



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**

**Trabajo de Monografía para optar al Título de  
Ingeniero en Eléctrica**

**Tema:**

**“GESTIÓN DE UN PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
ILUMINACIÓN OUTDOOR TIPO LED EN LA PLANTA DE CONCENTRADO ALMESA  
EN CHINANDEGA”**

**Autor: Br. Freddy Antonio Carrero Caballero Carnet: 2013-65556**

**Tutor: Msc. Ing. Cedrick Dalla-Torre**

**Managua, Nicaragua**

**Agosto 2021**

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>4. LA NATURALEZA DE LA LUZ</b>	<b>5</b>
<b>5. RADIOMETRÍA Y FOTOMETRÍA</b>	<b>18</b>
<b>6. EL LED</b>	<b>28</b>
<b>7. PARÁMETROS MÁS INFLUYENTE EN EL LED</b>	<b>38</b>
<b>8. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>50</b>
<b>9. ESTUDIO ECONÓMICO</b>	<b>57</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>59</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>60</b>

## **Agradecimiento**

Doy mi agradecimiento primeramente a Dios todopoderoso ya que el nos da las fuerzas necesarias para seguir luchando en esta vida y no rendirnos en esta vida ante las adversidades.

A mi familia que ha confiado en mí y me ha apoyado siempre en cada momento de mi vida a pesar de mis dificultades en cada momento ellos me han sabido ayudar y darme el ánimo para seguir.

También a mis maestros que me acompañaron en esta carrera tan hermosa y que me brindaron todo su conocimiento para que un día los aprovechara para beneficio de mi país.

A mi Tutor Ing. Cedrick Dallatorre Parrales por su apoyo y su respaldo en la realización de esta investigación hasta la culminación de este trabajo monográfico.

## **Dedicatoria**

Este trabajo monográfico se lo dedico a Dios por darnos las fuerzas y la sabiduría para emprender este camino en el aprendizaje y el saber en esta carrera que escogí para defendernos en la vida.

A mi familia por su gran apoyo en cada momento de mi vida y más en esta carrera que estudie con tanto empeño y dedicación para llegar a terminarla gracias a Dios y mi familia.

A los profesores que nos dieron su conocimiento con tanta dedicación y esmero en estos años de estudios.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La presente investigación propone el estudio sobre las características y especificaciones funcionales para la implementación de un Sistema de Iluminación Outdoor basado en Tecnología LED. El estudio se realizará en la planta de concentrado de ALMESA en la ciudad de Chinandega, Nicaragua.

La primera fase de este proyecto consiste en analizar el sistema actual de iluminación que esté implementado en la planta de concentrado de ALEMSA y hacer una investigación referente a los sistemas de iluminación outdoor basado en tecnología LED, para conocer las características de consumo y de iluminación que tiene esta tecnología para su posible implementación, también conocer las ventajas sobre los otros tipos de sistemas de iluminación. La segunda fase corresponde al análisis económico que permita conocer la inversión que se requiere para la posible implementación de esta tecnología, y los procedimientos para el análisis de resultados obtenidos desde el funcionamiento y su evaluación para su aplicación. Lo antes expuesto, permite optimizar algunos procesos relacionados con el estudio económico de esta tecnología debido a que facilita el obtener, a priori, conclusiones importantes y con ello realimentación para la determinación de la factibilidad económica y otras actividades en el desarrollo de la ejecución de un proyecto de esta naturaleza.

Las actividades de planeación, diseño y la posible implementación del sistema de iluminación outdoor basado en tecnología LED, implica el uso de una serie de herramientas computacionales que han sido creadas con el objetivo de predecir el comportamiento de ahorro para este sistema, y así tomar decisiones basadas en los resultados obtenidos de dicha aplicación. Uno de los aspectos más complejos relacionados con los sistemas de iluminación outdoor basado en tecnología LED, es la manera como se modela el medio de propagación de la iluminación, el costo y el ambiente en el cual se encuentra inmerso un sistema particular.

Actualmente existe gran variedad de modelos que han sido desarrollados para dar soluciones particulares a los problemas que surgen en cada caso y ambiente de aplicación específico; y aunque en general las soluciones planteadas han ofrecido hasta el momento buenos resultados, existe una notable dificultad relacionada con la elección del modelo óptimo para la situación en estudio, lo que le resta considerable flexibilidad a los procesos mencionados anteriormente.

Debido a la importancia misma de las tecnologías involucradas, es necesario desarrollar herramientas que mejoren significativamente los procesos de análisis, diseño e implementación de sistemas de iluminación outdoor basado en tecnología LED, a la vez que permitan optimizar los procesos de aprendizaje y las actividades de entrenamiento de estudiantes, personal técnico y científico en las empresas, universidades y centros de investigación.

Por ello, nuestro esfuerzo se concentra en la definición del estado del arte en modelamiento de sistemas de iluminación, y en la clasificación de los modelos más representativos. Partiendo de esta clasificación general, se ha dirigido la atención a la particularización de los modelos aplicables a las tecnologías LED. Finalmente se concluirá y se presentarán propuestas para dar continuidad al trabajo considerando otras alternativas y tendencias.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Existes la necesidad en la carrera de eléctrica disponer de documentación actualizada, pertinente y de buen nivel académico respecto a la elección y requerimientos para la utilización de modelos para sistemas de iluminación outdoor basado en tecnología LED.

Estas técnicas son indispensables conocerlas y poder desarrollarlas, por cuanto contribuyen en modo significativo a garantizar de manera óptima un uso eficiente del ahorro de la energía eléctrica que brinda servicio en una determinada área de cobertura, evitando perdidas por desvanecimiento de la luz o los efectos nocivos de las múltiples trayectorias, mejorar la calidad de iluminación desde el punto de vista de potencia y de la cantidad de puntos de iluminación requeridos lo que, sin lugar a dudas, impactara sensiblemente en el desempeño del sistema en materia de iluminación y ahorro de energía eléctrica.

Por ello, el manual que se derivará como culminación de este trabajo de monografía, será una excelente referencia en esta materia para todos los interesados en el tema y muy especialmente los estudiantes de los años terminales de la carrera de eléctrica de nuestra universidad, esto por tratarse de una temática muy poco tratada en aulas de clase y de mucha necesidad para los interesados en incursionar dentro del ámbito de la ingeniería de diseño de sistemas de iluminación basados en tecnología LED.

### **III. OBJETIVOS**

#### **Objetivo General:**

**Gestionar un proyecto para la implementación de un sistema de iluminación outdoor basado en tecnología LED en la planta de concentrado ALMESA en la ciudad de Chinandega.**

#### **Objetivos Específicos:**

- Realizar una investigación documental y estado del arte respecto a la teoría de tecnología LED.
- Elaborar un estudio técnico que determine el tipo de lámpara LED y su distribución en la planta de concentrado ALMESA.
- Presentar un estudio económico para conocer los costos que se requiere para la implementación del sistema de iluminación LED en la planta de concentrado ALMESA.
- Determinar la viabilidad económica del proyecto mediante un estudio financiero que permita conocer el tiempo de la recuperación de la inversión,

#### **IV. La Naturaleza de la luz. [1]**

Tenemos la luz tan a la mano, tan cercana, que podríamos decir que la conocemos como a nuestra madre o a nuestro hermano. Pero en realidad, si analizamos con cuidado, veremos que empezamos a entender qué es la luz hace cosa de doscientos años, lo cual es relativamente poco si lo comparamos con la historia de la humanidad. Y si no sabíamos qué es la luz, tampoco podíamos explicar qué son y por qué se dan los colores. ¿Qué es la luz? ¿De dónde surgen los colores? Y en la luz blanca, ¿de qué manera se nos ocultan los matices que la componen?

