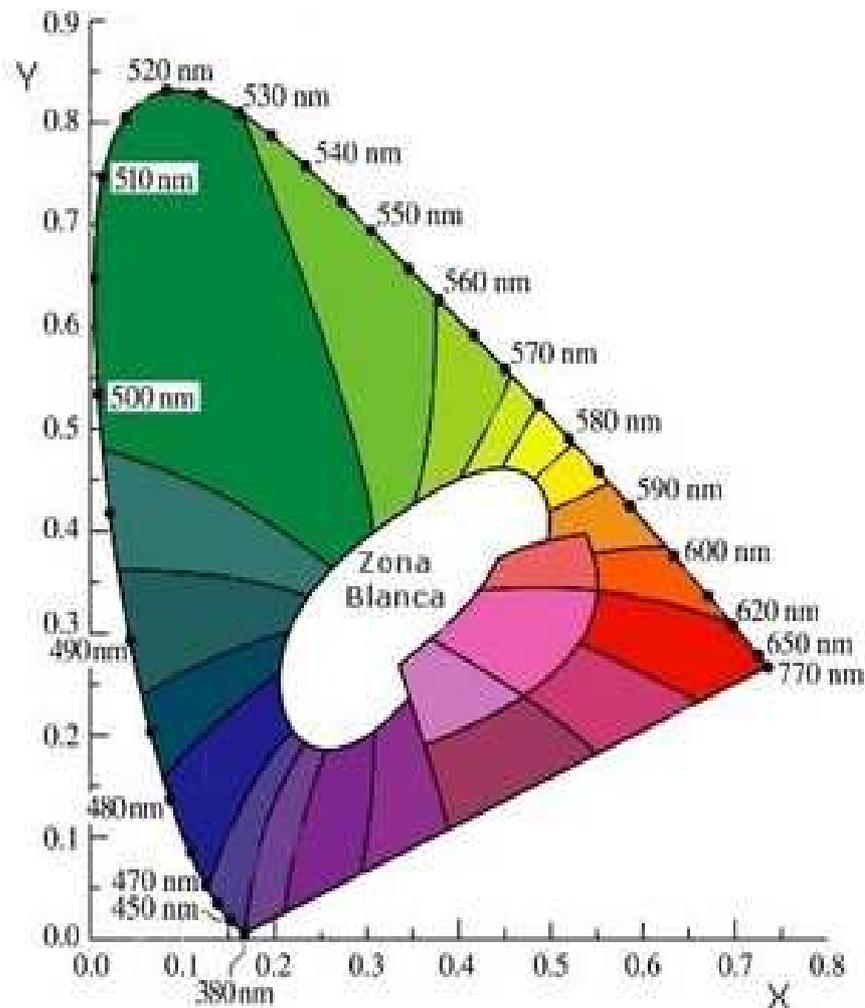


Figura 10. Diagrama de cromaticidad

2.1.6 Aspecto físico de los LED's.

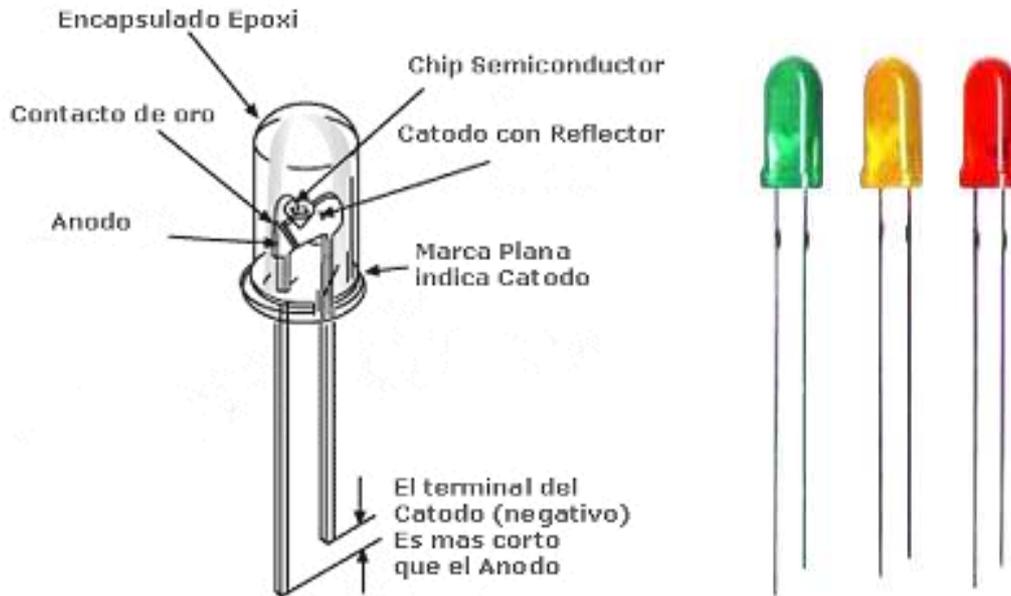


Figura 11. Estructura del LED

Como vemos el LED viene provisto de los dos terminales correspondientes que tienen aproximadamente 2 a 2,5cm de largo y sección generalmente de forma cuadrada. En el esquema podemos observar que la parte interna del terminal del cátodo es más grande que el ánodo, esto es porque el cátodo está encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo tanto será este terminal el encargado de disipar el calor generado hacia el exterior ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor. Es de notar que esto no es así en todos los LED's, solo en los últimos modelos de alto brillo y en los primeros modelos de brillo estándar, ya que en los primeros LED's de alto brillo es al revés.

El terminal que sostiene el sustrato cumple otra misión muy importante, la de reflector, ya que posee una forma parabólica o su aproximación semicircular, este es un punto muy crítico en la fabricación y concepción del LED ya que un mal enfoque puede ocasionar una pérdida considerable de energía o una proyección dispareja.

Un LED bien enfocado debe proyectar un brillo parejo cuando se proyecta sobre una superficie plana. Un LED con enfoque defectuoso se puede identificar porque proyecta formas que son copia del sustrato y a veces se puede observar un aro más brillante en el exterior de círculo, síntoma seguro de que la posición del sustrato se encuentra debajo del centro focal del espejo terminal.



Figura 12. Luz emitida por los LED's

Otra de las características ópticas del LED es el ángulo de visión. Se define generalmente el ángulo de visión como el desplazamiento angular desde la perpendicular donde la potencia de emisión disminuye a la mitad.

Según la aplicación que se le dará al LED se necesitarán distintos ángulos de visión, los típicos son los LED's con 4, 6, 8, 16, 24, 30, 45,60 y hasta 90 grados de ángulo de visión. Generalmente el ángulo de visión está determinado por el radio de curvatura del reflector del LED y principalmente por el radio de curvatura del encapsulado. Por supuesto mientras más pequeño sea el ángulo y a igual sustrato semiconductor se tendrá una mayor potencia de emisión, y viceversa.

Otro componente del LED que no se muestra en la figura pero que es común encontrarlo en los LED de 5mm son los *stand-off* o separadores, son topes que tienen los terminales y sirven para separar los LED's de la plaqueta en aplicaciones que así lo requieren, generalmente si se va colocar varios LED's en una plaqueta conveniente que no tenga *stand-off* ya que de esta forma el encapsulado del LED puede apoyarse sobre la plaqueta lo que le dará la posición correcta, esto es especialmente importante en LED's con ángulo de visión reducido.

Por último tenemos el encapsulado epoxi que es el encargado de proteger al semiconductor de las inclemencias ambientales y como dijimos ayuda a formar el haz de emisión.

Existen numerosos encapsulados disponibles para los LED's y su cantidad se incrementa de año en año a medida que las aplicaciones de los LED's se

hacen más específicas. Existen básicamente cuatro tipos de encapsulado desde el punto de vista del color.

- **Transparente o clear water (agua transparente):** Es el utilizado en LED's de alta potencia de emisión, ya que el propósito de estos LED's es fundamentalmente iluminar, es importante que estos encapsulados no absorban de ninguna manera la luz emitida.

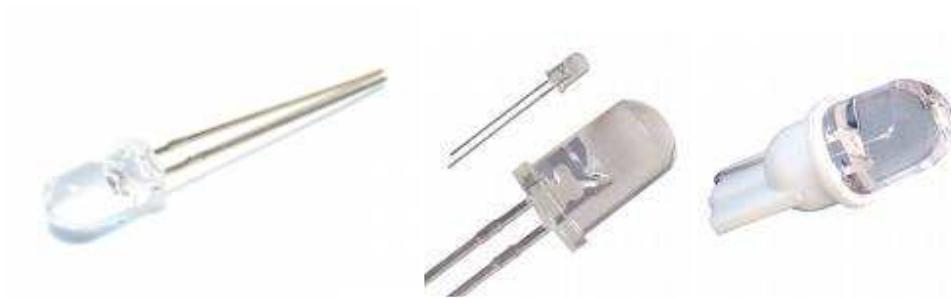


Figura 13. LED's Transparente o clear water

- **Coloreados o tinted:** Similar al anterior, pero coloreado con el color de emisión y de sustrato similar al vidrio de algunas botellas, se usa principalmente en LED's de mediana potencia y/o donde sea necesario identificar el color del LED aun apagado.



Figura 14. LED's Coloreados o tinted

- **Difuso o difused:** Estos LED's tiene un aspecto más opacos que el anterior y están coloreados con el color de emisión, poseen pequeñas partículas en suspensión de tamaño microscópicas que son las encargadas de desviar la luz, este tipo de encapsulado le quita mucho brillo al led pero le agrega mucho ángulo de visión ya que los múltiples rebotes de la luz dentro del encapsulo le otorgan un brillo muy parejo sobre casi todos los ángulos prácticos de visión.

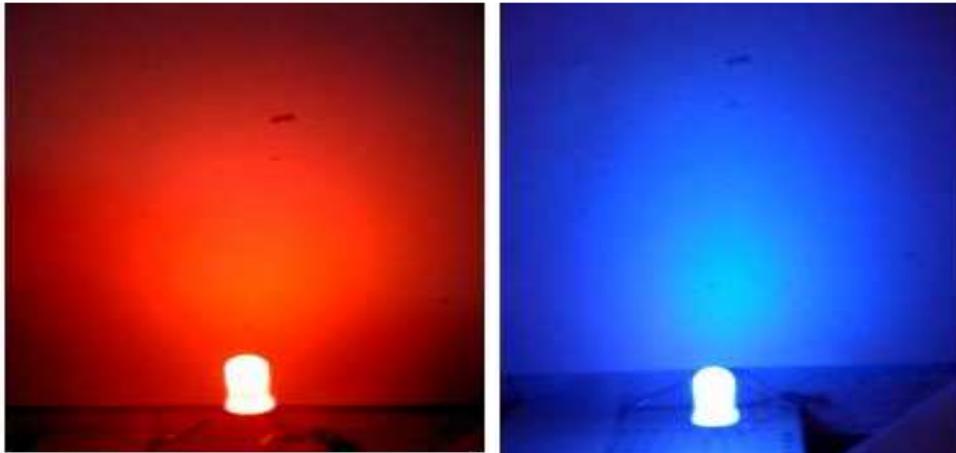


Figura 15. LED's difuso o difused

- **Lechosos o Milky:** Este tipo de encapsulado es un tipo difuso pero sin colorear, estos encapsulado son muy utilizados en LED's bicolors o multicolores. El LED bicolor es en realidad un LED doble con un cátodo común y dos ánodos (3 terminales) o dos LED colocados en contraposición (2 terminales). Generalmente el primer caso con LED's rojo y verde es el más común aunque existen otras combinaciones incluso con más colores.



Figura 16. LED's lechosos o milky

Es muy importante hacer notar que en algunos casos el sustrato del LED es el que determina el color de emisión y no el encapsulado. Un encapsulado con frecuencia de paso distinta a la frecuencia de emisión del sustrato solo lograría filtrar la luz del LED, bajando así su brillo aparente al igual que todo objeto colocado delante de él [16].

2.2 TIPOS DE LED's (Alta luminosidad)

En la actualidad existen diferentes tipos de LED, con la forma cilíndrica y abovedada en tamaños de 3 mm y 5 mm que se caracterizan por tener un encapsulado ceñido del mismo color que la luz que emiten. Además pueden encontrarse con formas variadas (rectangular, triangular, de punto, etc.) para adaptarlos a diferentes necesidades. Se usan principalmente como señalizadores para indicar el funcionamiento de algún dispositivo, aunque también cumplen una función de adorno y estética.

Las aplicaciones con los LED's dieron un vuelco total con la introducción de los LED's de alta luminosidad. Estos LED's comenzaron con la fabricación del LED de nitruro de galio, el cual permitió la obtención de luz blanca procedente de un semiconductor. Mientras que un LED normal es relativamente sencillo, los LED's de alta luminosidad son muy complejos y requieren para su fabricación una serie de procesos, tal como situar un sustrato semiconductor en una cámara de vacío a unos 1000°C e introducir después ciertos gases que al fluir sobre el sustrato reaccionan para producir las capas del dispositivo. Estos gases deben romperse y dejar solamente el elemento deseado, por ejemplo el galio, sin ningún contaminante.

Un LED de alta luminosidad puede tener hasta 40 capas e incluir un apilamiento de cinco a diez pozos en los que los electrones y los agujeros se combinan para producir luz. Así, mientras que un LED convencional emite de 3 a 5 lúmenes, el de alta intensidad puede decuplicar esa cantidad. Eso significa que con una superficie de un milímetro cuadrado de emisión sea normal que pueda tener una potencia de un vatio, funcionar a 350 miliamperios y generar 25 lúmenes o más [20].

Un LED de alta luminosidad es una viruta luminiscente de estado sólido que emite en longitudes de onda azules, verdes y rojas. Típicamente, se compone de múltiples capas cuánticas crecidas entre p y n dopados de nitruro de galio (GaN) que se crece en un sustrato enrejado-emparejado tal como carburo de silicio o zafiro. El sustrato puede ser removido con una técnica de láser de despegue, y el GaN se puede enlazar al silicio [21].

Los LED de alta luminosidad se caracterizan porque su encapsulado es transparente (o levemente tintado). Además emiten mucha luz por lo que se usan para señalización en ambientes muy iluminados. Se los puede encontrar en varias formas y tamaños. La gama de colores es más amplia, incorporando los azules, rojos, amarillos, anaranjados y verdes (con varias tonalidades según los fabricantes) y el blanco; entre otros colores.

Entre los tipos de LED más utilizados se encuentran los siguientes:

- **Led de 5 mm.** Los LED's 5mm son el tipo de LED más ampliamente utilizado en la mayoría de las aplicaciones que se conocen hoy en día por su gran versatilidad, bajo costo, práctico tamaño, y reducida generación de calor.

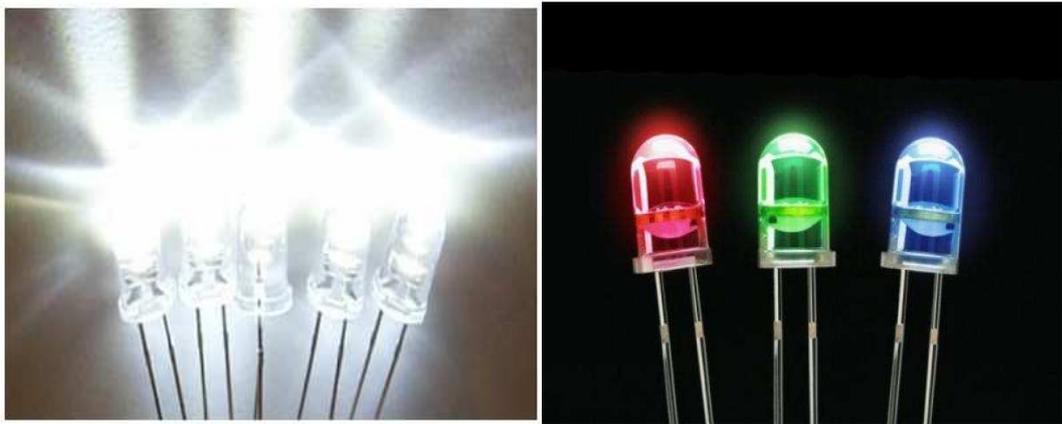


Figura 17. LED de 5 mm

- **LED's Super Flux o Tipo araña.** Los LED's Super Flux, conocidos también como LED's piraña o piranha, son dispositivos que poseen gran versatilidad en lo concerniente a disipación de calor, lo que se traduce en un mejor rendimiento.

Tienen una duración de 125,000 horas además resisten a la perfección golpes y vibraciones.

La familia de LED's piraña está disponible con diferentes tipos de lente al igual que los LED's en SMD (Superficie de montaje de dispositivos) en forma de cúpula, lente plana y de forma cuadrada, el tamaño de los LED piraña es de 7,62x7,62mm y la altura varía dependiendo del tipo de lente si es plana con una altura de 2,5mm y si es en forma de cúpula 5mm. Las dimensiones de los LED's en SMD monochip cubren un rango desde 1,6 x 0,8 x 0,75 mm (largo, ancho, alto) hasta 3,2 x 1,6 x 1,5 mm. También disponen de LED's con múltiples chips proporcionando dos y hasta tres colores en una cápsula SMD con unas dimensiones de 3,6 x 3,2 x 1,05 mm.

La gama de colores que se obtiene al combinar materiales semiconductores con dopantes de aluminio, galio, indio, fósforo, nitrógeno son: rojo, naranja, ámbar, azul, violeta, verde, amarillo y blanco, y con ángulos de visión para los LED's pirañas desde 75° hasta 135° y una luminosidad de hasta 3000 mcd y para los leds SMD entre 100° y 140° con unas intensidades luminosas, llegando hasta 4500 mcd [5].

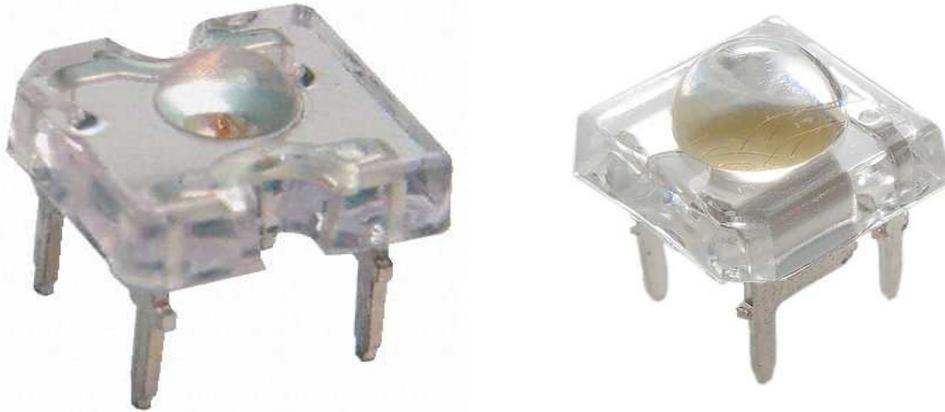


Figura 18. LED's Super Flux O Tipo araña

- **LED ovals.** Los LED's ovals poseen características especiales ya que emiten el haz de luz de manera ovalada y no circular, lo que permite incrementar el ángulo de proyección sobre el eje horizontal sin variar ángulo de proyección sobre el eje vertical, por lo que son excelentes a la hora de diseñar pantallas de LED's.