Mucho antes de interesarse en la naturaleza de la luz, a nuestros antepasados les preocupó aprender a producir luz, por razones que no es difícil comprender. En la Tierra, hace cuatro mil millones de años, sólo brillaban el Sol, la Luna y las estrellas. Desde entonces y hasta ahora el Sol es la fuente más importante de energía en nuestro planeta. Toda forma de vida en la Tierra depende de su presencia, directa o indirectamente. El Sol nos calienta e ilumina, hace que las plantas produzcan el oxígeno que respiramos y fabriquen nuestros alimentos y el de los animales.

Para vencer el frío y la oscuridad nuestros antepasados crearon fuentes de luz y calor. Durante cientos de miles de años el hombre de las cavernas sólo contó con fogatas y más tarde con antorchas para calentarse, iluminarse y alejar los peligros de la noche.

Hace apenas 13 000 años aparecieron las más primitivas lámparas de aceite de llama abierta, en conchas y recipientes similares. El progreso resultó lentísimo: apenas 500 años antes de la era común se inventaron en Roma las lámparas de aceite con recipiente de reserva –de barro, piedra o metal, simples o elegantes—. Algunas de ellas continúan en uso en lugares apartados, lo que significa más de 13 000 años de servicio. Además del cuchillo o la flecha, ningún otro dispositivo iguala este éxito. Poco tiempo después apareció la vela de cera de abeja, la cual iluminó

los grandes salones de baile de los palacios reales. Van ya 2 500 años de fabricar velas de cera. El día de hoy se emplean en la decoración y ambientación, o para espantar olores o insectos. Su uso como fuentes de luz es ya muy menor y circunstancial.

Transcurrieron siglos antes de que ocurriese otro acontecimiento importante en este terreno, pero ya no milenios. Fue así como en el siglo xvi Leonardo da Vinci dotó a la lámpara de aceite de una chimenea para aumentar su brillo y estabilidad. Hacia 1800 Humphrey Davy inventó en Inglaterra la lámpara de arco, en la que arden dos barras de carbón entre las que salta un arco eléctrico continuo. Fue la primera lámpara eléctrica, sólo que alimentada con las ineficientes baterías de la época, que se agotaban al cabo de unos minutos.

Poco después, en 1814, apareció la lámpara de gas, que continuó iluminando las calles por casi un siglo, y en 1853 comenzaron a emplearse también lámparas de keroseno. Para entonces los faros de los puertos ya habían adoptado la lente de Fresnel (una lente convergente plana y ligera), lo que fue un paso importante para la seguridad de los barcos: un faro dotado con una lente de Fresnel señalaba con una luz más intensa los lugares de riesgo para la navegación. En todo ese tiempo las casas, los castillos y los palacios continuaron calentándose con leña producida con energía proveniente del sol.

Fue en 1879 cuando Thomas Edison (en Estados Unidos) y Joseph Swan (en Inglaterra) llegaron independientemente a un invento que transformó nuestra vida: la lámpara eléctrica incandescente, la que nosotros conocemos como foco, y que de inmediato comenzó a alumbrar casas y calles. A partir de ese momento la técnica de la iluminación artificial avanza a otro ritmo. Casi cada diez años se da un paso importante en la conquista de la luz para alumbrarnos. A finales del siglo xix llegó la

luz de neón y de otros gases (y otros colores), producida al ionizarse el gas con la ayuda de una corriente eléctrica.

Poco después se eleva la eficiencia de la lámpara incandescente por un factor de tres al llenarla con un gas inerte. En la década siguiente, la lámpara de sodio de baja presión, en la que la fuente de luz es vapor de sodio, se convirtió en indispensable para la seguridad en las carreteras. Diez años después se generalizó la lámpara fluorescente de mercurio por su alta eficiencia.

A mediados del siglo llegó la fibra óptica, eficaz transmisora y guía de la luz. La fibra óptica es para la luz lo que los cables de cobre han sido para la electricidad. Para 1960, el láser se convirtió en una realidad y hoy invade todos los laboratorios ópticos y nuestros hogares y bolsillos con los CD y DVD, los lectores de códigos de barras, etcétera. Las ciudades mejoraron su iluminación poco después por medio de la lámpara de sodio de alta presión, que resulta mucho más eficiente y económica que sus antecesoras.

No tarda sino una década en aparecer la lámpara fluorescente pequeña, que pronto sustituye a las lámparas incandescentes usuales por resultar tres veces más eficiente, pues no derrocha energía en generar calor. Ésta, a su vez, fue rebasada a finales del siglo XX por la lámpara led (siglas en inglés de “diodo fotoemisor”), que resulta diez veces más económica que la incandescente (además de ser fría) y tres veces más que la fluorescente.

Con el paso de los siglos, mejoraron las formas de sustituir parcialmente al Sol. Al mismo tiempo, lo fuimos conociendo mejor a él y a la luz que nos regala. Por un lado, la astrofísica desentrañó el misterio de la fuente de energía que le da vida, descubriendo que se trata de una forma de energía nuclear que se libera al fusionarse núcleos de hidrógeno para producir núcleos de helio y convertirse, una parte ínfima de la masa nuclear, en radiación. El Sol nos alumbró comiéndose a sí

mismo, como lo hace cualquier otra estrella viva. Hoy sabemos que nuestra estrella va a la mitad de su vida, así que le quedan aún cosa de seis mil millones de años para seguir iluminándonos.

Simultáneamente fuimos entendiendo el alma de la luz. Durante miles de siglos (la antigüedad del género Homo del que somos parte se estima en 2.5 millones de años) no supimos (quizá ni nos interesó saber) de que está hecha la luz.

Sabemos desde hace poco más de 200 años la fórmula  $H_2O$  del agua; así como la composición de esa mezcla principalmente de oxígeno y nitrógeno que es el aire. Y la luz, ¿de qué está hecha la luz? La respuesta que recibió esta pregunta en la antigüedad fue inocente: de luz. Se supuso, cuando finalmente surgió la pregunta, que la luz estaba compuesta de ínfimas particulitas de luz. Se requirió que transcurrieran siglos para que, cuando el siglo XVIII daba paso al XIX, el médico y científico inglés Thomas Young demostrara con un experimento definitivo que la luz no es una sustancia de naturaleza atómica como todo lo que vemos con ayuda de la luz —y aun lo que no vemos, como el aire—, sino una onda.

El experimento consistió en demostrar que al superponer apropiadamente dos haces de luz se obtienen zonas iluminadas y oscuras alternadas (es decir, regiones con luz y regiones sin luz). Esto es propio de las ondas (es el fenómeno de interferencia de ondas), imposible de obtener con partículas: nunca sucedería con canicas, por ejemplo, porque encimando canicas es imposible obtener regiones sin canicas. La idea de la posibilidad ondulatoria giraba ya en la mente de algunos investigadores, pero Young la transformó en un hecho comprobado mediante su experimento.

Esta innovadora propuesta entraba en contraposición con la idea que se había heredado de Isaac Newton, quien con sus avanzados estudios sobre la luz había reforzado la conclusión de que está constituida por pequeñísimos corpúsculos luminosos que la materia atrae y puede desviar. La propuesta de Young, apoyada

como estaba en un experimento definitivo, en poco tiempo se transformó en la teoría dominante, liberándose, no sin sus trabas, del enorme peso de la figura de Newton.

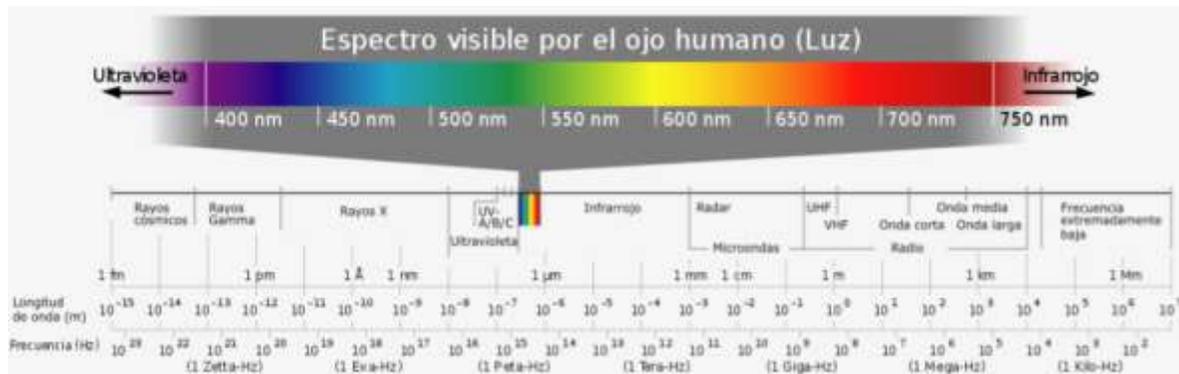
Surgió entonces la pregunta natural: ¿ondas de qué?, ¿qué es lo que ondula si el espacio entre la Tierra y el sol está vacío? Poco a poco se fue conformando una respuesta, al retomar una vieja idea presocrática que consideraba que el espacio no está vacío, sino lleno de un elemento muy fino, el elemento del que están hechos los cielos.

Se le llamaba éter y se le tomaba como la quinta esencia, pues había que sumarlo a los cuatro elementos que se creía que constituyen el mundo material (aire, agua, tierra y fuego). Los físicos del siglo XIX —los filósofos naturales— adoptaron este mismo nombre para el supuesto elemento extraordinariamente ligero y elástico que proponían llena el espacio y sirve de soporte a las vibraciones luminosas.

Durante ese mismo siglo XIX se hizo la luz sobre la naturaleza de la luz y sus vibraciones. El gran físico escocés James Clerk Maxwell, estudiando los fenómenos electromagnéticos, llegó a una conclusión inesperada, lo que representó una de las más brillantes síntesis de la física: la luz es de naturaleza electromagnética, es una onda constituida por vibraciones eléctricas y magnéticas engarzadas entre sí de una manera muy específica.

Las ondas electromagnéticas pueden tener cualquier frecuencia de vibración, y dependiendo del valor de ésta, constituyen ondas de radio, o microondas, o infrarrojas, o visibles, o ultravioletas, o rayos X, o incluso rayos gamma (en orden creciente de frecuencia). El reducido intervalo de frecuencias que corresponde al espectro visible queda perdido entre el resto de bandas electromagnéticas, al centro de la lista, como se muestra en la figura 1; si no fuera por la enorme —inmensísima— importancia que tiene para nosotros, permanecería perdido, ya que sólo ocupa una región pequeñísima del espectro, apenas entre 400 y 750 nanómetros (1 nanómetro =  $10^{-9}$  metros, o sea la millonésima parte de un

milímetro). Esto representa una octava. En cambio, el oído humano registra 8-9 octavas sonoras.



**Figura 1. Espectro electromagnético y espectro visible. Fuente: wikipedia.org**

El éter se entendió como el medio en que se propagan las ondas electromagnéticas en general, no sólo la luz. El espacio volvió a llenarse de éter, ahora aún más diluido y más elástico que en la antigüedad para ser capaz de soportar ondas transversales (vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación) como son las electromagnéticas, sin ser arrastrado por el movimiento de la Tierra.

A partir de los trabajos de Maxwell y de otro gran científico británico, Michael Faraday, la teoría electromagnética y sus aplicaciones se desarrollaron con notable ímpetu. Este proceso dio lugar al surgimiento de la industria eléctrica y de comunicaciones, lo que vino a transformar de manera significativa y favorable nuestra forma de vida.

En particular, al lado de la electricidad doméstica, urbana e industrial, apareció el radio, que representó en su momento el uso más importante y útil de las ondas electromagnéticas. El éter, que si existiera se nos deslizaría de las manos tan ligeramente como la luz, seguía siendo considerado el soporte de la radiación electromagnética, se tratara ahora de luz visible o invisible (radiofrecuencia u otra frecuencia).

Así entramos al siglo xx, en el que se construyen las dos grandes teorías físicas que lo caracterizan: la teoría de la relatividad y la teoría cuántica. Ambas teorías tuvieron mucho que decir sobre la luz. La naturaleza electromagnética de ésta no se alteró, pero adquirió un rostro diferente del que nos pintara la física clásica heredada del siglo XIX.

Por un lado, la teoría de la relatividad niega el éter, simplemente por no ser necesario, pues lo que vibra son precisamente las componentes eléctrica y magnética de la onda. Las ondas electromagnéticas son una forma de materia, aunque no se trata de materia atómica, como explicamos a continuación.

El punto está en que las ondas electromagnéticas portan energía (energía electromagnética) y esta energía  $E$  equivale a una masa  $m$  dada por la más famosa fórmula de la física,  $E=mc^2$  ( $c$  representa la velocidad de la luz en el vacío). Algo análogo sucede con la masa de la materia común (la materia atómica), pero la masa electromagnética no está constituida por átomos, sino por energía pura, radiante. Así, la luz propagándose representa energía que viaja por el espacio libre. No requiere éter para ello.

Lo que acabamos de decir es parte de una de las más ricas ideas que produjo la física del siglo XIX, debida precisamente a Faraday y Maxwell: los fenómenos eléctricos o magnéticos que se dan en el espacio representan un fenómeno físico y energético real. Esto significa que hay algo físico en ese espacio.

A ese algo eléctrico o magnético (o gravitacional, podemos agregar) distribuido en el espacio se le llama campo eléctrico o magnético o electromagnético (o gravitacional), según sea el caso. Estos campos son algo real, tan real como la materia atómica, pero de naturaleza enteramente diferente.

Por ejemplo, el campo electromagnético es tan real que podemos ver o sentir una porción de él, cuando se trata de luz visible que alcanza nuestros ojos, o de

radiación infrarroja que calienta (o quema) nuestra piel. Concluimos que el tejido del mundo está compuesto de materia (atómica) y de campos; descubrir esto y elaborarlo fue otra de las grandes contribuciones a nuestra comprensión de la naturaleza del mundo, y de la luz en particular.

Debemos agregar a esto que en la actualidad está en discusión la naturaleza de inmensas regiones cósmicas (se estima que el 96% del universo) que se consideran ocupadas por materia oscura y energía oscura. En este caso, con el calificativo oscuro se reconoce nuestra total ignorancia de su naturaleza: si se trata de algo conocido o novedoso es asunto del futuro.

La luz, pues, se propaga en el vacío. Resuelto esto, pasamos a la teoría cuántica, la que tuvo tantas cosas y tan radicales que decir sobre la luz, que conviene antes de entrar al tema aclarar a qué se refiere la mecánica cuántica.

En breve (y de manera un tanto excluyente) podemos decir que la mecánica cuántica es la teoría física que debe aplicarse a los átomos y moléculas. Resulta ser una teoría muy rica, pero a la vez muy diferente de la física clásica. Por ejemplo, difiere de manera esencial de la mecánica (clásica) que conocemos por nuestra experiencia cotidiana.

Una propiedad muy significativa de los sistemas cuánticos (electrones, protones, átomos, moléculas, etcétera) es que, al lado de sus propiedades como corpúsculos, poseen propiedades ondulatorias. Sucede en este caso lo opuesto a lo que sucedió a lo largo de los siglos con la luz: a ella se le consideró primero como corpuscular, y terminó siendo ondulatoria.