También, al poseer un epoxi de color difuso permite un mayor ángulo de visibilidad y a su vez mayor facilidad para identificar el color que emite cada LED al momento de la implementación [6].

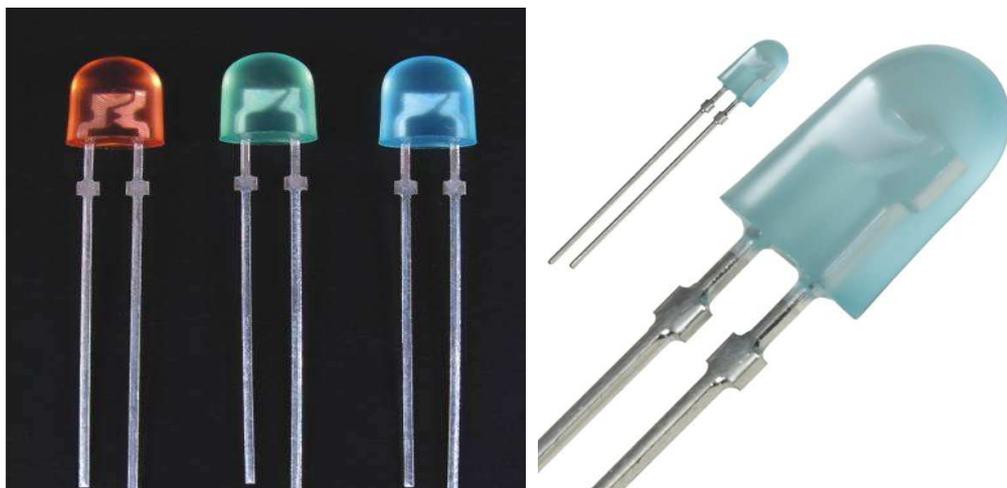


Figura 19. LED ovals

- **LED de alta potencia.** Los LED's de Potencia son la opción más versátil si se busca mayor intensidad por vatio de consumo. Permiten diseñar luminarias de alto brillo con una menor cantidad de LED's. Los LED's de alta potencia más utilizados son los de potencias de 1W,

aunque actualmente existen avanzados diseños en potencias de 3, 5, 10, 20 y 30W.

Los LED's de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y son de potencias de 1W, este tipo de LED's se utilizan principalmente para iluminación concentrada en aplicaciones exteriores arquitectónicas, permitiendo generar amplias posibilidades creativas de diseño y efectos de color.

Son muchos los beneficios de la luz LED de alta potencia, pueden tener una duración de hasta 100,000 horas, ya que no tienen filamentos, este hecho hace que no se fundan como lo hacen las tradicionales bombillas. Estos dispositivos de estado sólido son muy resistentes a los golpes, todo esto son ventajas con respecto a las bombillas tradicionales [7].

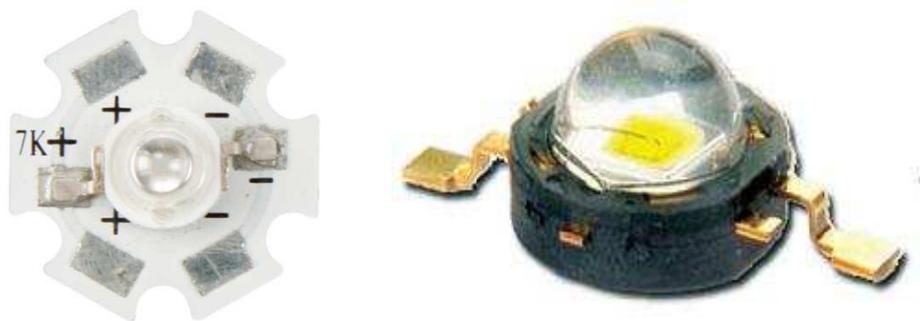


Figura 20. LED de alta potencia

- **LED RGB.** Sus siglas del inglés (Red, Green, Blue). Es un tipo de diodo que tiene cuatro pines los cuales al ser polarizados pueden generar diferentes colores en el espectro visible. Una característica principal es que con un arreglo de diodos RGB se pueden generar más de dieciseis millones de colores en el espectro visible.

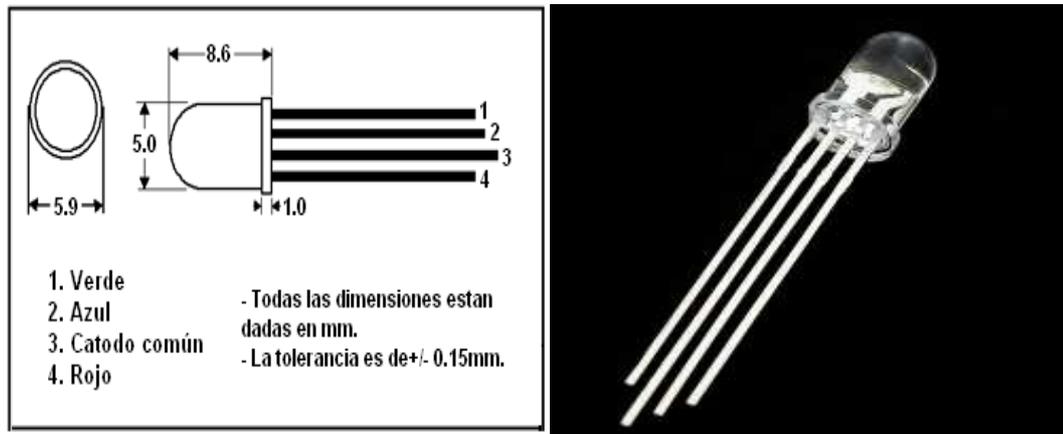


Figura 21. LED 's RGB

2.3 GRANDES FABRICANTES DE LED's EN EL MUNDO

2.3.1 Philips Lumileds Lighting Company. Es el principal fabricante del mundo de LED's a gran escala y empresa pionera en soluciones de iluminación de estado sólido para aplicaciones de uso cotidiano, tales como alumbrado de automoción, flashes para cámaras, televisores LCD, iluminación portátil y alumbrado general. Las fuentes de luz LUXEON® de alta potencia patentadas por la compañía son las primeras que combinan la intensidad del alumbrado convencional con el tamaño reducido, la prolongada vida útil y el resto de ventajas asociadas a los LED's. Philips Lumileds también suministra material básico y embalajes de LED's, y fabrica miles de millones de diodos cada año. La empresa tiene sus oficinas centrales en San José, California, centros operativos en Países Bajos, Japón y Malaysia, y oficinas de ventas en todo el mundo [8].

2.3.2 Osram. Osram es uno de los dos más grandes fabricantes de la industria de la iluminación en el mundo y es parte de Siemens AG. Su nombre se deriva de Osmio y Wolfram (Wolframio en alemán), debido a que ambos elementos fueron comúnmente usados en los filamentos de las bombillas en los tiempos en que la compañía fue fundada.

Esta transnacional, tiene su oficina central en Múnich, (Alemania) y emplea a más de 38.000 personas a lo largo y ancho de todo el mundo. Las ventas mundiales en el año fiscal de 2005, totalizaron 4.300 millones de euros. OSRAM suministra productos en cerca de 150 países y los fabrica en 49 lugares distintos de 19 naciones. Posee la marca Sylvania, que usa en los Estados Unidos, Canadá y Latinoamérica (aunque en América Latina también se comercializan sus productos bajo la marca Osram) [9].

2.3.3 LED's International LLC. Es una empresa con amplia experiencia en el campo de iluminación especializada con LED's. Manufacturamos y distribuimos LED's como componentes electrónicos, así como productos de iluminación pre ensamblados e integrales basados en LED's de alto brillo. LED 3mm, LED 5mm, oval, superflux, de potencia 1W, 3W, barras rígidas, tiras flexibles, cadenas de módulos reflectores displays píxeles pantallas gigantes [10].

2.3.4 CREE. Es uno de los líderes en la industria de la iluminación de estado sólido, los productos que ofrece la compañía se caracterizan por la alta eficiencia y calidad que se entrega a los clientes. Satisfaciendo las necesidades en el área de la iluminación y ofreciendo luminarias de estado sólido para una amplia gama de aplicaciones.

Las características típicas de los LED's CREE incluyen

- Bajo voltaje de operación
- Delgadez excepcional
- Baja generación de calor
- Alta Resistencia mecánica a golpes y vibraciones
- Larga vida útil

A los clientes de la compañía, se les proporcionan beneficios fundamentales en las luminarias, tales como

- Generación de luz utilizando poca potencia
- Fácil utilización en lugares estrechos
- Gestión térmica simple [11].

2.3.5 NEO NEON. Neo-Neón Internacional (HKEX, 1868) fabrica una amplia gama de productos de iluminación que se utilizan en todo el mundo. Decoración millones de hogares, lugares, edificios, lugares de trabajo, centros comerciales, y por igual, con coloridos y decorativos neo-Neón iluminación.

Neo-Neón es también un importante productor de alta tecnología de diodos emisores de luz LED de productos de iluminación decorativa en todo el mundo y ha recibido numerosos premios internacionales de diseño y calidad [12]

3. BENEFICIOS DE LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO

El diodo emisor de luz LED está diseñado con tecnología de estado sólido, esta tecnología es la misma que la usada en los microprocesadores que se usan hoy en día. Estos productos de estado sólido no contienen partes móviles, no tiene una ampolla de vidrio frágil, no posee mercurio, no tiene gases tóxicos, y no posee filamento. No hay nada que se pueda romper, o contaminar. A diferencia de la luz de filamento convencional, no hay un punto en que el LED cesa repentinamente su vida útil, en vez de ello, los LED's degradan su rendimiento a lo largo del tiempo.

La realidad del cambio climático hace que el uso adecuado de la energía a escala global se encuentre bajo intenso debate. La iluminación es uno de los usos más básicos de la energía en la humanidad. Hoy, la iluminación se traduce en un 19% del consumo de la electricidad mundial. La baja eficiencia (de aproximadamente 5%) de las viejas tecnologías y el despilfarro en iluminación hacen evidente la necesidad de introducir mejoras en este sector. Por eso la mejor opción es la implementación de la iluminación de estado sólido como una excelente alternativa para la conservación de nuestro planeta, ya que este tipo de iluminación, como se menciono anteriormente, tiene enormes características que contribuyen a la protección del medio ambiente [27].

La iluminación de estado sólido hace que los diseños de iluminación sean inimaginables contribuyendo a las mejoras y a ampliar las posibilidades de innovación en los diseños arquitectónicos, y haciendo que la adaptación de la domótica a los sistemas de iluminación sean más sencillos logrando así diseños sin precedentes.



Figura 22. Vallas publicitarias en los juegos olímpicos Beijing 2008

3.1 REDUCIDO MANTENIMIENTO

Las lámparas basadas en LED tienen al menos 10 veces mayor tiempo de vida útil que una lámpara de luz convencional, esto hace que no requieran ser reemplazadas frecuentemente como las lámparas tradicionales, con ello se reduce el mantenimiento y se reducen los costos por mantenimiento. En algunas aplicaciones como iluminación de emergencia e iluminación para seguridad que requiere un mantenimiento periódico para corroborar su correcto funcionamiento. Este tipo de iluminación al ser reemplazado con iluminación de estado sólido reducirá su mantenimiento y así ahorrar costos que con la iluminación tradicional no es posible lograr.

La luz de los LED's posee grandes ventajas en aplicaciones donde el reemplazo dificulta el trabajo. Antenas de Radio, luces de embarcaciones, luces de aviones, puentes y túneles, entre otras, en donde se requiere una iluminación cara y un frecuente mantenimiento debido a su ubicación. Con los LED's se reduce drásticamente la frecuencia de mantenimiento ya que su vida útil es elevada. Esto hace que los costos de mantenimiento se reduzcan de una manera significativa.

3.1.1 Alta robustez. La alta robustez mecánica en los diodos LED's se debe a que estos están encapsulados en un conjunto de resina epoxica y no hay ninguna parte móvil dentro del recinto de epoxi sólido, lo que hace que sean más resistentes a golpes y vibraciones. El diodo LED es más robusto que una bombilla incandescente o una fluorescente convencional por lo mencionado anteriormente.



Figura 23. Bombilla tradicional con cubierta frágil de vidrio



Figura 24. Bombilla con LED's Compacta con cristal de alta resistencia

3.2 MAYOR AHORRO DE ENERGÍA

A diferencia de la luz convencional los LED's utilizan un bajo voltaje de operación evitando la necesidad de algunos requerimientos regulatorios. Por ejemplo los LED's son totalmente compatibles con la UL y otros estándares de seguridad [13].

La iluminación de estado sólido también se puede adaptar fácilmente al uso de fuentes alternativas de energía, como por ejemplo la energía solar, puesto que con esta no se requiere utilizar convertidores DC – AC, lo cual reduce costos por consumo de energía y por pérdidas de la misma. Además, reduce la contaminación del medio ambiente pues no produce desechos o diferentes formas de contaminar el medio ambiente, si se tiene en cuenta que toda su materia prima es 100% reciclable. Por esto con la iluminación de estado sólido se puede contribuir al medio ambiente y a su conservación.

Las lámparas de LED's son más eficientes que las lámparas incandescentes o que las lámparas halógenas. Las lámparas de color blanco entregan por artefacto más de 20 lumen por vatio, y pueden llegar, hasta el día de hoy, a más de 50 lumen por vatio. Esto hace que al reemplazar la iluminación tradicional por la iluminación de estado sólido se pueda reducir el consumo de energía con una mayor eficiencia.



Figura 25. Panel- led

Otra característica importante que contribuye al ahorro de energía al usar este tipo de lámparas, es el factor de potencia. El factor de potencia se define como la diferencia de fase entre el voltaje y la corriente en los circuitos de corriente alterna. El factor de potencia puede variar de 0 a 1.0, siendo el ideal 1.0.

Un factor de potencia alto significa que el sistema o dispositivo eléctrico se está utilizando de manera eficiente. Las lámparas incandescentes siempre muestran un factor de potencia cercanos al 1.0 ya que son cargas resistivas simples. El factor de potencia en un sistema de lámpara de descarga se determina según el balasto usado.

Generalmente, un factor de potencia alto significa un índice de 0.9 o más. El factor de potencia de los balastos magnéticos tipo núcleo y bobina puede ser tan bajo como 0.5-0.6. En las lámparas de estado sólido el factor de potencia es mayor a 0.95 lo que hace que este tipo de lámparas sean más eficientes que las lámparas tradicionales.

3.3 FLEXIBILIDAD DE DISEÑO

Los LED's son típicamente más pequeños que las lámparas tradicionales permitiendo diferentes y variados diseños de lámparas de iluminación. Se pueden tener diseños nunca antes vistos por su fácil adaptación a la domótica. El tamaño de los LED's permite usarlos en muchas aplicaciones, su robustez hace que puedan ser sometidos a ambientes extremos donde la

iluminación tradicional presenta dificultades. La luz emitida por los LED's es fría, lo que significa que se puede utilizar en espacios donde antes el calor emitido por las lámparas tradicionales es incomodo y también en lugares en donde el choque térmico entre la temperatura de la lámpara y la temperatura del ambiente puede producir el deterioro o daño de estas.



Figura 26 Diseños arquitectónicos con LED's

Adicionalmente las lámparas de LED's son 100 % dimerizables sin variación de color, esto es posible debido al uso de la modulación por ancho de pulso y al uso de la tecnología de micro controladores.

Es más fácil controlar un arreglo de LED que cualquier otro tipo de lámparas. Sin embargo tienen su propio conjunto de requerimientos y cambios. No necesitan calentamiento, ni altos voltajes de alimentación para encenderlos, pero estos dispositivos requieren de una fuente de corriente constante y regulada para asegurar una salida de iluminación consistente y mantener una vida útil larga. En la Figura 27 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de iluminación con este tipo de lámparas, alimentados desde la línea de CA. Allí se aprecian las principales partes, que son: un filtro para eliminar interferencias electromagnéticas y armónicos, un circuito rectificador, un convertidor CD/CD, una fuente controlada de corriente constante y su correspondiente circuito de control [28].

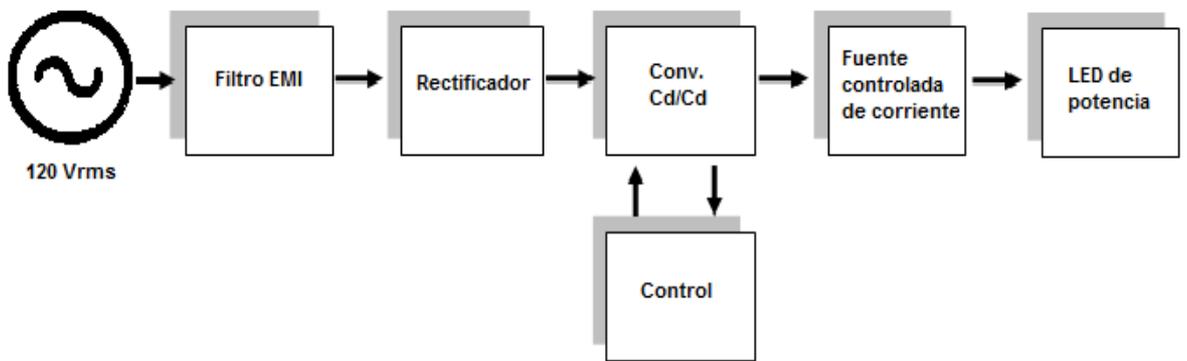


Figura 27. Sistema de iluminación de estado sólido.

3.4 AMPLIO ESPECTRO DE COLORES NATURALES

Los LED's no requieren filtros para crear múltiples colores, rojos, verdes, azules y todo el espectro visible, todos estos colores pueden ser producidos por la lámpara de LED's en forma de luz natural sin la necesidad de usar filtros.