A los átomos los consideramos (¡desde los griegos!) como corpúsculos, pero ahora debemos agregar que pueden comportarse (en ciertas condiciones) como una onda. La coexistencia de onda y corpúsculo es una peculiaridad universal de la mecánica cuántica. Desde esta perspectiva se nos podría ocurrir que el que ambas

nociones hayan sido significativas para nuestra comprensión de la naturaleza de la luz no debe ser tan extraordinario, si acaso la teoría cuántica tiene algo que ver con la luz. Y sí, en efecto, así resultó: tiene mucho que ver y decir al respecto.

Es notable que el primer descubrimiento (en 1900) de un comportamiento cuántico se dio precisamente con la luz: la luz se reveló como un fenómeno con propiedades cuánticas. El calificativo cuántico se refiere aquí (y más en general) a que el intercambio de energía entre un campo electromagnético encerrado en una cavidad, y la cavidad que lo contiene (un horno, por ejemplo), se da por cantidades discretas. Esto es precisamente la idea que sugiere el término latino quantum, cantidad. La analogía más simple que viene a la mente es la del comercio contemporáneo: los productos molidos o granulados nos los venden en el supermercado en paquetes de uno, dos, cinco... kilos; y si se trata de líquidos, de uno, dos, cinco... litros; no podemos comprar siete gramos o 2.3 mililitros.

A una conclusión similar llegó el físico alemán Max Planck después de insistentes esfuerzos por evitarla, pues la idea de “paquetes” (quanta) de luz de energía (fijada por su frecuencia) parecía descabellada. Pero los resultados experimentales lo obligaron a aceptarla, y pronto esta idea se convirtió en base para el estudio, primero de la luz, poco después de las propiedades cuánticas de la materia y, más tarde, de los campos en general. A estos paquetes de luz intercambiados se les conoce con el nombre de fotones.

Algunos años después (de 1905 a 1909) el joven Albert Einstein dio una interpretación más radical al fenómeno cuántico detectado en la luz (o sea en la radiación electromagnética, sea o no visible). Para Einstein, el comportamiento cuántico de la radiación se debe a que el propio campo electromagnético está organizado en cuantos de energía, o sea en paquetes independientes, fotones, cada uno con energía bien definida. Decir esto equivale a dotar al campo electromagnético (hasta entonces el paradigma de la continuidad) de una estructura corpuscular, discreta.

Por su radicalidad, esta idea, aun proviniendo de Einstein (joven aún), tardó varios años en ser aceptada. Hoy en día, no sólo el campo electromagnético se concibe como compuesto por quanta, sino que a cualquier otro campo se le atribuyen también propiedades discretas. La visión heurística que sugiere esta descripción es simple: mientras se trata de un campo –digamos electromagnético para fijar ideas— de muy baja densidad, tal que dominan los procesos de interacción entre un fotón y un átomo, se requiere describir a este campo en términos discretos, es decir, cuánticos.

Cuando, por lo contrario, se trata de un campo de alta densidad, donde interviene un enorme número de fotones, el fenómeno se nos manifiesta como un continuo, y debemos describirlo en los términos clásicos iniciales. La analogía con agua es inmediata: a escala molecular, el agua se manifiesta como una estructura discreta; a escala macroscópica (un vaso de agua, por ejemplo) se nos presenta como un continuo

Parece conveniente insistir en la idea central: el lenguaje de los fotones es hoy universal; la luz nos llega a los ojos en torrentes que percibimos como clásicos. Pero en cantidades minúsculas es posible detectar los procesos discretos debidos a fotones individuales. La luz que vemos es concebida hoy, en conclusión, como formada por una plenitud de fotones; la cantidad mínima de luz que interacciona con un átomo aislado está formada, sin embargo, por un simple fotón, un paquetito de energía electromagnética que manifiesta su individualidad.

Terminemos regresando al principio, con la luz como un continuo. Quedó en el aire una pregunta: ¿y los colores?, ¿de dónde proceden? Fue siempre claro que el asunto de los colores atañe a la luz. Un recipiente de vidrio transparente azul pinta de azul su sombra, o de rojo si es rojo. Es claro: el color es luz. La primera clave firme de esto se debe a Newton, quien en su juventud estudió la luz, incluso escribió el más avanzado tratado sobre la luz hasta su época. Descubrió, entre tantas otras

propiedades, que la luz blanca se descompone en un arcoíris al pasar por un prisma transparente. Y que, si al arcoíris así obtenido se le hace cruzar un segundo prisma transparente alineado con el primero, sale luz blanca nuevamente. Newton mostró con esto que la luz blanca está compuesta por luces de colores y la recombinación de ellos produce luz blanca.

Surge entonces la pregunta ¿cómo percibimos los colores? Los colores, como tales, no existen en la naturaleza; son una percepción construida por el cerebro a partir de la información que recibe de los ojos.

Algo similar ocurre con los sonidos: lo que existe en la naturaleza son vibraciones (del aire o de los cuerpos); cuando tales vibraciones llegan a nuestros oídos producen impulsos nerviosos que el cerebro transforma, interpreta, como sonidos: a diferente frecuencia de vibración corresponde diferente tono.

En el caso de la luz, a diferente frecuencia de la luz que incide en nuestros ojos, diferente color nos ofrece el cerebro. Así, tanto los sonidos como los colores son obra de nuestro cerebro. Nuestro cerebro enriquece a la naturaleza.

Los millones de conos (células que reaccionan a la luz) que posee una región de la retina humana están especializados en distinguir con mayor eficiencia los colores rojo, verde o azul, que corresponden, respectivamente a las frecuencias menores, intermedias y mayores (o mayores, intermedias y menores longitudes de onda).

A partir de estos tres colores el cerebro construye todos los colores que percibimos. Fue el mismo Thomas Young, descubridor del infrarrojo que para ese entonces se había convertido en fisiólogo, quien propuso esta teoría de los tres colores. Antes de él la situación se percibía como sumamente compleja, pues se suponía que el cerebro respondía por separado a cada uno de los colores que percibimos, idea que da lugar a un galimatías.

El color que vemos de un objeto es el de la luz que refleja, no es una propiedad intrínseca del objeto. Los objetos no tienen color: se ven de color. Por esta razón, iluminando un objeto con luz de diversos colores, lo vemos de diverso color.

La televisión aprovecha al máximo la suficiencia de tres colores para generar su variado colorido. Basta observar con una lente de aumento la pantalla del televisor para distinguir que cada uno de sus puntos luminosos está integrado por tres pequeñas fuentes de color.

Normalmente se utiliza la combinación rojo, verde y azul, pero una impresora puede seguir otra regla. La prensa cotidiana y la imprenta a colores (y las impresoras caseras) aprovechan este fenómeno para generar la diversidad de colores, sólo que en la impresión la superposición de tintas es sustractiva (impide el reflejo): en este caso las tintas rojo, verde y azul mezcladas producen el color negro, es decir, el no color, que corresponde a la falta total de luz. Todo esto y mucho más se puede ver de manera atractiva en el Museo de la Luz de la UNAM.

¿Podemos decir hoy que ya conocemos a cabalidad la luz? Ni tratándose de la luz ni de ningún otro asunto podemos decir que ya sabemos todo. Mucho hemos aprendido con el desarrollo de la ciencia y del conocimiento en general, lo que nos ha permitido aprender a hacer multitud de cosas, aparatos e instrumentos de toda índole.

El Homo sapiens ha dejado muy atrás a sus lejanos antepasados con la ayuda de sus manos y su cerebro. Pero seguramente ignoramos mucho más de lo que sabemos. Esto incluye a la luz, naturalmente.

Por ejemplo, uno de los más importantes problemas que se plantea la física actual es el de estructurar una nueva y avanzada teoría que combine exitosamente a las teorías de la relatividad y la cuántica. Pese al enorme esfuerzo invertido en este asunto, se trata de una tarea aún pendiente. Seguramente el esfuerzo que se realiza

en torno al problema algún día dará el fruto buscado. Algo novedoso tendrá que decir la teoría resultante sobre muchas cosas, en particular respecto a la luz. Hoy no sabemos aún qué y cómo lo dirá. Pero de una cosa sí podemos estar seguros: tenemos todavía mucho que aprender; y esto vale tanto en el terreno de lo social como en el de lo natural. [1]

## V. Radiometría y Fotometría. [2]

La radiometría describe la transferencia de energía (o energía por unidad de tiempo, potencia) desde una fuente a un detector, admitiendo la validez del modelo geométrico de trayectorias y la conservación de la energía a lo largo de un tubo de rayos. En consecuencia, los posibles efectos de interferencia y/o difracción no se consideran significativos.

Cuando esta transferencia de energía del emisor al detector se normaliza a la respuesta espectral del ojo de un observador humano, se denomina fotometría. Las magnitudes radiométricas y fotométricas suelen diferenciarse utilizando los subíndices “e” (energía) para las primeras y “v” (visual) para las segundas. Las magnitudes relacionadas con los fotones se caracterizan por el subíndice “q”.

Históricamente, los dispositivos ópticos y, en particular las cámaras, se han diseñado para operar en la región visible del espectro. Para estos sistemas resulta razonable especificar su respuesta en términos de las unidades fotométricas pero cuando se utilizan dispositivos sensores con una respuesta espectral más amplia (por ejemplo, fotodetectores de silicio) el uso de las magnitudes fotométricas puede resultar confuso e incluso inducir a errores.

Por otra parte, la relación entre la “luminosidad” de una escena visualizada y la “luminosidad” de la correspondiente imagen registrada es, obviamente, uno de los parámetros fundamentales de los sistemas ópticos de formación y/o registro de imagen. Esta relación incluye dos características diferentes pero interrelacionadas:

- la amplitud de la señal de salida, normalmente, caracterizada por el voltaje correspondiente a cada valor de la intensidad luminosa incidente en el sensor y

- la relación entre las curvas espectrales de respuesta del sensor y del ojo de un observador humano

Puesto que las escenas en el espectro visible y en el infrarrojo cercano están habitualmente iluminadas por fuente naturales (sol, luna, estrellas) o artificiales que afectan tanto al objeto de interés en la imagen como al fondo de la misma, los elementos de interés pueden ser detectados únicamente cuando poseen diferencias de reflectancia con su entorno.

La Comisión Internacional de Iluminación (Commission Internationale de l'Eclairage, CIE, International Commission on Illumination) define las siguientes franjas espectrales en el rango óptico, vea la tabla 1:

**Tabla 1. Franjas Espectrales.**

<b>Nombre</b>	<b>Rango de Longitudes de Onda</b>
<b>UV-C</b>	100 nm – 280 nm
<b>UV-B</b>	280 nm – 315 nm
<b>UV-A</b>	315 nm – 400 nm
<b>VIS (visible)</b>	(360-400) nm hasta (760-800) nm
<b>IR-A (infrarrojo cercano, <i>near IR, NIR</i>)</b>	780 nm – 1400 nm
<b>IR-B</b>	1.4 $\mu\text{m}$ – 3.0 $\mu\text{m}$
<b>IR-C (infrarrojo lejano, <i>far IR</i>)</b>	3.0 $\mu\text{m}$ – 1.0 mm

## **Radiancia Espectral. [2]**

La magnitud básica a partir de la cual se derivan todas las otras magnitudes radiométricas es la radiancia espectral (spectral radiance, ó sterance,  $L_e$ ), en la que “se incluyen” los conceptos básicos de “área” y “ángulo sólido” que son necesarios para calcular el flujo radiante que incide en un sistema.

La radiancia espectral  $L_e$  es así la cantidad de flujo radiante ( $\Phi$ , energía por unidad de tiempo, vatios, W) por unidad de longitud de onda (micras,  $\mu\text{m}$ ) radiada (emitida) en un cono por unidad de ángulo sólido (estereoradián, steradians, sr) por una fuente cuya área ( $A_s$ ) se mide en metros.

$$L_e = \frac{\partial^2 \Phi(\lambda)}{\partial A_s \partial \Omega} \quad \frac{W}{m^2 \mu m \text{ sr}}$$

De manera análoga, se define la radiancia espectral fotónica,  $L_q$ , como la radiancia espectral expresada en [fotones/(s-m<sup>2</sup>- $\mu\text{m}$ -sr)]. Las magnitudes  $L_e$  y  $L_q$  son invariantes en cualquier sistema óptico que no tenga absorción o reflexiones, permaneciendo constantes en la propagación de la energía por el sistema.

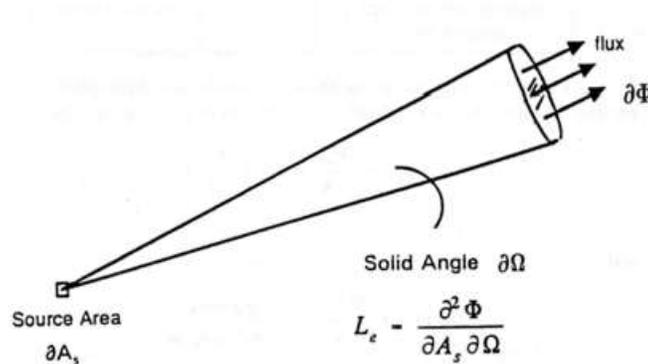


Figura 2. Radiancia Espectral. [2]

En la tabla 2. Se muestra las magnitudes radiométricas estándar son los siguientes:

Tabla 2. Magnitudes radiométricas estándar.

Magnitud	Símbolo	Unidad	Magnitud correspondiente en Fotometría
Energía Radiante	$Q_e$	Julio (J)	

<b><u>Flujo Radiante*</u> ó potencia radiante</b>	$\Phi_e$	Watio (W)	<b><u>Flujo luminoso</u></b>
<b><u>Intensidad Radiante*</u> Espectral</b>	$I_e$	W/(m <sup>2</sup> μm sr)	<b><u>Intensidad luminosa</u></b>
<b>Exitancia Radiante Espectral ó Emitancia Radiante</b> (desde una fuente)	$M_e$	W/(m <sup>2</sup> μm)	
<b><u>Incidencia Radiante Espectral</u> ó <u>Irradiancia*</u></b> (sobre un detector)	$E_e$	W/(m <sup>2</sup> μm)	<b><u>Iluminancia</u></b>
<b>Radiancia Espectral ó <u>Radiancia*</u> ó Esterancia Radiante Espectral</b>	$L_e$	W/(m <sup>2</sup> μm sr)	<b><u>Luminancia</u></b>

Cuando se considera la variación de estas magnitudes en un cierto intervalo de longitudes de onda,  $\Delta\lambda$ , y se toma el límite de  $\Delta\lambda \rightarrow 0$ , se obtiene la magnitud “espectral” correspondiente (equivalente a considerar la magnitud correspondiente en un haz monocromático de radiación), mientras que cuando estas magnitudes (\*) se integran en el rango óptico de longitudes de onda, pierden el carácter de magnitud “espectral”.

### **Definiciones básicas en radiometría. [2]**

Energía radiante, Q: es la cantidad de energía que / incide sobre / se propaga a través / es emitida desde / una superficie de área dada en un período de tiempo dado. En principio, se incluyen todas las longitudes de onda contenidas en la radiación. Si es preciso, debe indicarse explícitamente el rango de  $\Delta\lambda$  considerado. Se mide en Julios ([J] = kg·m<sup>2</sup>/s). La energía radiante es interesante en las aplicaciones que usan pulsos de energía electromagnética en las que no sólo es necesario conocer el flujo instantáneo de radiación sino la cantidad total de energía aportada en un pulso de duración temporal especificada, como en las aplicaciones con láseres pulsados.