Figura 28. Iluminación con múltiples colores

Usualmente en las lámparas incandescentes cuando se desea un color específico se agrega este filtro a la luz blanca de la lámpara incandescente permitiendo el paso del color deseado. Estos filtros bloquean una parte

considerable de luz no deseada permitiendo solo el paso de las longitudes de onda deseada.

Hay diferentes tipos de LED's de color blanco, de hecho los LED's no generan luz blanca sino azul. La luz blanca es generada por un LED azul con una capa de fósforo por encima, que es lo que hace producir la luz blanca; entre los LED's blancos más utilizados se encuentra el LED blanco cálido, LED blanco de alta luminosidad en formato radial de sharlight, LED blanco frío. Este tipo de blancos son posible obtenerlos con la misma lámpara sin la necesidad de filtros y con cambios de colores instantáneos.

Con una lámpara RGB, se puede fácilmente obtener el color deseado, los LED's RGB son un compuesto de LED's rojo verde y azul, al variar la intensidad de corriente producen diferentes colores. Para lograr estos colores se explicara a continuación el proceso utilizado.

La descripción RGB (del inglés *Red, Green, Blue*; "rojo, verde, azul") de un color hace referencia a la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios con que se forma: el rojo, el verde y el azul. Es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores primarios. El modelo de color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en diferentes dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.

Para indicar con qué proporción mezclamos cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera, por ejemplo, que el valor 0 significa que no interviene en la mezcla y, a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (valores reales entre 0 y 1, valores enteros entre 0 y 37, etc.), es frecuente que cada color primario se codifique con un byte (8 bits). Así, de manera usual, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255.

Por lo tanto, el rojo se obtiene con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), obteniendo, en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color, lo que se conoce como color negro, se obtiene cuando las tres componentes son 0 (0,0,0).

La combinación de dos colores a nivel 255 con un tercero en nivel 0 da lugar a tres colores intermedios. De esta forma el amarillo es (255, 255,0), el cyan (0,255,255) y el magenta (255,0,255).

Obviamente, el color blanco se forma con los tres colores primarios a su máximo nivel (255, 255,255) [29].

En la tabla 2 se muestra la tabla de colores HTML

Colores Rojos

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
IndianRed	CD 5C 5C	205 92 92
LightCoral	F0 80 80	240 128 128
Salmon	FA 80 72	250 128 114
DarkSalmon	E9 96 7A	233 150 122
LightSalmon	FF A0 7A	255 160 122
Crimson	DC 14 3C	220 20 60
Red	FF 00 00	255 0 0
FireBrick	B2 22 22	178 34 34
DarkRed	8B 00 00	139 0 0

Colores Rosas

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Pink	FF C0 CB	255 192 203
LightPink	FF B6 C1	255 182 193
HotPink	FF 69 B4	255 105 180
DeepPink	FF 14 93	255 20 147
MediumVioletRed	C7 15 85	199 21 133
PaleVioletRed	DB 70 93	219 112 147

Colores Naranjas

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
LightSalmon	FF A0 7A	255 160 122
Coral	FF 7F 50	255 127 80
Tomato	FF 63 47	255 99 71

OrangeRed	FF 45 00	255 69 0
DarkOrange	FF 8C 00	255 140 0
Orange	FF A5 00	255 165 0

Colores Amarillos

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Gold	FF D7 00	255 215 0
Yellow	FF FF 00	255 255 0
LightYellow	FF FF E0	255 255 224
LemonChiffon	FF FA CD	255 250 205
LightGoldenrod Yellow	FA FA D2	250 250 210
PapayaWhip	FF EF D5	255 239 213
Moccasin	FF E4 B5	255 228 181
PeachPuff	FF DA B9	255 218 185
PaleGoldenrod	EE E8 AA	238 232 170
Khaki	F0 E6 8C	240 230 140
DarkKhaki	BD B7 6B	189 183 107

Colores Púrpuras

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Lavender	E6 E6 FA	230 230 250
Thistle	D8 BF D8	216 191 216
Plum	DD A0 DD	221 160 221
Violet	EE 82 EE	238 130 238
Orchid	DA 70 D6	218 112 214
Fuchsia	FC 0F C0	252 15 192
Magenta	FF 00 FF	255 0 255
MediumOrchid	BA 55 D3	186 85 211
MediumPurple	93 70 DB	147 112 219
BlueViolet	8A 2B E2	138 43 226
DarkViolet	94 00 D3	148 0 211
DarkOrchid	99 32 CC	153 50 204

DarkMagenta	8B 00 8B	139 0 139
Purple	80 00 80	128 0 128
Indigo	4B 00 82	75 0 130
SlateBlue	6A 5A CD	106 90 205
DarkSlateBlue	48 3D 8B	72 61 139

Colores Verdes

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
GreenYellow	AD FF 2F	173 255 47
Chartreuse	7F FF 00	127 255 0
LawnGreen	7C FC 00	124 252 0
Lime	00 FF 00	0 255 0
LimeGreen	32 CD 32	50 205 50
PaleGreen	98 FB 98	152 251 152
LightGreen	90 EE 90	144 238 144
MediumSpringGreen	00 FA 9A	0 250 154
SpringGreen	00 FF 7F	0 255 127
MediumSeaGreen	3C B3 71	60 179 113
SeaGreen	2E 8B 57	46 139 87
ForestGreen	22 8B 22	34 139 34
Green	00 80 00	0 128 0
DarkGreen	00 64 00	0 100 0
YellowGreen	9A CD 32	154 205 50
OliveDrab	6B 8E 23	107 142 35
Olive	80 80 00	128 128 0
DarkOliveGreen	55 6B 2F	85 107 47
MediumAquamarine	66 CD AA	102 205 170
DarkSeaGreen	8F BC 8F	143 188 143
LightSeaGreen	20 B2 AA	32 178 170
DarkCyan	00 8B 8B	0 139 139
Teal	00 80 80	0 128 128

Colores Azules

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Aqua/Cyan	00 FF FF	0 255 255
LightCyan	E0 FF FF	224 255 255
PaleTurquoise	AF EE EE	175 238 238
Aquamarine	7F FF D4	127 255 212
Turquoise	40 E0 D0	64 224 208
MediumTurquoise	48 D1 CC	72 209 204
DarkTurquoise	00 CE D1	0 206 209
CadetBlue	5F 9E A0	95 158 160
SteelBlue	46 82 B4	70 130 180
LightSteelBlue	B0 C4 DE	176 196 222
PowderBlue	B0 E0 E6	176 224 230
LightBlue	AD D8 E6	173 216 230
SkyBlue	87 CE EB	135 206 235
LightSkyBlue	87 CE FA	135 206 250
DeepSkyBlue	00 BF FF	0 191 255
DodgerBlue	1E 90 FF	30 144 255
CornflowerBlue	64 95 ED	100 149 237
MediumSlateBlue	7B 68 EE	123 104 238
RoyalBlue	41 69 E1	65 105 225
Blue	00 00 FF	0 0 255
MediumBlue	00 00 CD	0 0 205
DarkBlue	00 00 8B	0 0 139
Navy	00 00 80	0 0 128
MidnightBlue	19 19 70	25 25 112

Colores Marrones

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Cornsilk	FF F8 DC	255 248 220
BlanchedAlmond	FF EB CD	255 235 205
Bisque	FF E4 C4	255 228 196
NavajoWhite	FF DE AD	255 222 173
Wheat	F5 DE B3	245 222 179

BurlyWood	DE B8 87	222 184 135
Tan	D2 B4 8C	210 180 140
RosyBrown	BC 8F 8F	188 143 143
SandyBrown	F4 A4 60	244 164 96
Goldenrod	DA A5 20	218 165 32
DarkGoldenrod	B8 86 0B	184 134 11
Peru	CD 85 3F	205 133 63
Chocolate	D2 69 1E	210 105 30
SaddleBrown	8B 45 13	139 69 19
Sienna	A0 52 2D	160 82 45
Brown	A5 2A 2A	165 42 42
Maroon	80 00 00	128 0 0

Colores Blancos

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
White	FF FF FF	255 255 255
Snow	FF FA FA	255 250 250
Honeydew	F0 FF F0	240 255 240
MintCream	F5 FF FA	245 255 250
Azure	F0 FF FF	240 255 255
AliceBlue	F0 F8 FF	240 248 255
GhostWhite	F8 F8 FF	248 248 255
WhiteSmoke	F5 F5 F5	245 245 245
Seashell	FF F5 EE	255 245 238
Beige	F5 F5 DC	245 245 220
OldLace	FD F5 E6	253 245 230
FloralWhite	FF FA F0	255 250 240
Ivory	FF FF F0	255 255 240
AntiqueWhite	FA EB D7	250 235 215
Linen	FA F0 E6	250 240 230
LavenderBlush	FF F0 F5	255 240 245
MistyRose	FF E4 E1	255 228 225

Colores Grises

Nombre	Código Hexadecimal RGB	Código decimal RGB
Gainsboro	DC DC DC	220 220 220
LightGrey	D3 D3 D3	211 211 211
Silver	C0 C0 C0	192 192 192
DarkGray	A9 A9 A9	169 169 169
Gray	80 80 80	128 128 128
DimGray	69 69 69	105 105 105
LightSlateGray	77 88 99	119 136 153
SlateGray	70 80 90	112 128 144
DarkSlateGray	2F 4F 4F	47 79 79
Black	00 00 00	0 0 0

Tabla 2. Tabla de colores HTML

3.5 ILUMINACIÓN ESPECIAL CON LED's

3.5.1 Diodos IR. 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. También son utilizados en visores nocturnos.

Hoy en día, la tecnología infrarroja tiene muchas aplicaciones interesantes y útiles. En el campo de la astronomía infrarroja se están realizando nuevos y fascinantes descubrimientos sobre el universo. En medicina, la radiación infrarroja es una herramienta de diagnóstico muy útil. Las cámaras fotográficas infrarrojas son utilizadas en actividades policiales y de seguridad, así como en aplicaciones militares y de lucha contra incendios. Las imágenes infrarrojas se emplean para detectar pérdidas de calor en edificios y probar sistemas electrónicos. Los satélites infrarrojos monitorean el clima terrestre, estudian modelos de vegetación, llevan a cabo estudios geológicos y miden las temperaturas oceánicas [30].

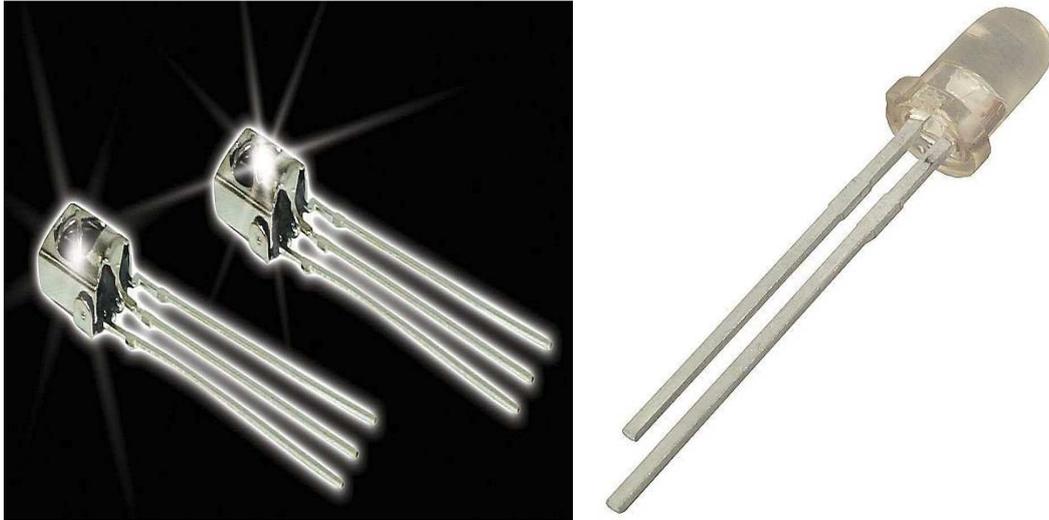


Figura 29. Diodos infrarrojos

3.5.2 Diodos UV. Los LED's ultravioleta tienen diferentes aplicaciones, entre ellas se encuentran las siguientes: puede aplicarse a la tecnología de detección de agentes biológicos, purificación de agua, comunicaciones encubiertas, descontaminaciones, etc. Los LED's fabricados para emitir luz ultravioleta son un campo en alza en la industria de los semiconductores.

Las fuentes ultravioleta convencionales se basan sobre todo en lámparas de vapor de mercurio, que son pesadas, voluminosas, contaminantes y consumen mucha energía. En cambio, los LED's apenas tienen un tamaño superior a un milímetro cuadrado. Ello les hace útiles para múltiples usos.



Figura 30. Luz emitida por diodos ultravioleta

3.5.3 Diodos Láser. Los Diodos láser emiten luz por el principio de emisión estimulada, la cual surge cuando un fotón induce, a un electrón que se encuentra en un estado excitado, a pasar al estado de reposo, este proceso está acompañado con la emisión de un fotón con la misma frecuencia y fase del fotón estimulante. Para que el número de fotones estimulados sea mayor que el de los emitidos de forma espontánea, para que se compensen las pérdidas y para que se incremente la pureza espectral, es necesario, por un lado, tener una fuerte inversión de portadores, la que se logra con una polarización directa de la unión, y por el otro, una cavidad resonante que posibilite tener una trayectoria de retroalimentación positiva y facilite que se emitan más fotones de forma estimulada y se seleccione ciertas longitudes de onda haciendo más angosto al espectro emitido.

La presencia de una inversión grande de portadores y las propiedades de la cavidad resonante hacen que las características de salida (potencia óptica como función de la corriente de polarización) tenga un umbral a partir del cual se obtiene emisión estimulada, el cual es función de la temperatura.

Un diodo láser produce luz coherente, lo que significa que todas las ondas luminosas están en fase entre sí. La idea básica de un diodo láser es usar una cámara resonante con espejos para reforzar la emisión de ondas luminosas de la misma frecuencia y fase. A causa de esta resonancia, un diodo láser produce un haz de luz estrecho que es muy intenso, enfocado y puro.

El diodo láser también se conoce como láser semiconductor, o también, como láseres de inyección, Estos diodos pueden producir luz visible (roja, verde o azul) y luz invisible (infrarroja). Se usan en productos de consumo y comunicaciones de banda ancha.

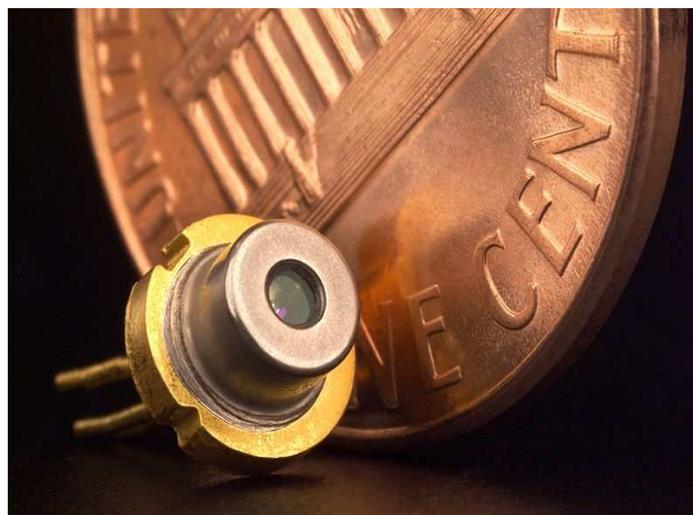


Figura 31. Diodo laser

Una de las muchas aplicaciones de los diodos láser es la de lectura de información digital de soportes de datos tipo CD-ROM o la reproducción de discos compactos musicales [31].

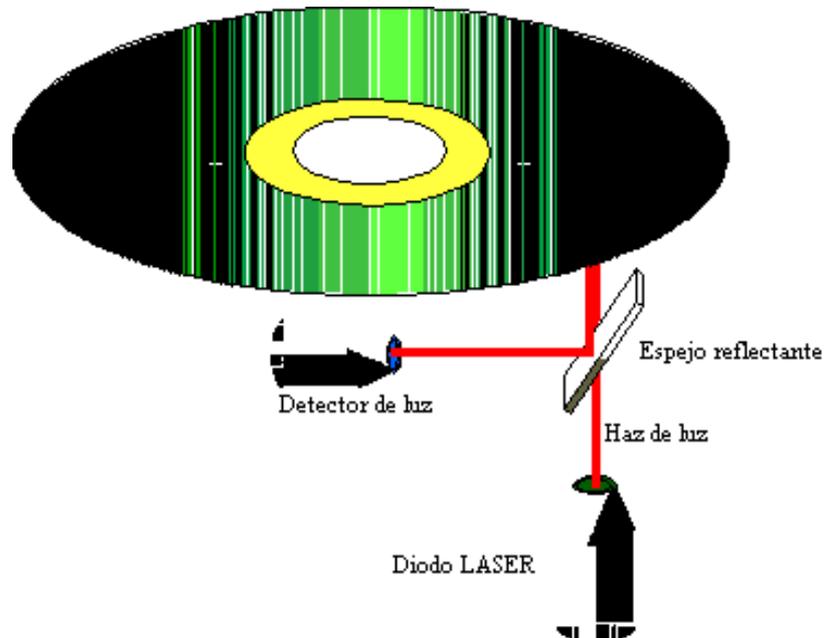


Figura 32. Aplicación del diodo laser

3.6 LUZ INSTANTÁNEA SIN PARPADEOS Y SIN LA NECESIDAD DE UN PRECALENTAMIENTO.

Debido a que la iluminación de estado sólido trabaja con voltaje CC no presenta parpadeos tal como sucede con la iluminación tradicional, y tampoco necesita precalentamiento para encender ya que no posee gases ni filamentos.



Figura 33. Pre calentamiento de una lámpara fluorescente



Figura 34. luz de una lámpara con LED's

3.7 BENEFICIOS ECOLÓGICOS

La iluminación de estado sólido frente a los sistemas tradicionales de iluminación presenta grandes ventajas a nivel ecológico tales como: no poseen filamentos, ni gases contaminantes como el mercurio; ofrecen un considerable ahorro energético porque su eficiencia es alta, su voltaje de operación es bajo y esto incide en que el consumo de energía sea mínimo; tiene mayor durabilidad, lo que implica un ahorro significativo en costos de remplazo y mantenimiento; no emiten radiación infrarroja o ultravioleta a excepción de aquellas lámparas que se fabrican con estos fines; tienen menor disipación de calor; la producción del color es pura ya que no poseen filtros para generar el tipo de luz requerida; son lámparas totalmente reciclables.

3.7.1 Iluminación LED en medicina - lámpara LED para el tratamiento de la hiperbilirrubinemia neonatal. La lámpara LED para el tratamiento de la hiperbilirrubinemia neonatal es de vital importancia para el recién nacido, ya que a través de la luz irradiada por estas lámparas el bebé logra bajar el nivel excesivo de bilirrubina en la sangre. Esta lámpara se usa en un tratamiento de fototerapia y adicionalmente tiene las ventajas de no aumentar la temperatura, ni de emitir radiación ultravioleta. Son livianas, fáciles de transportar y consumen muy poca energía eléctrica.

Su uso se ha extendido masivamente en centros de salud y hospitales ya que casi el cincuenta por ciento de los recién nacidos llegan al mundo con un desbalanceo de la bilirrubina.

La fototerapia con lámparas de tecnología LED, es altamente recomendable ya que se ha comprobado que por su intensidad, los niños tratados superan este inconveniente en menor tiempo que con las lámparas que se empleaban anteriormente para la terapia fotovoltáica neonatal [32].

3.7.2 LED en turbinas dentales la innovación actual. El futuro del alumbrado del área de preparación es el diodo luminiscente LED blanco. Las lámparas halógenas en instrumentos de medicina dental pertenecen al pasado.

Desde el final de la década de los 70 se emplean lámparas halógenas del área de preparación. Como es sabido, las lámparas son productos de duración más bien limitada. La vibración, esterilización, los cambios de temperatura y la histéresis son sólo algunos de los factores que contribuyen a reducir de forma significativa la vida útil. Con las lámparas LED's todos estos factores se reducirán debido a las características que posee este tipo de lámparas, aunque las lámparas halógenas presentan un excelente índice de reproducción cromática CRI la luz reflejada presenta una tonalidad amarillenta debido a la reducida temperatura del color CCT. Por estas razones la mejor opción es la implementación de las lámparas LED's en sistemas de preparación [33].

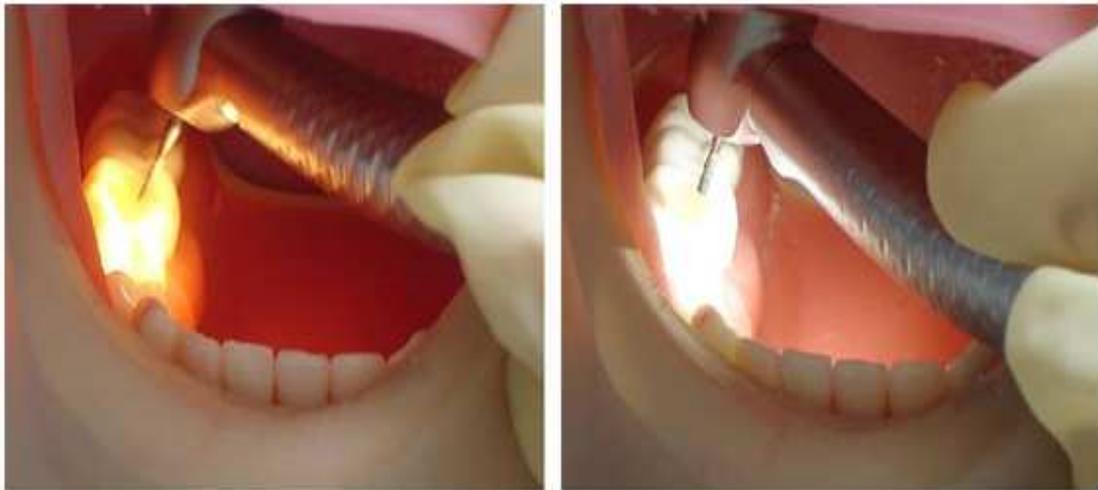


Figura 35. Comparación: lámparas halógenas (izquierda) y luminiscente LED blanco (derecha).

3.7.3 Nuevos descubrimientos en la tecnología LED claves para la conservación de las tortugas. La aplicación de la tecnología LED tiene ventajas medioambientales en diferentes ámbitos debido a: el bajo consumo, la no utilización de metales peligrosos en su fabricación, su potencialidad en el reciclaje, su duración, entre otras. Pero, hasta ahora, no se había encontrado una conexión causal tan directa de como estas nuevas lámparas

de LED's benefician la ecología y la preservación de algunas especies. El caso de las tortugas es uno de estos, y sin duda alguna deben haber muchos más aún por descubrir.

Los brillos causados por las lámparas de iluminación convencionales en playas y edificios y calles adyacentes, distraen y confunden a las pequeñas tortugas en su camino al mar quitándoles una oportunidad grande y real de sobrevivir, debido a este peligro, en algunos lugares como en Florida se han establecido reglamentos para apagar luces durante las épocas de anidamiento y nacimiento de las crías.

Investigaciones recientes han demostrado que la iluminación a base de LED's de color ámbar que se encuentra en los 590 nanómetros de la banda electromagnética, resulta ser imperceptible para las tortugas, mientras que el ser humano puede utilizarla de manera muy adecuada para sus necesidades de iluminación. Esta tecnología permite la coexistencia entre al ser humano y la tortuga sin afectar la percepción visual de esta última, dándole una mayor posibilidad de supervivencia. Sin duda, un buen ejemplo de que la tecnología bien aplicada es capaz de encontrar solución a los grandes dilemas ecológicos actuales [34].

En la tabla 3 se detalla la comparación de las características de la iluminación de estado sólido frente a la iluminación incandescente.

CARACTERÍSTICAS	TECNOLOGÍA INCANDESCENTE	TECNOLOGÍA DE ESTADO SÓLIDO – LED's
Tamaño	Las lámparas incandescentes ocupan un espacio preestablecido y proporcional al nivel de iluminación generado y a la potencia consumida por la bombilla.	Los LED's son muy prácticos a la hora de incorporarlos a cualquier diseño de iluminación debido a su reducido tamaño.
Luminosidad	El nivel de iluminación de las bombillas incandescentes aumenta con la potencia requerida por lámpara. La luz de estas bombillas siempre se concentra en un punto dado.	Todo el diodo brilla por igual, lo cual permite un alto nivel de uniformidad y versatilidad en la dirección del flujo luminoso, si se tiene en cuenta el diseño de localización de los LED's.

Eficiencia luminosa y Ahorro de Energía	Las bombillas incandescentes presentan los más altos consumos de energía por concepto del calentamiento propio de la lámpara.	Casi toda la energía utilizada por el LED es convertida en luz. En las lámparas de estado sólido el factor de conversión de energía eléctrica en luz es el mejor que ofrece la tecnología de iluminación en la actualidad. Tiene una eficiencia de más del 98%. Por tanto se puede obtener ahorros por encima del 80% en consumo de energía con respecto a la tecnología incandescente.
El color y el espectro de la luz	La bombilla incandescente emite luz en todo el espectro visible, siendo el difusor (que hace de filtro) quien deja pasar sólo el color requerido y el resto del espectro se transforma en calor.	El LED emite luz directamente en la longitud de onda del color requerido, por lo que no existe la transformación del calor en luz. Por tanto los LED's de alta luminosidad no requieren de filtros para crear luz de color. Como resultado se generan los colores más puros y profundos.
Resistencia mecánica	La vibración o los golpes rompen fácilmente la cubierta y el filamento de una lámpara incandescente.	Al ser elementos 100% sólidos, resisten golpes y vibraciones mucho mejor que una lámpara con cubierta de cristal.
Durabilidad	La duración típica de una excelente bombilla incandescente es de aproximadamente 3000 horas, es decir, entre 4 y 5 meses.	Hasta 100.000 horas de vida útil, o aproximadamente 10 años.
Condiciones eléctricas	Trabajan con tensión AC, generalmente de 120VAC o 220VAC y consumen alta corriente.	Trabajan a muy bajas corrientes (hasta 200mA DC) y tensiones directas (hasta 10V DC).
Otras ventajas de los LED's frente a la iluminación incandescente	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Excelentes para su uso en sistemas microcontrolados o con niveles de tensión TTL. <input type="checkbox"/> Puede atenuarse la intensidad del brillo sin que esto afecte la vida útil de la lámpara. <input type="checkbox"/> Excelentes para el diseño de dispositivos de iluminación multicolor o RGB ya pueden emitir todos los colores (de 460 nm a 650 nm). <input type="checkbox"/> No requieren mantenimiento y remplazo continuo por su larga 	

	durabilidad.
--	--------------

Tabla 3. Iluminación incandescente Vs iluminación de estado solido

En tabla 4 se detalla la comparación de las características de la iluminación de estado sólido frente a la iluminación fluorescente [35].

CARACTERÍSTICA	TECNOLOGÍA FLUORESCENTE	TECNOLOGÍA DE ESTADO SÓLIDO – LED's
Tamaño	Las lámparas fluorescentes ocupan un espacio preestablecido y proporcional al nivel de iluminación generado y a la potencia consumida por la lámpara.	Los LED's son muy prácticos a la hora de incorporarlos a cualquier diseño de iluminación debido a su reducido tamaño.
Medio ambiente y contaminación	La tecnología fluorescente corresponde a las lámparas de mercurio de baja presión, las cuales generan radiación ultravioleta a 254 nm. Los rayos ultravioleta tipo UV-B, por ejemplo, son responsables de las quemaduras de sol y el cáncer de piel, sin mencionar el daño para la capa de ozono causado por el vapor de mercurio cuando es desechada la lámpara.	Los LED's no generan radiación ultravioleta, siendo la tecnología de iluminación ecológica por excelencia.
Eficiencia luminosa y Ahorro de Energía	Las lámparas fluorescentes presentan altos consumos de energía por concepto del calentamiento propio de la lámpara, dado por el precalentamiento periódico de los electrodos para la ionización del gas interno que genera la descarga de	Casi toda la energía utilizada por el LED es convertida en luz. En las lámparas de estado sólido el factor de conversión de energía eléctrica en luz es el mejor que ofrece la tecnología de iluminación en la actualidad. Tiene una eficiencia de más del 98%. Por tanto se puede obtener ahorros por encima del 70% en

	electrones.	consumo de energía.
El color y el espectro de la luz	El color de la luz emitido por la lámpara fluorescente viene dado por el revestimiento fosfórico, el cual sirve de filtro o difusor de la luz.	El LED emite luz directamente en la longitud de onda del color requerido, por lo que no existe la transformación de luz en calor. Por este concepto los LED's no requieren de filtros para crear luz de color. Como resultado se generan los colores más puros y profundos.
Resistencia mecánica	La vibración o los golpes rompen fácilmente el vidrio de la cubierta de una lámpara fluorescente.	Al ser elementos 100% sólidos, resisten golpes y vibraciones, mucho mejor que una lámpara fluorescente. Las lámparas de LED's están cubiertas por un reflector fabricado con resina epóxica muy resistente a las caídas, los choques y los golpes.
Durabilidad	La duración típica de una excelente lámpara ahorradora fluorescente es de aproximadamente 8000 horas, es decir, menos de un año (11 meses aproximadamente)	Hasta 100.000 horas de vida útil, o aproximadamente 10 años.
Condiciones eléctricas	Trabajan con tensión AC, generalmente de 120VAC o 220VAC y consumen alta corriente. Los cambios bruscos de tensión afectan notablemente la vida útil de estas lámparas. Las lámparas fluorescentes no pueden conectarse a un dimmer normal (un regulador para controlar el brillo).	Trabajan a muy bajas corrientes (hasta 200mA DC) y tensiones directas (hasta 10V DC). Puede atenuarse la intensidad del brillo sin que esto afecte la vida útil de la lámpara.

Tabla 4. Iluminación fluorescente Vs iluminación de estado solido

4. ALGUNOS EJEMPLOS Y APLICACIONES COMERCIALES ACTUALES DE LA ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO

A la fecha, los LED's han penetrado en una serie de mercados de iluminación y han permitido el desarrollo de otros mercados. La mayor penetración ha sucedido en áreas que utilizan LED's de color (monocromáticos). La tecnología del LED de color ya es madura y por lo tanto está lista para entrar al mercado.

Además, la diferencia comparada con las incandescentes de color en términos de eficiencia lumínicas es muy apreciable.

La iluminación de estado sólido es un tipo de iluminación que lleva pocos años en el mercado, pero este mercado tiende a masificarse por sus mejores características frente a la iluminación tradicional, por tal motivo debe ajustarse a lo establecido en el Código Nacional de Electricidad, siendo obligatorio el cumplimiento de todas las prescripciones técnicas y de iluminación, especialmente las reglas de protección contra el riesgo eléctrico (seguridad) y los estándares de calidad. En Colombia estas normas están estipuladas por el RETIE y la NTC 2050 en la parte de seguridad y en la parte referente a la calidad de los productos la ISO 9000.

En la elaboración de proyectos de instalaciones eléctricas interiores, los proyectistas están obligados a realizar cálculos de iluminación en áreas tales como: residencias, comerciales, oficinas, locales de espectáculos, aeropuertos, puertos, estaciones de transporte terrestre y similares, locales deportivos, fabricas, talleres, hospitales, centros de salud, centros de educación laboratorios, museos, vías, entre otros.

A continuación se presenta la tabla de iluminancias mínimas a considerar según los ambientes al interior de las edificaciones, definiendo la calidad de la iluminación según el tipo de tarea visual o actividad a realizar en dichos ambientes estipulados y reglamentados por el RETIE.

**TABLA DE ILUMINANCIAS
PARA AMBIENTES AL INTERIOR**

AMBIENTES	ILUMINANCIA EN SERVICIO (lux)	CALIDAD
<u>Áreas generales en edificios</u>		
Pasillos, corredores	100	D – E
Baños	100	C – D
Almacenes en tiendas	100	D – E
Escaleras	150	C – D
<u>Líneas de ensamblaje</u>		
Trabajo pesado (ensamble de maquinarias)	300	C – D
Trabajo normal (industria liviana)	500	B – C
Trabajo fino (ensambles electrónicos)	750	A – B
Trabajo muy fino (ensamble de instrumentos)	1500	A – B
Industrias químicas y plásticos		
En procesos automáticos	150	D – E
Plantas al interior	300	C – D
Salas de laboratorios	500	C – D
Industria farmacéutica	500	C – D
Industrias del caucho	500	C – D
Inspección	750	A – B
Control de colores	1000	A – B
<u>Fábricas de vestimenta</u>		
Planchado	750	A – B
Costura	1000	A – B
Inspección	1000	A – B
<u>Industrias eléctricas</u>		
Fabricación de cables	300	B – C
Bobinados	500	A – B
Ensamblaje de partes pequeñas	1000	A – B
Pruebas y ajustes	1000	A – B
Ensamble de elementos electrónicos	1500	A – B
<u>Industrias alimentarias</u>		
Procesos automáticos	200	D – E
Áreas de trabajo general	300	C – D
Inspección	500	A – B
<u>Trabajos en vidrio y cerámica</u>		
Salas de almacén	150	D – E
Áreas de mezclado y moldeo	300	C – D
Áreas de acabados manuales	300	B – C
Áreas de acabados mecánicos	500	B – C
Revisión gruesa	750	A – B
Revisión fina – Retoques	1000	A – B
<u>Trabajos en hierro y acero</u>		
Plantas automáticas	50	D – E
Plantas semi – automáticas	200	D – E
Zonas de trabajo manual	300	D – E
Inspección y control	500	A – B

**TABLA DE ILUMINANCIAS
PARA AMBIENTES AL INTERIOR**

AMBIENTES	ILUMINANCIA EN SERVICIO (lux)	CALIDAD
Industrias de cuero		
Áreas de trabajo en general		
Prensado, curtiembre, costura	300	B – C
Producción de calzados	750	A – B
Control de calidad	1000	A – B
Trabajos de maquinado (forjado – torno)		
Forjado de pequeñas piezas	200	D – E
Maquinado en tornillo de banco	400	B – C
Maquinado simple en torno	750	A – B
Maquinado fino en torno e inspección de pequeñas partes	1500	A – B
Talleres de pintado		
Preparación de superficies	500	C – D
Pintado general	750	B – C
Pintado fino, acabados, control	1000	A – B
Fábricas de papel		
Procesos automáticos	200	D – E
Elaboración semi automática	300	C – D
Inspección	500	A – B
Imprentas – Construcción de libros		
Salas de impresión a máquina	500	C – D
Encuadernado	500	A – B
Composición, edición, etc.	750	A – B
Retoques	1000	A – B
Reproducciones e impresiones a color	1500	A – B
Grabados en acero y cobre	2000	A – B
Industrias textiles		
Área de desembalaje	200	D – E
Diseño	300	D – E
Hilados, cardados, teñidos	500	C – D
Hilados finos, entrelazados	750	A – B
Cosido, inspección	1000	A – B
Industrias en madera		
Aserradero	200	D – E
Ensamble en tornillo de banco	300	C – D
Trabajo con máquinas	500	B – C
Acabados	750	A – B
Inspección control calidad	1000	A – B

<u>Oficinas</u>		
Archivos	200	C – D
Salas de conferencia	300	A – B
Oficinas generales y salas de cómputo	500	A – B
Oficinas con trabajo intenso	750	A – B
Salas de diseño	1000	A – B
<u>Centros de enseñanza</u>		
Salas de lectura	300	A – B
Salones de clase, laboratorios, talleres, gimnasios	500	A – B

**TABLA DE ILUMINANCIAS
PARA AMBIENTES AL INTERIOR**

AMBIENTES	ILUMINANCIA EN SERVICIO (lux)	CALIDAD
<u>Tiendas</u>		
Tiendas convencionales	300	B – C
Tiendas de autoservicio	500	B – C
Tiendas de exhibición	750	B – C
<u>Edificios Públicos</u>		
Salas de cine	150	B – C
Salas de conciertos y teatros	200	B – C
Museos y galerías de arte	300	B – C
Iglesias		
- nave central	100	B – C
- altar y púlpito	300	B – C
<u>Viviendas</u>		
Dormitorios		
- general	50	B – C
- cabecera de cama	200	B – C
Baños		
- general	100	B – C
- área de espejo	500	B – C
Salas		
- general	100	B – C
- área de lectura	500	B – C
Salas de estar	100	B – C
Cocinas		
- general	300	B – C
- áreas de trabajo	500	B – C
Área de trabajo doméstico	300	B – C
Dormitorio de niños	100	B – C
<u>Hoteles y restaurantes</u>		
Comedores	200	B – C
Habitaciones y baños		
- general	100	B – C
- local	300	B – C
Áreas de recepción, salas de conferencia	300	B – C
Cocinas	500	B – C
<u>Subestaciones eléctricas al interior</u>	200	
Alumbrado general	500	B – C
Alumbrado local	50	A – B
<u>Alumbrado de emergencia</u>		B – C

**TABLA DE ILUMINANCIAS
PARA AMBIENTES AL INTERIOR**

AMBIENTES	ILUMINANCIA EN SERVICIO (lux)	CALIDAD
<u>Hospitales – Centros Médicos</u>		
Corredores o pasillos		
- durante la noche	50	A – B
- durante el día	200	A – B
Salas de pacientes		
- circulación nocturna	1	A – B
- observación nocturna	5	A – B
- alumbrado general	150	A – B
- exámenes en cama	300	A – B
Salas de exámenes		
- alumbrado general	500	A – B
- iluminación local	1000	A – B
Salas de cuidados intensivos		
- cabecera de cama	50	A – B
- observación local	750	A – B
Sala de enfermeras	300	A – B
Salas de operaciones		
- sala de preparación	500	A – B
- alumbrado general	1000	A – B
- mesa de operaciones	100000	A – B
Salas de autopsias		
- alumbrado general	750	A – B
- alumbrado local	5000	A – B
Laboratorios y farmacias		
- alumbrado general	750	A – B
- alumbrado local	1000	A – B
Consultorios		
- alumbrado general	500	A – B
- alumbrado local	750	A – B

Tabla 5. Iluminancias para ambientes al interior

CALIDAD DE LA ILUMINACIÓN POR TIPO DE TAREA VISUAL O ACTIVIDAD

CALIDAD	TIPO DE TAREA VISUAL O ACTIVIDAD
A	Tareas visuales muy exactas
B	Tareas visuales con alta exigencia. Tareas visuales de exigencia normal y de alta concentración
C	Tareas visuales de exigencia y grado de concentración normales; y con un cierto grado de movilidad del trabajador.
D	Tareas visuales de bajo grado de exigencia y concentración, con trabajadores moviéndose frecuentemente dentro de un área específica.
E	Tareas de baja demanda visual, con trabajadores moviéndose sin restricción de área.