Energía radiante espectral,  $Q_\lambda$ : es la energía radiante por intervalo unitario de longitud de onda. Se mide en J/nm o J/ $\mu\text{m}$ .

$$Q_\lambda = \frac{dQ}{d\lambda}$$

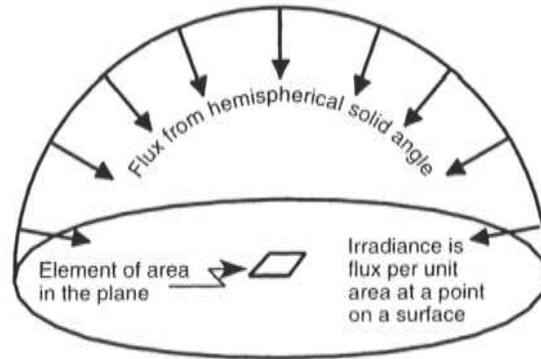
Flujo (potencia) radiante,  $\Phi$ : es el flujo de energía radiante por unidad de tiempo. Se mide en vatios (W, 1 W = 1 J/s).

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

No obstante, cuando la radiación incide en un dispositivo que produce una señal (voltaje u otra) proporcional a la radiación incidente, la magnitud importante es la “cantidad total de flujo” en vez del flujo por unidad de área, por lo que, en estos casos, resulta necesario especificar la extensión espacial del campo de radiación cuyo flujo se está considerando.

Irradiancia,  $E$ : es la densidad de flujo radiante por unidad de superficie que / incidente sobre / atraviesa / emerge / de un punto en la superficie especificada. Deben incluirse todas las direcciones comprendidas en el ángulo sólido hemiesférico por encima o por debajo del punto en la superficie. Se mide en W/m<sup>2</sup>.

$$E = \frac{d\Phi}{ds_o}$$



**Figura 3. La irradiancia se refiere al flujo radiante por unidad de área incidente en un punto de una superficie procedente de un ángulo sólido hemisférico. [2]**

La irradiancia saliente de una superficie se denomina “exitancia”,  $M$ , y tiene las mismas unidades y expresión para su definición. La exitancia también se ha denominado, en el pasado, emitancia, aunque este término se aplica en la actualidad como equivalente a la emisividad, propiedad de la superficie del elemento emisor.

La irradiancia es, por tanto, función de la posición específica del punto considerado sobre la superficie que, en general, debe indicarse. Cuando sea conocido o se pueda asumir que la irradiancia es constante en la zona considerada de la superficie, puede omitirse la especificación del punto considerado. La irradiancia es la magnitud más importante para caracterizar la incidencia o emisión de radiación por una superficie cuando no es necesario detallar la distribución angular o direccional de la radiación.

La intensidad radiante es una función de la dirección hacia / desde el punto para el cual se define, siendo necesario indicar explícitamente el punto y la dirección considerados. Para la mayoría de las fuentes luminosas reales es una función fuertemente dependiente de la dirección y es una magnitud muy útil para caracterizar fuentes puntuales o muy pequeñas comparadas con la distancia desde la fuente al observador o al detector.

Intensidad radiante espectral,  $I_\lambda$ : es el flujo radiante por unidad de ángulo sólido y por unidad de longitud de onda / incidente en / atravesando / emitido por / un punto en el espacio propagándose en una dirección específica. Se mide en  $W/(sr \cdot nm)$ .

Radiancia,  $L$ : es la densidad de flujo radiante por unidad de área y de ángulo sólido / incidente en / atravesando / emitido por / un elemento de superficie centrado en un punto en el espacio propagándose en una dirección específica. Se mide en  $W/(m^2 \cdot sr)$ .

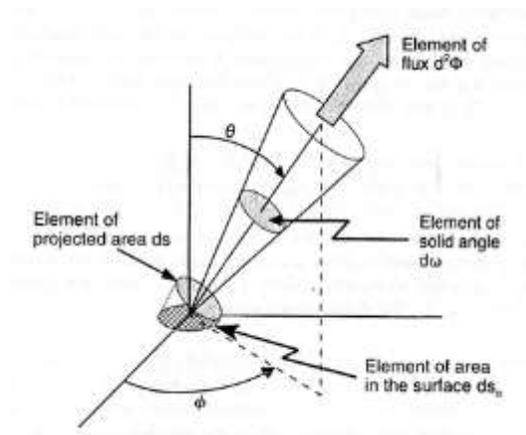


Figura 4. Radiancia. [2]

La radiancia se puede entender como la intensidad por unidad de área proyectada o como la irradiancia por unidad de ángulo sólido desde el área proyectada. La radiancia es una función de la posición y la dirección. Para la mayoría de las fuentes luminosas reales, esta función es fuertemente dependiente de la dirección, siendo la magnitud de uso más general para caracterizar la propagación de radiación por el espacio o a través de medios y materiales transparentes o semitransparentes.

El flujo radiante y la irradiancia pueden obtenerse a partir de la radiancia mediante el proceso matemático de integración sobre una superficie de área finita y/o sobre un ángulo sólido finito. Al ser la radiancia una función tanto de la posición sobre

una superficie definida como de la dirección considerada desde ella, es muy importante expresar con claridad la superficie considerada, el punto sobre la misma y la dirección desde ella.

**Tabla 3. Valores típicos de magnitudes radiométricas.**

Magnitud	Valor
Flujo radiante total de una bombilla incandescente de tungsteno, de 100 W	82 W
Flujo radiante de salida de un láser de He-Ne de media potencia	5 mW
Flujo radiante de una lámpara fluorescente de 40 W	23.2 W
Irradiancia solar fuera de la atmósfera, en posición media de la órbita terrestre	1367 W/m <sup>2</sup>
Irradiancia solar directa en la superficie de la tierra, a mediodía, en el sudeste de USA, en invierno, cielo claro	852 W/m <sup>2</sup>
Radiancia del sol en su superficie	$2.3 \cdot 10^7 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$
Radiancia aparente del sol desde la superficie de la tierra	$1.4 \cdot 10^7 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$

### **Emisores Lambertianos. [2]**

Cualquier superficie, real o imaginaria, cuya radiancia sea independiente de la dirección considerada se denomina emisor (o radiador) lambertiano puesto que verifica la Ley de Lambert del Coseno: la irradiancia (o exitancia) desde un elemento cualquiera de área sobre la superficie varía como el coseno del ángulo  $\theta$  entre la dirección considerada y la dirección de la normal a la superficie.

$$E(\theta) = E(0) \cos \theta$$

y la radiancia es, por tanto, independiente de la dirección en que se evalúa. Esta “ley del coseno” se puede considerar en varios sentidos:

- un emisor lambertiano puede entenderse como una “ventana” en un flujo radiante isotrópico
- si consideramos un haz uniforme y colimado incidente sobre una

superficie plana, la radiación se distribuye sobre la superficie (sobre la que incide) según el ángulo de incidencia: como se muestra en la figura, el rectángulo de longitud L y anchura W recibe el flujo radiante del haz de irradiancia  $E_o$  cuya dirección de incidencia forma un ángulo  $\theta$  con la normal a la superficie. Si calculamos la irradiancia media sobre la superficie, teniendo en cuenta que el flujo incidente es el mismo.

$$\Phi = \Phi_o \rightarrow E A = E_o A_o \rightarrow E = E_o \cos \theta$$

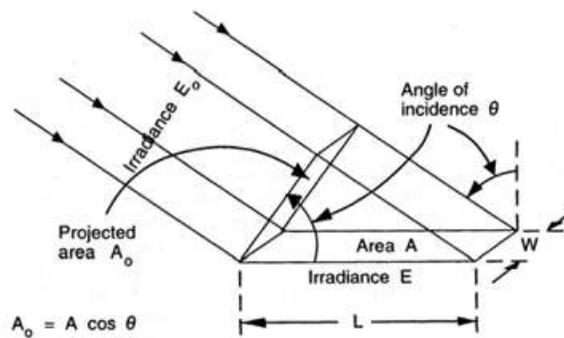


Figura 5. Geometría de un emisor lambertiano. [2]

Así, al aumentar el ángulo que el haz incidente forma con la normal a la superficie sobre la que incide, la irradiancia medida sobre la superficie disminuye en el factor coseno.