4.1 APLICACIONES COMERCIALES

4.1.1 Señalización con LED's. La iluminación de estado sólido también es aplicada en el área de señalización, aprovechando las ventajas de los LED's que generan una luz pura y monocromática. Y además de todas sus ventajas, el brillo en los LED's de alta potencia cumple una tarea importante en el campo de la señalización debido a que este brillo permite identificar las señales generadas por los LED's de potencia aun estando a grandes distancias.

La baliza aérea modelo LED es una unidad compacta y liviana, que emite luz de obstáculo de baja intensidad. Ideal para instalaciones en estructuras elevadas tales como: torres de transporte de energía eléctrica, antenas de radio y telecomunicaciones, edificios, silos, puentes y toda construcción que representen riesgos para la aeronavegación.



Figura 36. Lámpara LED para señalización de torres y antenas de comunicaciones

La baliza convencional presenta el clásico problema de apagados frecuentes, debido a las características propias del filamento de tungsteno que se corta con cierta facilidad, especialmente en invierno donde posee menor resistencia a consecuencia de las bajas temperaturas del ambiente. Situación que acarrea grandes gastos en mantenimiento por reemplazo de lámparas en lugares de difícil acceso.

En cambio, la lámpara LED, presenta múltiples ventajas. Construida con LED's rojos de alto brillo, alcanza una intensidad lumínica de 32,5 Candelas, disminuyendo el consumo de energía, los costos en materiales y mano de obra para la instalación y prolongando la vida útil en operación a más de 100.000 horas, convirtiéndose en un elemento confiable y de gran rendimiento. Todo el conjunto es compacto, resistente, portátil y de larga

duración en condiciones normales de uso. Óptimo para instalaciones con panel solar, fuentes de tensión y bancos de baterías [40].



Figura 37. Balizas con LED's para helipuertos y barco

La linterna marina es una baliza destelladora de LED's de corto y medio alcance, con gran rendimiento luminoso y bajo consumo, constituida por 3 a 12 diodos LED de alta intensidad, con un alcance máximo de 16,4 millas náuticas. Ideal para instalaciones solares fijas y flotantes que requieran bajo consumo, como canales, bocanas, muelles, boyas, estructuras, piscifactorías, etc. La calidad y resistencia de los materiales con los que se fabrica proporcionan una larga vida de servicio en condiciones marinas muy severas [41].



Figura 38. Baliza marina con LED's

Los LED de luces de obstrucción roja, han sido diseñados para iluminar de manera constante o parpadear, para advertir de posibles obstáculos peligrosos, bajo las normas reguladoras [42].

Las señales viales son los medios físicos empleados para indicar a los usuarios de la vía pública la forma más correcta y segura de transitar por la misma, les permiten tener una información previa de los obstáculos y condiciones en que ella se encuentra. La tecnología de las balizas viales LED elimina el brillo causado por los focos comunes y la fatiga visual, mejorando las condiciones viales [43].



Figura 39. Reflector LED para señalización de cabinas de peaje

La siguiente baliza LED de señalización de aeropuertos y vías vehiculares es usada en:

- Luces de eje en secciones rectas y curvas y en calles de rodaje (pistas de aeropuertos)
- Barras de parada
- Luces de punto de espera intermedio
- • Luces de guía para maniobras en puestos de estacionamiento
- Luces de protección de pista para usarlas de noche.



Figura 40. Estructura de una baliza LED de señalización de aeropuertos y vías vehiculares

Las luces empotradas LED deberán cumplir con las normas, Así mismo deberán respetar los requerimientos fotométricos. La proyección sobre el nivel del suelo no debe exceder los 12,7 mm. Las fuentes luminosas serán fabricadas con grupos de diodos electro-luminiscentes y el período de duración por grupo será de 56,000 horas en máxima intensidad. El consumo de energía no superará los 15 W.

Las luces resistirán todas las cargas producidas por impactos, circulación y cargas estáticas de vehículos, sin dañarse la luz, ni los neumáticos de los vehículos. Todos los componentes serán fabricados a prueba de corrosión sin utilizar revestimientos protectores metálicos nocivos para el medio ambiente [44].



Figura 41. Balizas LED viales

4.1.2 Semáforos con LED's. Los LED's se utilizan de manera exitosa tanto en semáforos como en señales peatonales. Se sabe que todas las señales de tránsito que utilizan LED's requieren solo el 11% de la energía que utilizan las señales incandescentes convencionales.

Adicionalmente el mercado aumentó en la longevidad de los LED's los hace más atractivos para estas aplicaciones, ya que el cambio de las lámparas de los semáforos ocasiona interrupciones y cuesta importantes sumas de dinero.

Los ahorros en energía eléctrica, la reducción de gastos de mantenimiento y reposición, acompañados de la confiabilidad, la eficiencia y el alto nivel de luminosidad, brindan mucha seguridad en aplicaciones viales y ferroviarias [45].



Figura 42. Semáforos con LED's

CUADRO COMPARATIVO EN SISTEMAS DE SEMÁFOROS	
SISTEMA TRADICIONAL (Bombilla)	NUEVO SISTEMA (Diodos LED)
Duración habitual: Aprox. 6 meses.	Vida útil: 10 años.
Gran pérdida de luminosidad después de 5.000 horas.	Solo un 5% de pérdida de luminosidad después de 1 año (8.760 horas).
Señalización luminosa no uniforme.	Señalización luminosa uniforme.
Bajo contraste con la luz solar.	Alto contraste con la luz solar.
Problemas de visualización a distancia.	Mejor visibilidad a gran distancia.
Efecto "fantasma" a causa del reflejo de la luz solar en el reflector a través de la óptica.	Efecto "fantasma" inexistente (no hay reflector y los LED's son cristalinos transparentes cuando están apagados).
La eficiencia en el alumbrado tradicional incandescente es muy pobre, solo el 5% de la energía consumida se transforma en luz, y el 95% restante se disipa en calor.	La eficiencia de las lámparas con tecnología LED es superior o igual al 95%, y solo el 5% se transforma en calor. Lo que es totalmente opuesto al lo que se presenta con las lámparas tradicionales.
El consumo de energía de las lámparas de incandescencia es de 70 Wh, que es en promedio 1,680 W por día de funcionamiento.	El Ahorro energético que se genera con las lámparas de LED's es de más del 90%. El consumo de las lámparas de LED's es de 8,5 Wh de energía, que es en promedio 204 W por día de funcionamiento.



Figura 43 semáforos peatonales con LED's

4.1.3 Alumbrado público. La tecnología del LED blanco se está volviendo económicamente viable con las primeras grandes instalaciones en desarrollo. Así como ofrecen ventajas de longevidad y eficiencia, los LED's se pueden atenuar completamente y pueden ser diseñados para producir luz direccional, reduciendo así de manera potencial una de las principales fuentes de contaminación lumínica del cielo nocturno.

Los sistemas de iluminación por LED's tienen el potencial de reducir el consumo de energía entre un 25 y un 50 por ciento, dependiendo de la aplicación.

La tecnología de los LED's conquistó el sector de los displays de aparatos electrónicos a partir de los años setenta, pero ahora estamos al inicio de una nueva revolución, donde cada vez más los LED's están siendo usados en semáforos, en luces de automóviles, y en alumbrado interno y externo.

Mientras el vapor de sodio de alta presión de uso común brinda una eficiencia de 85 lumens por vatio, la tecnología de iluminación con LED's va camino de superar los 150 lumens por vatio, y esta última cifra incrementa continuamente a medida que se progresa en el desarrollo de semiconductores. Por otra parte, es totalmente compatible con el medioambiente pues no posee gases como el mercurio utilizado en sistemas de alumbrado público e industrial tradicionales.

Al mismo tiempo que se disminuye el consumo de energía y los costos generales de operación, la iluminación por LED's en las calles tiene el

potencial, debido a su direccionabilidad de reducir la contaminación lumínica hasta el punto de que el resplandor que emana de las grandes ciudades propagándose hasta vastas distancias, será cosa del pasado. Los científicos también estudian dotar a la iluminación callejera por LED's de medios por los cuales pueda ser controlada y disminuida cuando se considere necesario.

Gracias a su mayor longevidad, los LED's de farolas y semáforos necesitarán ser reemplazados con menos frecuencia, lo que potencialmente disminuirá los problemas de tráfico y las facturas de las entidades públicas locales.

Hasta la fecha la longevidad del módulo de LED's propuesto supera las 50.000 horas si se utiliza para el alumbrado callejero, aproximadamente 4 veces más que la iluminación pública convencional [46].

A continuación se presentara un ejemplo de las características de las luminarias LED's que están reemplazando las luminarias tradicionales de haluro metálico y de alta presión de sodio.

- **Rendimiento fotométrico**

Control racional de la distribución lumínica para obtener un haz de luz rectangular en el suelo. Cuando la luminaria esta instalada a una altura de 12 m, el haz es 16 x 40 m rectangular, y la radiación-eficiencia es más de el 70% en la región eficaz, la transparencia total es más del 90%. Es el rango mas grande posible para reducir la perdida de luz (la luz de los LED se ha utilizado completamente).

La uniformidad de la iluminación es muy buena en la región eficaz de la radiación, incluso mejor que 0.5 (más arriba de 0.4 que es el estándar máximo establecido en el reglamento estatal para los caminos). El haz de luz es uniforme y bien marcado hasta los bordes y no produce una contaminación lumínica, satisfaciendo así los requerimientos de la iluminación de caminos o de otras iluminaciones especiales.

Distribucion de luz a varias alturas

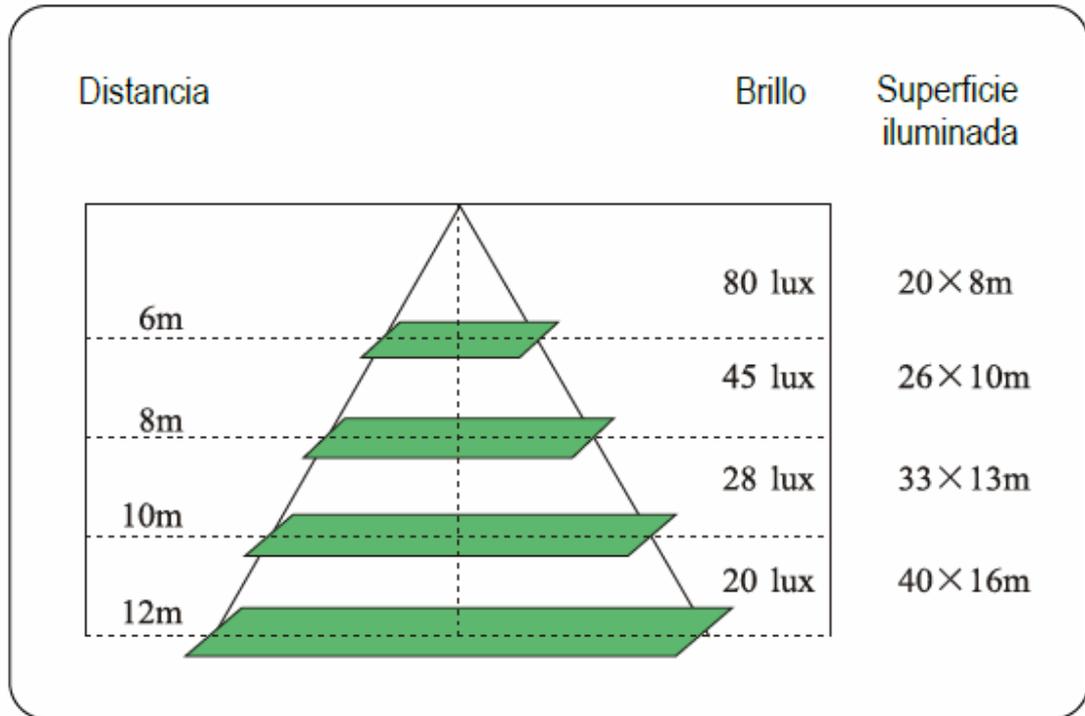


Figura 44. Rendimiento fotométrico de una lámpara LED

Comparación entre una lámpara de haluro metálico 250W y una luminaria de LED's de 112W



Figura 45. Comparación entre una lámpara de haluro metálico 250W y una luminaria de LED's de 112W

Comparación de la aureola y la temperatura de color para luminarias de LED's y las lámparas convencionales de la calle



Figura 46. Comparación de la aureola y la temperatura de color para luminarias de LED's y las lámparas convencionales de la calle

Luminaria de LED's

- A) Sin aureola, la temperatura del color es agradable, los objetos iluminados muestran colores vivos y verdaderos.
- B) Fuerte aureola, la temperatura del color es muy alta (cerca al CYAN), los objetos iluminados no muestran colores iluminados, la gente se siente irritada y depresiva.
- C) Fuerte aureola, la temperatura del color es muy baja (amarillo-naranja), los objetos iluminados no muestran colores verdaderos, la gente se siente aburrida e hipnotizada.

Con esta comparación se puede concluir lo siguiente:

- La luminaria LED's de 112W tiene un ahorro del 79% y de energía del 77%, comparada con la luminaria de haluro metálico de 250W, y la distribución igual de la iluminación es de 2 o aun 3 veces más que la lámpara de sodio y de halógeno. en las mismas condiciones las luminarias de LED's ahorran más del 90% de energía.
- La iluminación de la luminaria de LED's es muy uniforme comparada con la lámpara de sodio que muestra un exceso de luz.
- La distorsión es más baja que la luz de sodio y de halógeno.
- La regulación del voltaje de trabajo de la luz de sodio y de halógeno es +/-7%, mientras que la regulación del voltaje de trabajo para la luminaria de LED's es +/- 20%.

4.1.4 Iluminación General. La potencia y calidad del color de las lámparas de LED's son mejores que en las lámparas incandescentes utilizadas generalmente en la iluminación residencial directa, pero consume un quinto de la energía. Este tipo de lámparas es más eficiente lumínicamente que los sistemas de iluminación fluorescente directa más eficientes.



Figura 47. Iluminación de interiores

4.1.5 Iluminación residencial para hogares fuera de la red. Se estimó que en el año 2002, casi mil seiscientos millones de personas no tenían acceso a la electricidad. Se pronostica que esta cifra sólo decaerá a mil cuatrocientos millones para el 2030. Esto significa que aproximadamente un cuarto de la población mundial depende de fuentes de energía alternativas para la iluminación, como el querosén, el diesel, el propano, la biomasa, etc.

Estas fuentes de luz presentan una serie de problemas. En principio, el uso de luz a base de combustible es muy ineficiente. Por ejemplo, la potencia lumínica total anual de una simple lámpara de mecha equivale a la potencia producida en 10 horas por una lámpara incandescente de 100W. Esta ineficiencia se refleja en la baja intensidad de luz que dificulta la lectura y el trabajo. La ineficiencia también deriva del costo relativamente alto de la luz en términos de costo financiero de una baja intensidad de luz y cantidad de tiempo empleado en viajes para disponer del combustible. Los problemas de salud y seguridad por el uso de luces en base a combustibles son varios, desde la mala calidad del aire del interior de una vivienda, hasta incendios y riesgo de lesiones.

A nivel global, se estimó que de cuatro personas que dependen de fuentes de luz a base de combustible, una recibe el 0,1% de la energía lumínica total entregada. Sin embargo, la ineficiencia de la generación de luz radica en que para garantizar esta provisión se requiere del 12% de la energía primaria que se utiliza para la generación de luz. La combustión de estos combustibles se traduce en una emisión de 190 millones de toneladas de CO₂ o aproximadamente una décima parte del total proveniente de la iluminación.

Implementar una sola red centralizada de distribución de energía no representa una solución práctica ni posible para cubrir las necesidades de iluminación de muchas personas que actualmente dependen de fuentes a base de combustibles. Sin embargo, los LED's se están convirtiendo rápidamente en una tecnología práctica de reemplazo. Debido a las altas eficiencias de los LED's blancos modernos, su solidez, longevidad y bajo voltaje requerido, estas lámparas son ideales para usos en áreas remotas que pueden utilizar energía generada en el lugar a partir de una variedad de fuentes.

Los LED's en la actualidad son unas 1000 veces más eficientes (en términos de lumens por vatio) que un farol de llama y se pueden utilizar con fuentes de energía alternativas y mundialmente disponibles como la solar y la eólica. Se han desarrollado sistemas sencillos que utilizan paneles solares del tamaño de una hoja de papel y una batería que puede funcionar de manera efectiva y brindar iluminación general. La tecnología cuenta con un gran potencial como herramienta de desarrollo y sustentabilidad [14]

A continuación se mostrara un ejemplo de una casa que utiliza paneles solares y que elementos utiliza para la utilización y aplicación de energía solar:

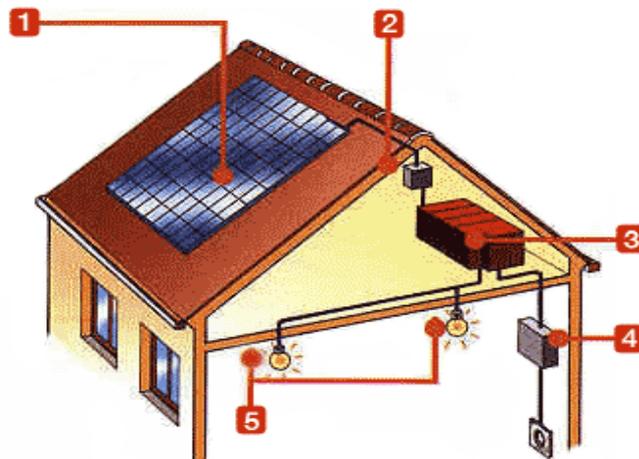


Figura 48. Elementos de una instalación fotovoltaica

1. **Módulos o paneles fotovoltaicos:** Están formados por varias células fotovoltaicas conectadas entre si de forma que producen una corriente eléctrica de una intensidad y voltaje determinados. Las células suelen estar hechas de silicio, que puede ser mono o policristalino. El primer tipo es más eficiente.
2. **Regulador de carga:** Impide que las baterías se sigan cargando cuando ya han alcanzado su nivel máximo. Si se sobrecargan se pueden calentar peligrosamente y se acorta su vida útil.

Evita el retorno de la carga de la batería a los paneles.

Si la batería estuviese cargada, pasaría la corriente al sistema de consumo y si no tuviésemos consumo, la disiparía en forma de calor.

3. **Baterías:** Acumulan la energía producida para que esté disponible durante la noche y en los días nublados.
4. **Inversor de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC):** Adapta la corriente generada por los paneles, que es continua, a la utilizada por las lámparas, los electrodomésticos y los motores.
5. **Iluminación:** Cuando solo se necesite iluminación, se puede prescindir del inversor, o no, según sea el tipo de lámparas a usar, de corriente continua o de corriente alterna.

4.1.6 Iluminación arquitectónica, publicitaria y decorativa. Los LED's ya se utilizan para iluminar edificios y estructuras (incluyendo, por ejemplo, la Torre Eiffel). La producción de colores brillantes, la solidez (resistencia mecánica frente a las diversas condiciones medioambientales) y la longevidad los hace una opción muy atractiva. Los LED's también están reemplazando a las lámparas de neón para publicidad.

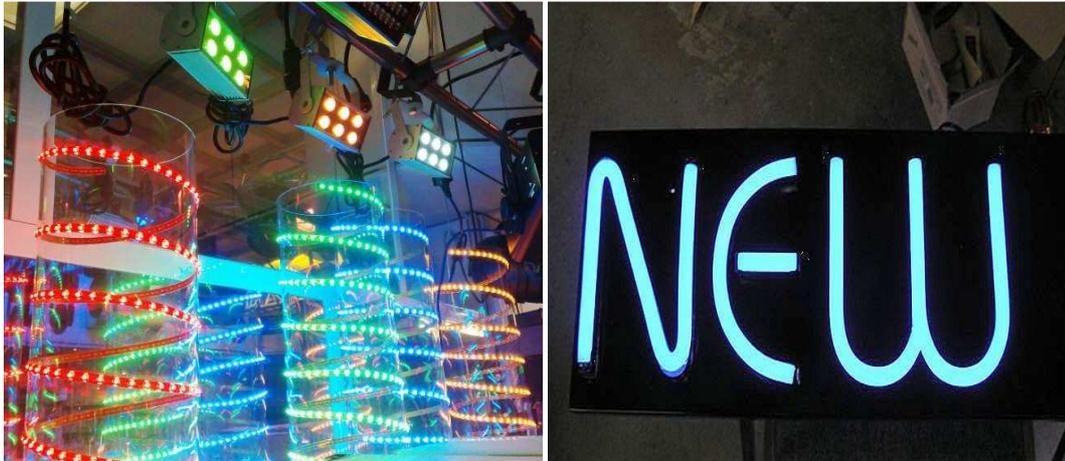


Figura 67. Iluminación publicitaria y decorativa

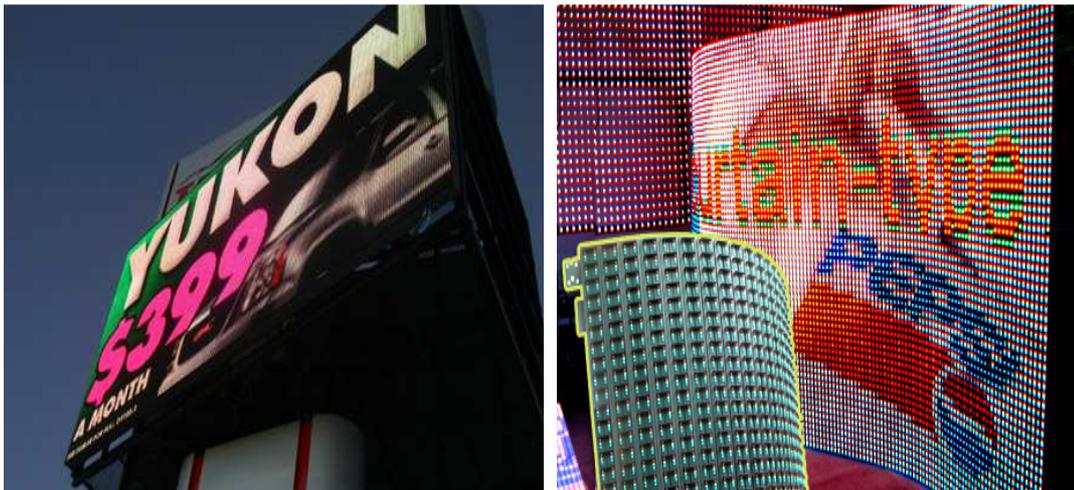


Figura 68. Pantallas electrónicas publicitarias

En la iluminación decorativa también se están utilizando barras de iluminación con LED's. Esta barra entrega la intensidad de iluminación de una serie de emisores LED con una luz limpia y más consistente que cualquier otro tubo existente en el mercado. Su facilidad de instalación y mantenimiento junto con más de 50,000 horas de vida útil, hace de estas la mejor opción para aplicaciones comerciales de iluminación en mostradores, avisos publicitarios, y en general en donde se requiera de de este tipo de iluminación.



Figura 15. Barras de iluminación con LED's

4.1.7 Iluminación en vehículos. Los LED's ya se han utilizado durante años para luces de color (freno e intermitente) en una limitada variedad de vehículos. Las ventajas sobre la tecnología incandescente son: eficiencia superior, mayor potencia de luz (más brillante), mayor vida útil (posiblemente mayor a la del vehículo), mayor solidez, mayor seguridad (alcanza su brillo máximo rápidamente) y mayores posibilidades de diseño. Los LED's blancos ya son utilizados para lámparas de día y están evolucionando para ser utilizadas en los faros delanteros en un futuro cercano. Las mejoras en la eficiencia son considerables, un sistema de LED de 5W puede reemplazar las luces de día que pueden utilizar más de 150W. Se pronostica que el mercado del LED en la industria automotriz se duplique de \$650 millones en 2006 a \$1300 millones en 10 años.



Figura 52. Iluminación LED en vehículos

4.1.8 Luminarias industriales. La iluminación de estado sólido también cuenta con aplicaciones de tipo industrial, posee diferentes diseños de luminarias para distintos ambientes de trabajo. Este tipo de iluminación

presenta grandes ventajas, como las explicadas anteriormente con respecto a la iluminación tradicional utilizada para este tipo de trabajo.

A continuación se mostrara uno de los tipos de luminaria de estado sólido más usados en aplicaciones industriales; esta luminaria industrial posee un mínimo de consumo de energía y se caracterizan por su durabilidad bajo condiciones medio ambientales extremas.

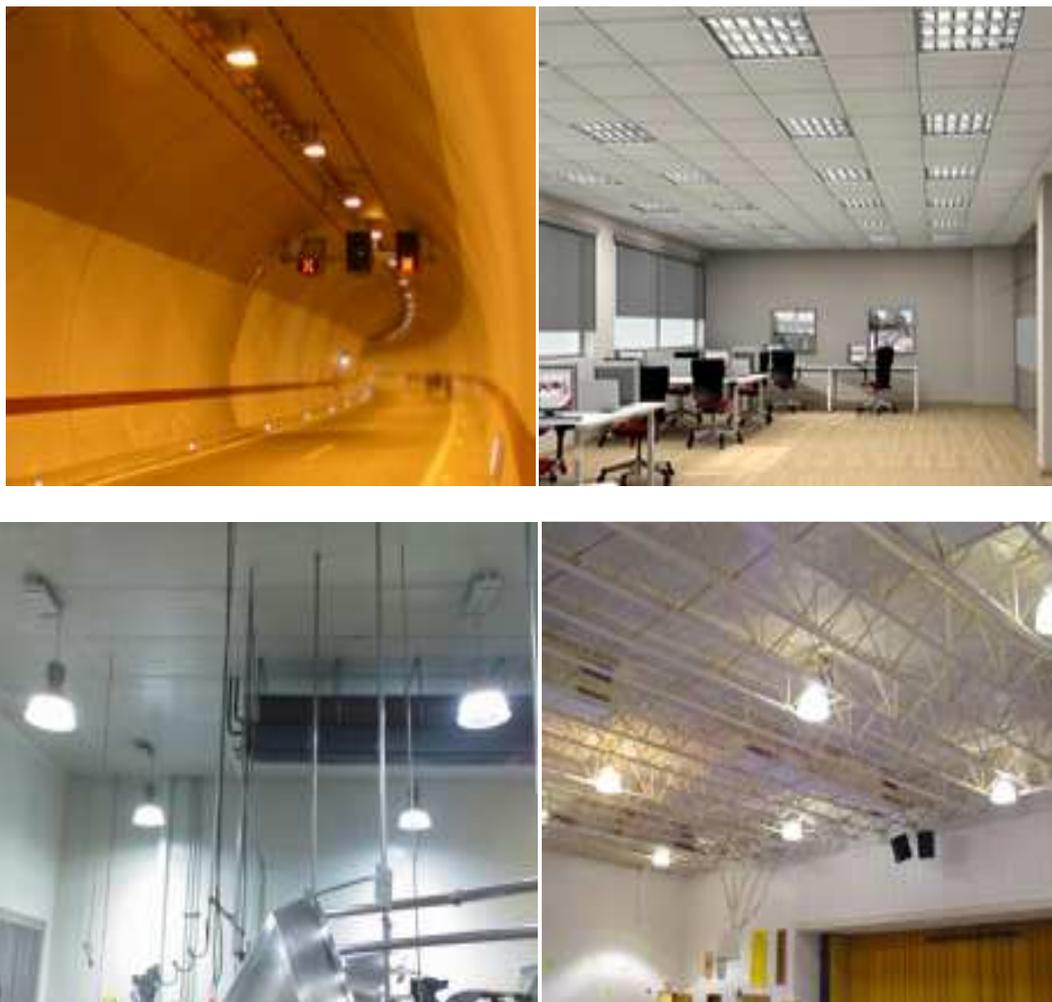


Figura 53. Iluminación industrial con LED's

5. EVOLUCIÓN Y PROYECCIÓN (FUTURO DE LA ILUMINACIÓN DE ESTADO SÓLIDO)

5.1 EVOLUCIÓN DE LOS LED's

El primer LED comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja de aproximadamente 10mcd a 20mA. El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP), con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700nm. A pesar de que se consiguió una eficiencia de conversión electrón-fotón o corriente-luz más elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente bajas corrientes, y un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto la emisión estaba muy cerca del infrarrojo, una zona en la cual el ojo no es muy sensible, por lo que el LED parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores como el verde y rojo utilizando GaP y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. También se desarrollaron LED's infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década del 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los LED's empezó a despegar ya que proveía un mayor rendimiento sobre los LED's desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes, lo que permitía utilizarlos en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades.

Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuación temporal que define la vida útil. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros LED's se fabricaban

manualmente, y el posicionamiento del sustrato y del vertido de la resina era realizado por operarios y no por máquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del LED era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son más las fábricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además últimamente es más común que las resinas posean inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos LED's destinados al uso en el exterior.

En los 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir LED's hasta la fecha el AlInGaP (Aluminio, Indio, Galio y Fósforo). Las principales virtudes de este compuesto son que se puede conseguir una gama de colores que van desde el rojo al amarillo, cambiando la proporción de los materiales que lo componen, y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor a la de sus predecesores. Mientras que los primeros LED's tenía una vida promedio efectiva de 40,000 horas los LED's de AlInGaP tienen más de 100,000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

En condiciones normales de uso un LED se degrada o sea que pierde luminosidad a una tasa del 5 % anual. Cuando el LED ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil y eso es lo que queremos decir cuando hablamos de vida de un LED. Un rápido cálculo nos da que en un año hay 8760, horas por lo que podemos considerar que un LED de AlInGaP tiene una vida útil de más de 10 años.

A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LED's de origen japonés, se llegó al desarrollo del LED azul, este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm). Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio-Carbono, otra basada en el GaN Galio-Nitrógeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrógeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN Galio-Nitrógeno sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otra técnica como la de ZnSe Zinc-Selenio ha sido dejada de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura.

Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro visible, esto permite que las pantallas gigantes y carteles de mensajes variables a color se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana.

Es también posible lograr otros colores con el mismo material GaN, como por ejemplo: el verde azulado o turquesa, el púrpura, el violeta, el ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor [47].

5.2 PROYECCION DE LA ILUMINACIÓN DE ESTADO SOLIDO

5.2.1 Nuevas opciones de iluminación: Píxeles de LED's. La aparición de los LED's como arte público o como elemento decorativo ha aumentado exponencialmente las opciones que tenemos a la hora de decorar el interior y el exterior de nuestra casa, local o empresa.

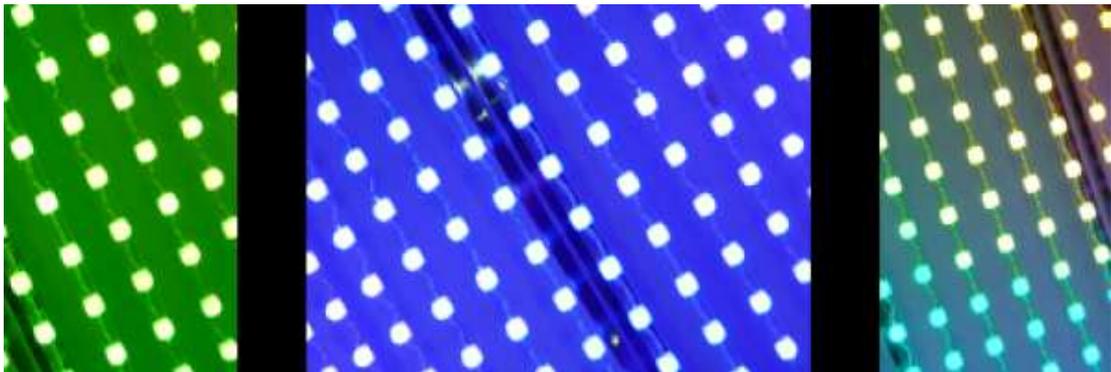


Figura 54. Píxeles de LED's

Los píxeles de LED's son usados para emular diferentes efectos de animaciones, así como para iluminación decorativa de ambientes. Además, cada píxel, o lámpara puntual, puede ser controlado de manera independiente, permitiendo así la generación de diversos efectos tanto de cambio de color, como de movimiento. Adicionalmente, como están constituidos y enlazados por redes, la separación entre estos puede ajustarse dependiendo de cada proyecto.



Figura 55. Red de pixeles de LED's

Principales Características:

-> Larga durabilidad de las lámparas LED's que cuentan con una media de vida que rondaría entre las 50,000 y las 100,000 horas.

-> Pueden ser instaladas tanto en interiores como en exteriores, ya que su recubrimiento impide el deterioro por la lluvia o por una nevada.

-> Gran capacidad operativa ya que se pueden controlar más de 16,000 pixeles, por cada controlador, lo que permite generar efectos visuales y animaciones impresionantes.

-> Pueden trabajar de manera síncrona mediante un PC, o de manera asíncrona a través de una tarjeta de memoria SD.

-> Al estar basado en LED's, este sistema muestra animaciones con colores mucho más vivos [17].

La iluminación de estado sólido en el futuro promete reemplazar toda la iluminación tradicional, por sus enormes ventajas, los diseños arquitectónicos ya no tendrán límites, ya que con la iluminación de estado sólido se pueden generar diseños inimaginables que nunca se habían podido lograr con la iluminación tradicional, el alumbrado público, todo tipo de señalización, publicidad y aplicaciones donde se requiera utilizar iluminación, que hoy en día todavía utilizan iluminación tradicional se podrán reemplazar por la iluminación de estado sólido ya que su evolución en todos sus aspectos (potencia, eficiencia en la transformación de energía, calidad del color, etc.) cada día serán mejores debido a la utilización de nuevos materiales que han permitido crear nuevos LED's que generan prácticamente todo el espectro visible de colores, todo esto permitirá que se pueda implementar en todo tipo de aplicaciones de iluminación.

El ahorro energético será muy grande, y la contribución al medio ambiente será una de las muchas ventajas que traerá la utilización de la iluminación de estado sólido. Todo esto será muy importante para el futuro del planeta

6. INSTALACIONES PARA LA ILUMINACION DE ESTADO SOLIDO

Las instalaciones eléctricas para la iluminación de estado sólido se pueden implementar de diferentes formas, las cuales se analizarán y se detallarán a continuación:

Para los ejemplos que se explican se tendrá en cuenta que la red eléctrica existente es una red domiciliaria de una casa residencial, y tal red cumple con las normas establecidas por el RETIE y la NTC 2050.

La primera de ellas implementa una instalación utilizando la red eléctrica existente de una casa, en este tipo de instalación solo se reemplazarán los bombillos tradicionales por bombillos de LED's, al reemplazar la iluminación tradicional se tendrán que utilizar una serie de protecciones adicionales a las existentes en la red normal de corriente alterna (AC), ya que estos bombillos son más sensibles a cambios bruscos de corriente y de tensión, debido a que su alimentación es en corriente continua y al uso de convertidores electrónicos integrados dentro de tales lámparas.

La segunda es implementar una instalación utilizando una red eléctrica con energía fotovoltaica y detallar los elementos que contiene este tipo de instalación, tipo de protecciones, en esta instalación solo se utilizará bombillos LED's.