### Relaciones entre las magnitudes radiométricas fundamentales.

Es importante notar que mientras la radiancia ( $L$ ) describe la distribución angular de la radiación, la irradiancia ( $E$ ) suma todas las contribuciones angulares contenidas en el ángulo sólido considerado. Para un punto en la superficie considerada se tiene así que:

$$E = \int_{\Omega} L(\theta, \phi) \cos\theta d\omega$$

o, en forma diferencial, la irradiancia elemental  $dE$  por unidad de ángulo sólido  $d\omega$

$$dE = L \cos\theta d\omega$$

En la expresión anterior se aprecia claramente que si “no hay” ángulo sólido ( $\Omega=0$ ) entonces no está definida la irradiancia. Así, cuando se considera un haz colimado ideal, no tiene irradiancia definida, pero cuando se considera un haz colimado real (por ejemplo, emitido por un láser) siempre existe un cierto grado de divergencia angular, aún cuando puede ser muy pequeño, que implica la existencia de un cierto ángulo sólido y, por tanto, la existencia y validez de la definición de irradiancia del mismo. [2]

## VI. EL LED. [3]

El LED (Light Emitting Diode) o diodo emisor de luz es un componente electrónico no lineal capaz de conducir en una sola dirección, cuando la corriente lo atraviesa emite luz en forma de fotón gracias a su característica electroluminiscente en respuesta de esa corriente eléctrica. Tiene dos polaridades, un ánodo o parte negativa y un cátodo o parte positiva, a continuación, se muestra su simbología.

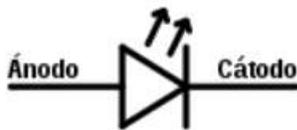


Figura 6. Simbología de un LED. [3]

Este diodo está formado por un chip semiconductor en estado sólido capaz de emitir luz que va desde los rayos infrarrojos a los ultravioletas, dentro del espectro electromagnético. Se considera como un tipo de iluminación en estado sólido ya que no contiene ningún tipo de gas o elemento tóxico a diferencia de otros tipos de iluminación como las lámparas fluorescentes, lámparas de vapor de sodio y de mercurio, incandescentes y los halogenuros metálicos.

En 1907, el experto en radiocomunicación Henry Joseph Round experimentó con un cristal de germanio y descubrió el fenómeno físico de la electroluminiscencia, creó el primero diodo semiconductor pero resultó ser muy costoso y sin una visión futura sobre él.

En 1921 Oleg Vladimmírovich Lósev fue la primera persona en desarrollar un LED y posteriormente, en 1962, el físico Nick Holonyak perfeccionó el modelo y fue el primer científico en desarrollar el primer LED de luz visible (rojo), su producción industrial y comercialización causó una gran revolución en el mundo

de la señalización.

Durante los años posteriores fueron muchos los científicos que dedicaron sus esfuerzos en el desarrollo de esta tecnología, se desarrollaron nuevos materiales semiconductores que propiciaron la creación de nuevos colores como el verde, el naranja y el amarillo, mejorando la eficiencia y el rendimiento del LED.

No fue hasta 1971 que Jacques Pankove descubrió el LED azul de baja potencia hasta que Shuji Nakamura, ingeniero de Nichia, desarrolló en 1993 el primer led azul de alto brillo (InGan) con unas prestaciones perfeccionadas y una gran eficiencia, este fue un punto de inflexión hacia la revolución de la iluminación, poniendo fin a la iluminación tradicional.

El problema de este led azul es que no acababa de iluminar, para ello es necesario el uso de luz blanca. En 1996 Lumileds desarrolla el primer led de luz blanca añadiendo una fosforo al led azul, finalmente en 2002 se empezó a comercializar con leds capaces de proporcionar más de 100 lúmenes, con opción de varios tonos de luz semejantes al blanco cálido y al blanco frío. Es aquí donde los leds comenzaron a competir con las fuentes de luz convencionales.

Por entonces aún se dudaba del reemplazamiento de la iluminación tradicional, hoy día con más de 160 lm/W el led sobrepasa en prestaciones a cualquier otra tecnología, aportando ahorro energético, gran calidad de color y versatilidad, además de no utilizar materiales peligrosos en su fabricación.

A continuación, se desarrollarán varios puntos donde se explica cuál es la física de funcionamiento del led y comprender así cómo éstos son capaces de emitir luz. Seguidamente se explicarán los parámetros más influyentes, los tipos de leds existentes en el mercado, su evolución y los métodos de producción de luz blanca.

## Física del LED.

Como ya se ha explicado el led está basado en la unión de semiconductores PN, se estudiará con más atención este fenómeno de generación de fotones y se verá cómo, según la composición química de los materiales semiconductores utilizados conseguimos un color determinado en la luz emitida.

## Semiconductores PN

Se dijo que el led es un diodo formado por la unión de semiconductores PN y emite luz cuando se polariza directamente. Un elemento semiconductor tiene la capacidad de comportarse como conductor o como aislante, dependiendo de varios factores como el campo eléctrico o magnético, la temperatura o la presión en el material.

El elemento semiconductor más empleado hoy en día es el silicio, en un cristal de silicio cada átomo está unido a sus vecinos mediante cuatro electrones formando enlaces covalentes, a bajas temperaturas estos electrones están enlazados a los átomos, pero cuando se incrementa la temperatura se produce una excitación térmica del electrón, dotando a alguno de ellos de más energía para poder escapar, quedando libres para conducir.

Los elementos químicos de la tabla periódica se ven en la tabla 4.

**Tabla 4. Grupo y electrones de valencia de los elementos semiconductores.**

Elemento	Grupo	Electrones en la última capa
Cd	12	2 e <sup>-</sup>
Al, Ga, B, In	13	3 e <sup>-</sup>
Si, C, Ge	14	4 e <sup>-</sup>
P, As, Sb	15	5 e <sup>-</sup>
Se, Te	16	6 e <sup>-</sup>

La unión PN es la unión de dos cristales dopados con impurezas, según la naturaleza de estas impurezas se encuentran los semiconductores tipo P (impurezas aceptadoras) y los de tipo N (impurezas donantes).

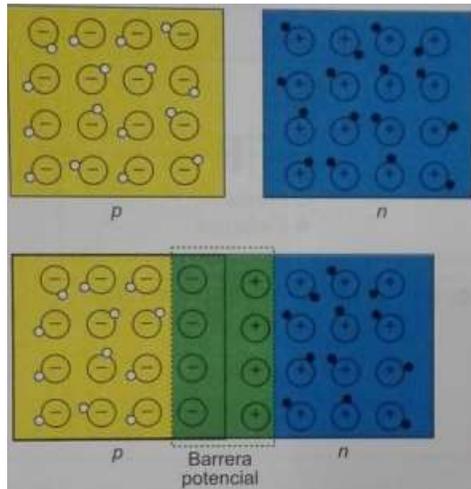
Los semiconductores de tipo P se forman sustituyendo algunos átomos del semiconductor en estado puro por átomos con menos electrones de valencia, con esto lo que se consigue es dotar al semiconductor de mayor número de huecos o cargas libres positivas.