6.1 ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION TRADICIONAL IMPLEMENTADA CON BOMBILLOS LED'S

La instalación y el funcionamiento óptimo de una instalación eléctrica domiciliaria, se rigen en nuestro país por el reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE y por las normas técnicas colombianas NTC 2050, con las cuales se brindará la seguridad y la confiabilidad necesaria a la energía eléctrica demandada por el usuario.

A continuación se detallarán algunos elementos que contiene una red eléctrica residencial, para el ejemplo que se va a tomar se detallará la parte de iluminación que utiliza bombillos incandescentes y la cual se reemplazará con bombillos con tecnología de LED's

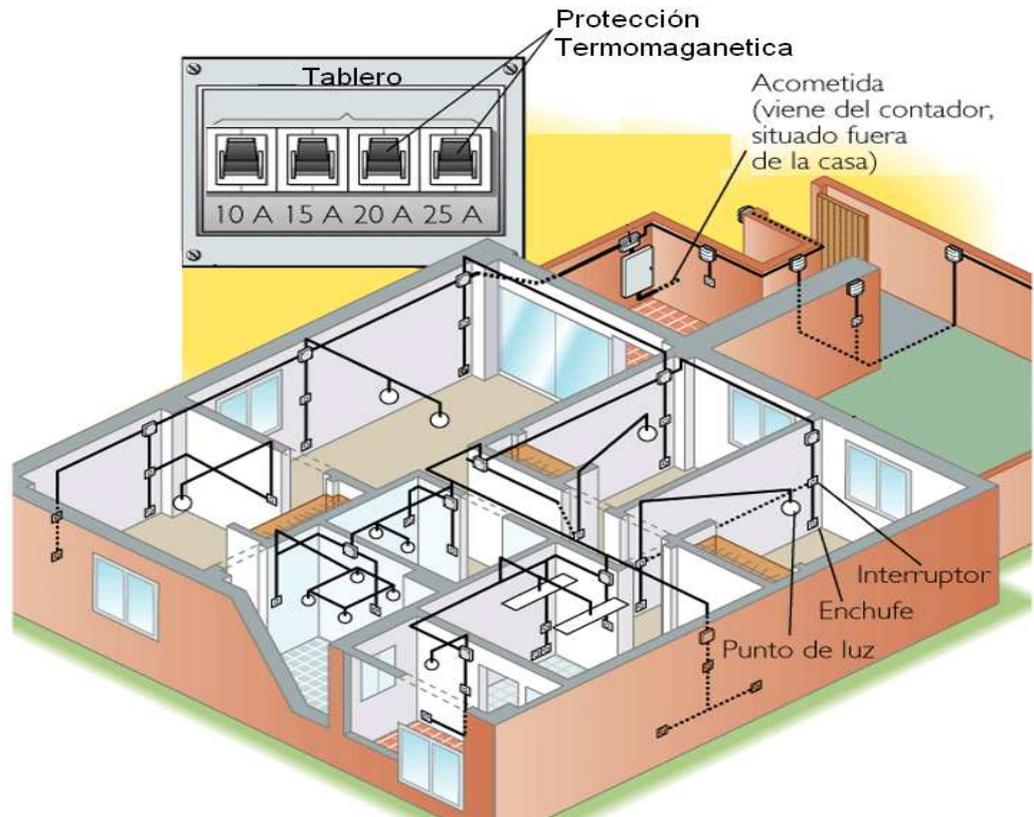


Figura 56. Instalación eléctrica residencial

Un tipo de instalación residencial común tiene una o varias, acometidas, tableros de distribución y control, circuitos ramales para iluminación y los tomacorrientes, interruptores, tomas, lámparas, etc.

El circuito de iluminación será el que se analice a continuación.



Figura 57. Tablero y protecciones contra sobrecarga

Al reemplazar los bombillos incandescentes por bombillos LED, la inversión inicial sería un poco alta pero el ahorro de energía y todas las características de los LED's hace que sea una inversión razonable. Para entender mejor esta situación a continuación se mostrará un ejemplo:

En el ejemplo se considera una casa que cuenta con 15 bombillos incandescentes y utiliza una protección contra cortocircuitos y sobrecargas. Los 15 bombillos incandescentes están conectados en un circuito ramal, la potencia de cada bombillo es de 100W, su vida útil promedio es de 1000 horas.

En cambio los bombillos de LED's de 10W que van a reemplazar los bombillos incandescentes son de 10W, su vida útil promedio es de 50,000 horas y se adaptan a la red eléctrica existentes.

La potencia del circuito con bombillas incandescentes es de 1,500W, y operan a un voltaje de 120V, por lo tanto la corriente es de 12,5A, para esta corriente por norma se utiliza una protección para sobrecargas y cortocircuitos (taco) de 15A en el circuito ramal.

El reemplazo con los bombillos de LED's de 10W, los cuales operan bajo las mismas condiciones de tensión que los bombillos incandescentes, consume una potencia de 150W y por lo tanto la corriente ahora se reduce a 1,25A, para esta corriente por norma se deberá utilizar una protección para sobrecargas y cortocircuitos (taco) de 5A en el circuito ramal. Para proteger las lámparas de LED's contra sobrevoltajes hay que añadir otro tipo de protección, esto es conveniente, ya que estos bombillos y sus circuitos de control y regulación electrónicos son muy sensibles y pueden ser dañados por picos de corrientes y voltajes transitorios, ocasionados por arranques bruscos, deslastres de cargas y descargas atmosféricas, entre otras causas. La siguiente figura muestra este tipo de protección, que deberá ir ubicada en el tablero general protegiendo para este caso solo el circuito ramal de iluminación.



Figura 58. Protección contra sobretensiones



Figura 59. Tablero con las protecciones para sobrevoltajes

A continuación se mostrara el cálculo del consumo de energía en un mes y la comparación entre el bombillo incandescente de 100W y un bombillo LED de 10W:

- Bombillo incandescente de 100W:



Figura 60. Bombillo incandescente

- _ Vida útil promedio 1,000 horas
- _ Eficiencia luminosa muy baja solo el 5% es generada en luz
- _ Baja resistencia mecánica

El consumo de un bombillo incandescente de 100W (para el siguiente calculo se tomo en cuenta el ejemplo anterior 15 bombillos), con un promedio de uso de 5 horas diarias es de 7,5 KW/H el precio de un KW/H es aproximadamente de 200\$ pesos en un estrato socioeconómico medio, entonces el precio a pagar por el consumo de un mes de de estos bombillos es de 45,000\$ pesos.

- Bombillo de LED's de 10W:



Figura 61. Bombillo LED

- _ Vida útil promedio 50,000 horas
- _ Eficiencia luminosa muy alta hasta un 95% es generado en luz
- _ Alta resistencia mecánica
- _ No se calienta y emite luz fría

El consumo de un bombillo LED de 10W (para el siguiente calculo se tomo en cuenta el ejemplo anterior 15 bombillos), con un promedio de uso de 5 horas diarias es de 0.75 KW/H el precio de un KW/H es aproximadamente de 200\$ pesos en un estrato socioeconómico medio, entonces el precio a pagar por el consumo de un mes de de estos bombillos es de 4,500\$ pesos.

En conclusión el ahorro que se generara en la factura mensualmente será de 40,500\$ pesos, el precio de cada bombillo LED es aproximadamente de 50,000\$ pesos, entonces la inversión inicial para los 15 bombillos LED sería de 750,000\$ pesos, la inversión inicial se librara en 20 meses. La vida útil de los bombillos LED operando en un promedio de 5 horas diarias es aproximadamente 26 años.

6.2 ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

6.2.1 Energía Fotovoltaica. Consiste en transformar directamente la energía lumínica del Sol en energía eléctrica por medio de las Celdas fotovoltaicas.

La célula fotovoltaica, elemento encargado de transformar la energía solar en eléctrica, se basa en un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico, que consiste en la producción de una fuerza electromotriz por acción de un flujo luminoso que incide sobre la superficie de dicha célula. La célula fotovoltaica más común consiste en una delgada lámina de un material semiconductor compuesto principalmente por silicio de cierto grado de pureza, que al ser expuesto a la luz solar absorbe fotones de luz con suficiente energía como para originar el "salto de electrones", desplazándolos de su posición original hacia la superficie iluminada. Al desprenderse estos electrones con su carga negativa (n) originan la aparición de huecos o lagunas con cargas positivas (p). Como los electrones tienden a concentrarse del lado de la placa donde incide la luz solar, se genera un campo eléctrico con dos zonas bien diferenciadas: la negativa, de la cara iluminada donde están los electrones y la positiva en la cara opuesta donde están los huecos o lagunas.

Si ambas zonas se conectan eléctricamente mediante conductores adheridos a cada una de las caras de la placa el desequilibrio eléctrico origina una fuerza electromotriz o diferencia de potencial, creando una corriente eléctrica para igualar las cargas. Dicha corriente, obviamente continúa, se genera en

un proceso constante mientras actúe la luz solar sobre la cara sensible de la lámina.

La energía fotovoltaica nos brinda la oportunidad de reducir costos. Por ejemplo, para la implantación de la energía solar no se requieren normas de seguridad especiales (salvo las que tienen que ver con la seguridad en las instalaciones de corriente continua), ni restricciones a los escapes de gases, ni reglamentos especiales sobre residuos, ni estaciones de control de la contaminación.

6.2.2 Elementos de una instalación fotovoltaica. Una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo necesita de varios componentes diferentes para funcionar correctamente.

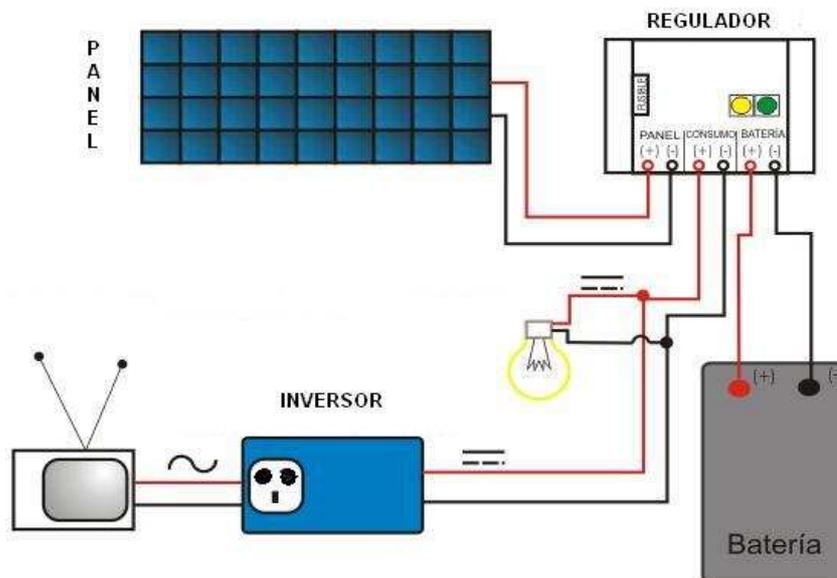


Figura 62. Diagrama de una instalación fotovoltaica

A continuación se explicaran los componentes de una instalación fotovoltaica:

- **Ondulador, inversor o convertidor.** Las tres palabras son sinónimos. La placa fotovoltaica produce electricidad continua, mientras que nuestros electrodomésticos e iluminación utilizan la alterna. Este aparato se encarga de convertirla.
- **Regulador.** Regula la entrada de electricidad en las baterías para evitar sobrecargas. Este dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas. El regulador podrá no incluir alguna de estas funciones si existe otro componente del sistema encargado de realizarlas [48]

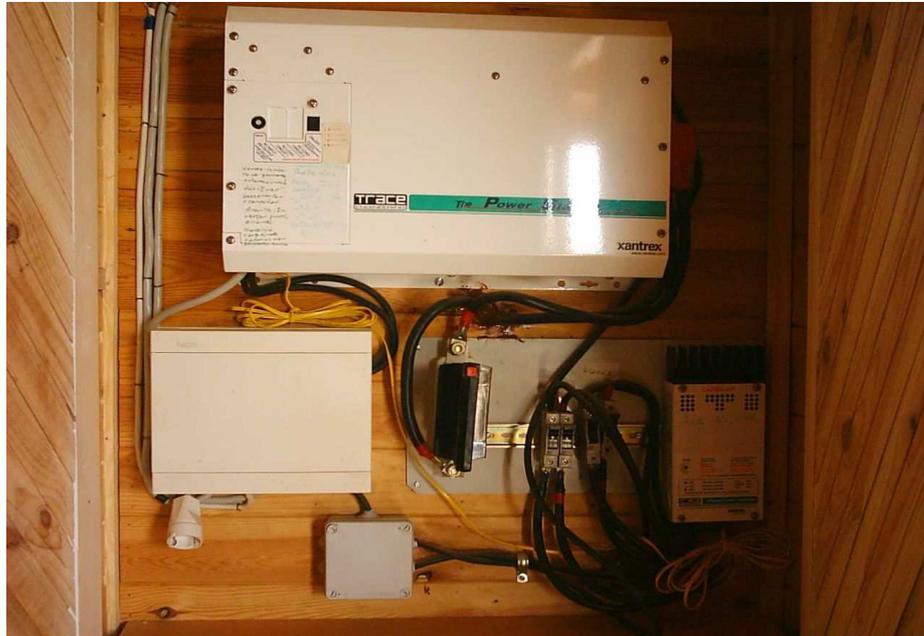


Figura 63. Elementos de una estación fotovoltaica

- **Baterías.** Funcionan de forma similar a las baterías de un coche. Son necesarias para poder utilizar la electricidad cuando la necesitemos. La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos [50].



Figura 64. Banco de baterías

- **Grupo electrógeno.** Al utilizar energía solar se depende de las condiciones meteorológicas, por eso, es necesario disponer de fuentes de energía auxiliares para asegurar el suministro.
- **Placas o módulos fotovoltaicos.** Es un conjunto de celdas conectadas en arreglos paralelos y serie, encargadas de convertir la luz del Sol en energía eléctrica. Los paneles solares constan de un conjunto de celdas fotovoltaicas constituidas por láminas de silicio monocristalino, interconectadas eléctricamente e inmersas en un relleno transparente (plástico inerte), que se montan de modo conveniente en una estructura soporte.

La corriente y el voltaje entregados por un panel solar varían con la intensidad de la luz incidente, con la temperatura ambiente y con el arreglo o conexión que se haga de las celdas.

La potencia máxima de un panel se expresa en watt pico (Wp) y la energía que entrega en watt hora (Wh), que es el producto de la potencia máxima por el tiempo efectivo de exposición a la radiación solar [51].



Figura 65. Grupo de paneles solares

La creciente preocupación por las elevadas emisiones de CO₂ y el impacto que estas tienen en el calentamiento global del planeta ha impulsado en estos últimos años la utilización de las energías renovables. Si bien hace ya bastantes años que se utiliza la energía solar para generar energía eléctrica, ha sido en estos últimos años cuando estas aplicaciones se han desarrollado profundamente, a lo que ha contribuido el marco legal vigente, que ha hecho de estas instalaciones una inversión rentable.

Estas instalaciones han ido creciendo en potencia y mejorando tecnológicamente y, en esta evolución, han aparecido nuevas necesidades de protección, especialmente en la parte de corriente continua (DC), donde debido al constante incremento de potencia de las plantas destinadas a ser conectadas a la red, es común que se alcancen tensiones superiores a los 800V DC. Atentos a estas nuevas necesidades, se ha desarrollado una gama de cartuchos fusibles y sus correspondientes bases porta fusibles, especialmente diseñadas para las condiciones en que tienen que trabajar y actuar estas protecciones.

6.2.3 Funcionamiento de una red eléctrica domiciliar empleando corriente continua generada por medio de energía fotovoltaica. En una instalación fotovoltaica (PV) la generación de energía se produce mediante la transformación de la luz solar en energía eléctrica (corriente continua), función realizada por las células fotovoltaicas, agrupadas en módulos, que a su vez son conectados en serie para sumar las tensiones formando grupos o cadenas. Varios de estos grupos se conectan en paralelo para sumar las corrientes. En este punto ya tenemos una gran potencia en corriente continua que se debe convertir a corriente alterna, función que realiza el inversor. Ya

en la parte de corriente alterna se tienen las correspondientes protecciones, los equipos de medida destinados a cuantificar la energía aportada a la red y la aparamenta necesaria para realizar la conexión.

La instalación se complementa con las correspondientes protecciones contra las sobretensiones transitorias, tanto en la parte de continua como en la de alterna, diversos seccionadores que permiten cortar algunas secciones de la instalación para tareas de mantenimiento.

El material instalado en la parte de corriente alterna, es el normalmente utilizado en las instalaciones de baja tensión, sin embargo, es en la parte de corriente continua donde debido a las especiales condiciones de trabajo se han tenido que desarrollar materiales y componentes específicos para este tipo de instalaciones, desde cables hasta protectores de sobretensiones, seccionadores y lógicamente unos fusibles de protección adecuados.

Como las células fotovoltaicas cuando son cortocircuitadas aportan bajas corrientes de defecto, aquellas instalaciones pequeñas que tengan como máximo tres grupos o cadenas de módulos fotovoltaicos, no es necesario que sean protegidas contra sobre corrientes. A partir de cuatro deben protegerse siempre.

6.2.4 Protección contra sobrecargas y cortocircuitos en corriente continua (DC). En corriente continua (DC) las condiciones de trabajo tienen unas peculiaridades que hacen que la protección sea mucho más compleja:

- **Corriente continua (DC):** Es más difícil la interrupción de la corriente continua que la alterna. El hecho de que no pase por cero dificulta la extinción del arco en el interior del fusible (especialmente con corrientes débiles). La constante de tiempo a considerar en la práctica es muy baja (del orden de $L/R \approx 1$ ms) ya que la única inductancia del circuito es prácticamente la de los cables.
- **Valores elevados de tensión:** Con la finalidad de aumentar la potencia de las instalaciones y mejorar el rendimiento del sistema, se trabaja a tensiones elevadas (cerca de 900 V DC). Esto además posibilita que los inversores puedan trabajar sin transformador lo que redundará en un mejor rendimiento y en una reducción de costes.
- **Corrientes de defecto débiles:** Las células fotovoltaicas cuando son cortocircuitadas aportan bajas corrientes de defecto, por lo que los fusibles para esta aplicación (PV) deben ser capaces de interrumpir sobre corrientes débiles. Estas condiciones, sumadas a que es corriente continua y con valores de tensión elevados hacen que el fusible deba trabajar en condiciones muy difíciles.

- **Variación constante de corriente:** Los ciclos día/noche y el paso de nubes hacen que la corriente varíe continuamente a través de los fusibles, generando continuos calentamientos y enfriamientos que producen stress térmico y mecánico en los materiales, especialmente en el elemento de fusión.

Si el fusible no está preparado para ello, se produce un envejecimiento prematuro que provoca la fusión intempestiva del mismo, con la consiguiente desconexión del grupo de módulos, la pérdida de potencia generada y la necesidad de intervenir para la reposición del mismo, con los perjuicios económicos que se derivan.

Por todos estos motivos, no deben utilizarse fusibles de uso general gG en la parte de corriente continua (DC), ya que no cumplen los requisitos para estas instalaciones y en caso de defecto no pueden interrumpir la corriente de forma segura, con resultados catastróficos para el resto de la instalación y para las personas.

En los últimos años se han desarrollado una gama de cartuchos fusibles y sus correspondientes bases portafusibles, especialmente diseñadas para las condiciones en que tienen que trabajar y actuar estas protecciones.

Los cartuchos fusibles son cilíndricos de tamaño 10x38, que es una talla muy generalizada para esta aplicación y suelen montarse en bases portafusibles modulares con grado de protección IP20. Estas bases deben estar diseñadas para poder trabajar a los niveles de tensión requeridos en cuanto a materiales, líneas de fuga y distancias de aislamiento.

A continuación se detallaran algunas de las protecciones más utilizadas para sobretensiones:



Figura 66. Protección para sobretensiones interruptor DS210

La protección DS210 se utiliza para la protección de los equipos conectados a alimentaciones continuas (y alternas también) contra las sobretensiones transitorias debidas a rayos. El esquema utilizado está basado en varistores de tensión adaptada a la red (12VDC, 24VDC, 48VDC, 75VDC, 95VDC, 110VDC y 130VDC), estas vienen equipadas de una forma de desconexión térmica con el fin de controlar su vida útil [52].

Tabla característica del interruptor

Referencias CITEC		DS210-12DC	DS210-24DC	DS210-48DC	DS210-75DC	DS210-95DC	DS210-110DC	DS210-130DC
Tensión nominal continua	Un-dc	12 Vdc	24 Vdc	48 Vdc	75 Vdc	95 Vdc	110 Vdc	130 Vdc
Tensión máxima alternativa	Uc	10 Vac	15 Vac	40 Vac	60 Vac	75 Vac	95 Vac	115 Vac
Tensión máxima continua	Uc-dc	15 Vdc	30 Vdc	56 Vdc	85 Vdc	100 Vdc	125 Vdc	150 Vdc
Corriente de descarga nominal	In	1 kA	1 kA	1 kA	2 kA	2 kA	2 kA	2 kA
		15 impulsos 8/20 μ s						
Corriente de descarga máxima	I _{max}	2 kA	2 kA	2 kA	6 kA	6 kA	6 kA	6 kA
		1 impulso 8/20 μ s						
Nivel de protección (a In)	Up	85 V	105 V	180 V	250 V	300 V	350 V	400 V
Desconectores asociados								
Desconectores térmico		interno						
Fusibles		Fusibles tipo gG - 10 A						
Características								
Dimensiones		ver esquema						
Conexión a la red		por terminales de tornillos : 1.5-10 mm ² (conductores activos) - 2,5-25 mm ² (tierra)						
Indicador de desconexión		Extinción LED verde						
Montaje		caril simétrico 35 mm						
Temperatura de funcionamiento		-40/+85 °C						
Clase de protección		IP20						
Material plástico		Termoplástico UL94-V0						

Existen diferentes tipos de protecciones para sobretensiones a continuación se detallaran algunos tipos y sus diferentes características



Figura 67. Protección tipo 1 para fotovoltaico interruptor DS60PV

El DS60PV es una protección de Tipo 1, muy potente, destinada a ser instalada en las extremidades de líneas exteriores de una instalación fotovoltaica. Se recomienda especialmente el uso de esa protección en regiones de alta densidad de descarga, donde el riesgo de impacto directo por un rayo es máximo. El DS60PV permite proteger las redes de alimentación continua en modo común. La protección está diseñada para resistir a una descarga de 25 kA en onda 10/350µs

Tabla característica del interruptor DS60PV-500

Referencias CITEI		DS60PV-500	DS60PV-1000
Tensión nominal de la red		500 Vdc	1000 Vdc
Tensión de régimen perm. máx.	Uc	550 Vdc	1000 Vdc
Corriente de func. permanente	Ic	< 1 mA	< 1 mA
<i>Corriente de fuga a Uc</i>			
Corriente serie	If	ninguna	ninguna
Corriente de descarga nominal	In	40 kA	40 kA
<i>15 impulsos 8/20 μs</i>			
Corriente de rayo máx. por polo	Iimp	12,5 kA	12,5 kA
<i>tenue max. 10/350 μs</i>			
Tensión residual (a Iimp)	Ures	1.6 kV	1.9 kV
Nivel de protección (a In)	Up	1.7 kV	2.4 kV
Desconectores asociados			
Desconectores térmicos		interno	
Características mecánicas			
Dimensiones		Ver esquema	
Conexión a la red		por terminales de tornillos : 6-35 mm ² / por bus	
Indicador de desconexión		1 indicador mecánico	
Telesñalización		por contacto seco	
Montaje		carril simmetrico 35 mm	
Temperatura de funcionamiento		-40/+85 °C	
Clase de protección		IP20	
Material plástico		Termoplástico PEI UL94-5VA	
Conformidad con las normas			
NF EN 61643-11	Francia	Parafoudre Basse Tension - Essais Classe I et II	
CEI 61643-1	Internacional	Low Voltage SPD - Test Class I and II	
EN 61643-11	Europa	Parafoudre Basse Tension - Essais Classe I et II	
UL1449 ed.2	EE-UU	Low Voltage TVSS	



Figura 68. Protección tipo II para fotovoltaico interruptor DS50PVS-1000

Las protecciones de Tipo 2 ref. DS50PV se destinan a la protección contra las sobretensiones transitorias debidas a descargas atmosféricas, de las redes de alimentación fotovoltaica. Los productos se instalan en paralelo en las redes a proteger y ofrecen una protección en modo común o modo común y diferencial. El DS50PV es disponible para las principales tensiones usadas en instalaciones fotovoltaicas: 500, 600, 800 y 1000 VDC. Se colocan las protecciones de Tipo 2 en las extremidades (del lado panel y del lado instalación) de la línea de alimentación fotovoltaica, especialmente cuando está en exterior. El esquema eléctrico integra varistores con un sistema de desconexión y sus indicadores asociados [53].

Tabla característica del interruptor DS50PVS-1000

Referencias CITEL	DS50PV-500	DS50PV-600	DS50PV-800	DS50PV-1000
Red	500 Vdc	600 Vdc	800 Vdc	1000 Vdc
Modo de protección	MC (1)	MC	MC/MD	MC/MD
Tensión máx. U_{cpv}	530 Vdc	720 Vdc	840 Vdc	1060 Vdc
Corriente de func. permanente I_c Corriente de fuga a U_c	< 0.1 mA	< 0.1 mA	< 0.1 mA	< 0.1 mA
Corriente serie I_f	aucun	aucun	aucun	aucun
Corriente de descarga nominal I_n 15 impulsos 8/20 μs	20 kA	20 kA	20 kA	20 kA
Corriente de descarga máx. I_{max} tenue max. 8/20 μs	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
Nivel de protección (à I_n) U_p	1,8 kV	2,5 kV	3 kV	3,6 kV
Tensión residual a 10 kA	1,2 kV	2,2 kV	2,8 kV	3,4 kV
Tensión residual a 5 kA	1 kV	1,8 kV	2,4 kV	3 kV
Desconectadores				
Desconectadores térmicos	interno			
Características mecánicas				
Dimensiones	Ver esquema			
Conexión a la red	por terminales de tornillos : 4-25 mm ² / por bus			
Indicador de desconexión	1 indicador mecánico por polo			
Teleseñalización	Opción DS50PVS - por contacto seco			
Montaje	carril symetrico 35 mm			
Temperatura de funcionamiento	-40/+85 °C			
Clase de protección	IP20			
Material plástica	Termoplástico UL94-V0			
Conformidad con las normas				
NF EN 61643-11	Francia	Parafoudre Basse Tension - Essais Classe II		
CEI 61643-1	Internacional	Low Voltage SPD - Test Class II		
EN 61643-11	Europa	Parafoudre Basse Tension - Essais Classe II		
UL1449 ed.2	EE-UU	Low Voltage TVSS		

6.2.5 Instalación y selección de la protección para corriente continua (DC). A menudo, a proyectistas e instaladores les surgen dudas acerca de cómo deben seleccionarse estas protecciones. Unos criterios básicos para la correcta aplicación de este tipo de protección serían los siguientes:

En cada grupo de módulos deben colocarse dos fusibles, uno en la polaridad positiva y otro en la negativa. Si partimos de la base que utilizamos fusibles específicos para este tipo de instalaciones, los dos parámetros básicos a tener en cuenta para una correcta selección serán la tensión y la corriente asignada.

Para determinar la tensión asignada mínima del fusible debemos considerar los siguientes datos:

- Tensión de circuito abierto de los módulos PV (VOC STC)
- Número de módulos conectados en serie (M).
- Factor de seguridad (al menos 10%).

Así, la tensión asignada en DC mínima de los fusibles será:

$$V_{DC \text{ Fusible}} \geq V_{OC} (STC) \cdot M \cdot 1,1$$

La tensión de circuito abierto de los módulos VOC (STC) es la tensión máxima que un módulo fotovoltaico puede dar cuando funciona en vacío (sin ninguna carga conectada) en unas condiciones de ensayo determinadas (STC = condición de prueba estándar) y es un dato indicado por el fabricante de los módulos fotovoltaicos. Para escoger la corriente asignada del fusible, los puntos a contemplar serán:

- Intensidad de cortocircuito de los módulos ISC (STC)
- Factor de corrección por variación de la corriente.
- Factor de corrección de la temperatura ambiente.

La intensidad de cortocircuito de los módulos ISC (STC) es la corriente máxima que un módulo fotovoltaico puede dar en unas condiciones de ensayo determinadas y es un dato indicado por el fabricante de los módulos fotovoltaicos.

Dadas las condiciones de funcionamiento de este tipo de instalaciones, debemos aplicar un factor de corrección por variación de la corriente (recomendado 0,85).

La temperatura ambiente en el interior de las cajas puede alcanzar fácilmente valores de 40°C ó 45°C (para climas tropicales hay que considerar incluso valores más elevados) y esto afecta al funcionamiento del cartucho fusible. Así si tomamos como referencia el valor de 45°C se debe aplicar un factor de corrección de aproximadamente 0,90.

Con las consideraciones anteriores, la corriente asignada del fusible deberá ser [18]

$$I_N \geq \frac{I_{SC} (STC)}{0,85 \cdot 0,90} \approx 1,3 \cdot I_{SC} (STC)$$

Para un óptimo funcionamiento de una instalación fotovoltaica se deben tener en cuenta todas las consideraciones anteriormente mencionadas.

El ejemplo que se tomara es similar al primer ejemplo, solo se analizara el circuito ramal de iluminación, que contiene 15 bombillos LED, lo único que cambiara será el tipo de instalación que se utilizara, ya que esta utilizara energía fotovoltaica y los bombillo LED's ya no necesitaran convertidores puesto que esta instalación trabaja con corriente continua, un tablero de protecciones para la parte de iluminación, pero en este caso solo será un circuito ramal de iluminación. La corriente del circuito ramal es de 1.25A En este caso las protecciones a utilizar son las siguientes:



Figura 69. Protección para sobretensiones interruptor DS210

Para este ejemplo se asume un panel solar de 200W para hallar el tipo de protección se utilizaron las formulas mencionadas anteriormente:

El voltaje de la protección es de de 12 a 130V (DC), se va a tomar 12V (DC), el voltaje Voc se toma de las características de la protección ese voltaje es denominado como (Uc) y es de 10V, entonces la ecuación:

$$V_{DC}^{Fusible} \geq V_{oc}(STC) \cdot M \cdot 1,1$$

Nos cumple puesto que $12 \geq 10 \cdot 1 \cdot 1.1 = 11$

La corriente de descarga nominal máxima de la protección es 2kA y la corriente I_{sc} es la corriente nominal entonces la ecuación:

$$I_N \geq \frac{I_{sc}(STC)}{0,85 \cdot 0,90} \approx 1,3 \cdot I_{sc}(STC)$$

Nos cumple que $2kA \geq 1.3 \cdot 1kA$

Las características de este interruptor se muestran anteriormente. La elección de esta protección se hizo a partir de las especificaciones técnicas del dispositivo de protección.

Existen diversas protecciones que van desde la protección de la acometida, los circuito ramales y protecciones para los dispositivos de uso final. Para el ejemplo solo se calculo la protección para el circuito ramal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se pudo concluir que es posible conseguir LED's en todo el espectro visible y más allá. Con una elevada vida útil, elevado brillo, alta eficiencia lumínica y estándares de calidad de acuerdo a exigentes normas de nivel mundial.

El bajo consumo de lámparas con tecnología LED, comparado con otras fuentes de luz incluso inferior a las lámparas de bajo consumo y tubos fluorescentes, lo posiciona dentro del grupo de productos ambientalmente amigables y ecológicos.

El precio de lámparas de iluminación de estado sólido y su disponibilidad en los mercados mundiales las hacen cada vez más versátiles y asequibles al público en general, con aplicaciones de uso cotidiano en el mundo del siglo XXI.

Al reemplazar la iluminación tradicional con iluminación de estado sólido, se estará mejorando y optimizando cualquier sistema de iluminación debido a sus diferentes características (vida útil, alta robustez mecánica, bajo consumo energía, etc.); y todo tipo de aplicaciones en las cuales la iluminación tradicional no se pueda implementar.

Ante perturbaciones de la red eléctrica este tipo de instalaciones fotovoltaicas no presentara ningún problema ya que esta no estará conectada a la red eléctrica, esta contara con una instalación independiente.

A la hora de comprar bombillos con tecnología LED se recomienda verificar que estos cumplan con los certificados de calidad y seguridad, ya que esta es una inversión que tiene un costo elevado, con esto garantizara que los productos ofrezcan el desempeño esperado.

BIBLIOGRAFIA

- [1]: Tecnología de los Diodos Led. <http://www.tecsoled.es/content.asp?contentid=28>
- [2]: Tecnología de las Bombillas Led. <http://www.tecsoled.es/content.asp?contentid=30>
- [3]: Nuevas fuentes de iluminación de estado sólido <http://www.solociencia.com/ingenieria/05070604.htm>
- [4]: <http://www.dbup.com.ar/info.html>
- [5]: http://www.sagitron.es/notas_prensa/taiwanoasis/toa0500.htm
- [6]: http://www.ledsinternational.com/espanol/productos/LEDs_ovales.htm [7]: <http://www.iluminet.com.mx/tecnologia/diodos-emisores-de-luz-de-alta-potencia-de-1w/>
- [8]: <http://www.philips.es/about/news/pressreleases/alumbrado/article-14900.page>
- [9]: <http://es.wikipedia.org/wiki/Osram>
- [10]: <http://www.ledsinternational.com/espanol/aplicaciones.htm>
- [11]: <http://www.cree.com>
- [12]: <http://www.neo-neon.com/profile.asp>
- [13]: <http://www.tecnylediluminacion.com.ar/docs/Beneficios%20de%20los%20Leds%20de%20estado%20solido%20ok.pdf>
- [14]: <http://www.greenpeace.org/raw/content/argentina/cambio-climatico/revolucion-energetica/eficiencia-energetica/leds.pdf>
- [15]: <http://es.wikipedia.org/wiki/Lumen>
- [16]: <http://www.todopic.com.ar/led.html>
- [17]: <http://www.ledtv.es/blog/led-tv/nuevas-opciones-de-iluminacion-pixeles-de-leds>
- [18]: <http://www.df-sa.es/es/blog/>
- [19]: http://www.dcmsistemas.com/comparativa_led.html
- [20]: <http://www.maxflux.net/operacion.php>
- [21]: <http://www.photonics.com/Content/ReadArticle.aspx?ArticleID=32293>
- [22]: <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/materiales-semiconductores.pdf>
- [23]: <http://www.monografias.com/trabajos11/semi/semi.shtml>
- [24]: <http://www.monografias.com/trabajos11/semi/semi.shtml>
- [25]: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Principios-Basicos-Materiales-Semiconductores.html>
- [26]: <http://tecartex.com/site/content/view/19/58/1/4/lang.es/>
- [27]: <http://iluminaciontipoled.blogspot.com/>
- [28]: www.utm.mx/~edith/170708.doc
- [29]: http://es.wikipedia.org/wiki/Colores_HTML
- [30]: <http://www.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/ir/discovery.html>
- [31]: <http://html.rincondelvago.com/diodo-laser.html>

[32]:<http://www.todoled.com/articulo-iluminacion-led-en-medicina-lampara-led-para-el-tratamiento-de-la-hiperbilirrubinemia-neonatal.html>
[33]:http://www.wh.com/es_global/newsroom/whnews/archive/24099/index.aspx
[34]:<http://www.ledtv.es/blog/led-tv/medio-ambiente-nuevos-descubrimientos-en-la-tecnologia-led-claves-para-la-conservacion-de-las-tortug>
[35]:<http://www.maxflux.net/operacion.php>
[36]:<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>
[37]:<http://es.wikipedia.org/wiki/Candela>
[38]:<http://definicion.de/electron/>
[39]:<http://es.wikipedia.org/wiki/Lux>
[40]:<http://www.balizamientocroacia.com.ar/Productos/Aereas/Baliza32.php>
[41]:<http://www.mesemar.com/ES/pdf/MBL160%20Linterna%20marina%20LED.pdf>
[42]:<http://www.dialight-obstruction-lights.com/index.php?lan=es>
[43]:<http://www.gruposister.com/led.html>
[44]:www.industry.siemens.com/broschueren/pdf_open.html?id=1607
[45]:<http://www.prosolda.com/leds/leds-semaforos.htm>
[46]:<http://www.solociencia.com/ingenieria/07060505.htm>
[47]:<http://www.todopic.com.ar/led.html>
[48]:<http://energiasolarfotovoltica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga-indicaciones.html>
[50]:http://energiasolarfotovoltica.blogspot.com/2006/01/la-bateria_29.html
[51]:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia20/HTML/articulo02.htm>
[52]:http://www.citel2cp.com/pdf/DS210DC__E_F02117B.pdf
[53]:http://www.citel2cp.com/pdf/DS50PV__E_F07095C.pdf