El dopaje en los semiconductores tipo N se realiza añadiendo impurezas con más electrones en su capa de valencia que el semiconductor puro. De esta manera aumenta el número de electrones libres en el material, obteniendo así una polaridad negativa.

Entonces la unión PN es una estructura formada por la unión de cristales semiconductores con dopados distintos. Como ya se dijo un semiconductor P tiene una gran concentración de huecos mientras que un semiconductor N tiene una concentración de huecos mucho menor, por lo tanto, se producirá una difusión de huecos de P a N.

Del mismo modo habrá una difusión de electrones de la región N a la P, provocando que las impurezas de cada semiconductor queden a ambos lados de la unión y aparecerá una región en la parte central (zona de difusión) llena de cationes y aniones que darán lugar a un campo eléctrico.

Esto es lo que se denomina como recombinación electrón-hueco. Asociado a este campo eléctrico hay una diferencia de potencial (0.3-0.7 V aproximadamente) que actuará como barrera de las cargas móviles (impurezas) que anteriormente se situaron en los extremos. En este momento la unión PN deja de ser eléctricamente neutra, la zona P pasa a ser negativa ya que recoge los electrones de la región N y la zona N ahora tiene carga positiva ya que ha perdido sus electrones.



**Figura 7. Unión PN y polarización. [3]**

La peculiaridad de este fenómeno es que si se aplica una tensión lo suficientemente alta en los extremos del cristal, la barrera de potencial creada disminuye y se crea una corriente eléctrica a través del semiconductor, esta acción recibe el nombre de polarización.

La polarización será directa si se conecta el polo positivo de la fuente al cristal P y el polo negativo al cristal N ( $V_P > V_N$ ). Esta tensión aplicada lo que produce es que los cationes y aniones de la barrera de potencial se repelan, de manera que la barrera pierde energía y se facilita el salto de los electrones de N a P.

Por otro lado, cuando está en polarización inversa ( $V_P < V_N$ ) se produce un crecimiento de la barrera de potencial, haciendo aún más difícil el paso de electrones a través del cristal PN.

### **Emisión de la luz en el LED**

La emisión de luz de un led se debe al fenómeno físico de la recombinación. La unión de un electrón en un hueco produce una emisión de energía emitida en forma de luz, más intensa cuantas más cargas móviles se recombinen. Es aquí donde

aparece la teoría de bandas o de energía, formada por la banda de valencia, de conducción y prohibida.

En los semiconductores los electrones libres siempre tienen energías más altas que los que están enlazados en los átomos. Se denomina como banda de conducción al rango de energía de los electrones libres causantes de conducir la corriente eléctrica. Por otro lado, está la banda de valencia, ocupada por los electrones de valencia poseedores de energías más bajas. No puede haber electrones en el semiconductor con energía entre ambas bandas, aparece aquí el término de banda prohibida, dónde no pueden encontrarse los electrones.

Cuando un electrón libre se recombina en un hueco el electrón libera energía en forma de calor o como radiación electromagnética. Para hacer más eficaz el proceso de recombinación la unión PN se sustituye por una estructura formada por capas de distintos materiales (heteroestructura) con diferentes anchos de banda prohibida, esto produce un estrechamiento de la banda prohibida y la formación de una especie de pozos donde los electrones y los huecos quedarán atrapados.

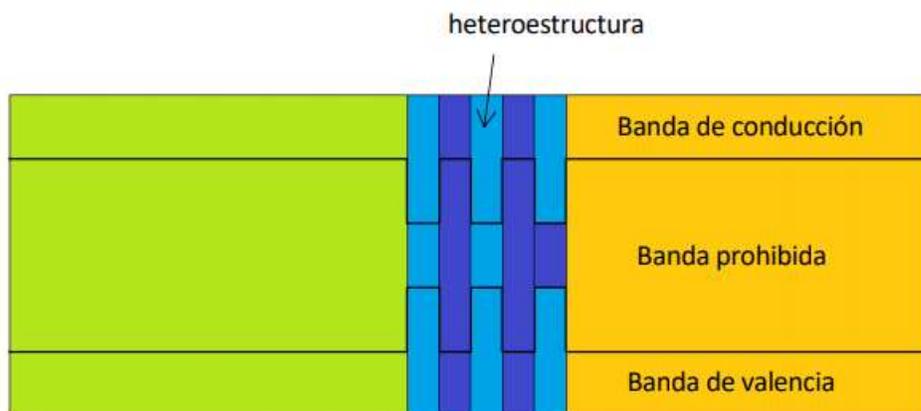


Figura 8. Representación de la heteroestructura en la unión PN y bandas. [3]

La tendencia del electrón a ocupar niveles de energía más bajos hará que éstos queden atrapados en las cavidades. El comportamiento de los huecos es el opuesto, lo que se consigue con este acercamiento es el aumento de la probabilidad de recombinación, consiguiendo una alta recombinación en la zona central y, a su vez, el aumento de la eficiencia energética dado que convierten en luz una mayor parte de la energía eléctrica.

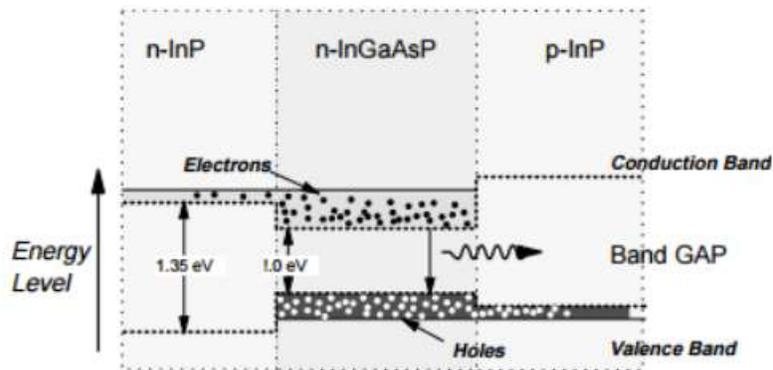


Figura 9. Flujo de electrones, huecos y flujo resultante de fotones.

Por lo tanto, la corriente de polarización directa consta de tres componentes, la corriente de difusión de electrones inyectados a través de la unión a la zona P ( $J_n$ ), la corriente de difusión de huecos a través de la unión a la zona N ( $J_p$ ) y la corriente de recombinación en la zona de potencial ( $J_r$ ) debida a la presencia de impurezas que permiten la existencia de niveles energéticos en la banda prohibida.

Pero esta producción de energía se puede producir de una manera espontánea o estimulada, la producción espontánea es el caso explicado, donde un electrón se eleva a un estado de alta energía produciendo cierta inestabilidad, el electrón regresa espontáneamente a un estado más estable, emitiendo un fotón al hacerlo.

La producción estimulada de luz tiene lugar cuando el electrón se encuentra en un estado alto de energía, antes de cambiar de estado espontáneamente otro fotón puede incidir sobre él, produciendo otro fotón idéntico.

Pero también se puede dar el caso contrario donde se absorbe el fotón produciendo un aumento de la energía en un electrón, por esta razón el led está diseñado de manera que los fotones se emiten desde la parte superior del diodo (región p), debido a que si lo hicieran desde la zona n habría una alta posibilidad de ser absorbidos por otro electrón antes de emerger, por eso es preferible que el flujo de inyección de electrones sea mucho mayor al de huecos de manera que la corriente pasa a estar dominada por los electrones ( $J_n \gg J_p$ ).

La relación entre estos flujos se llama eficiencia de la inyección y viene dada por la siguiente fórmula:

$$\eta_{iny} = \frac{J_n}{J_n + J_p + J_r}$$

Si durante el proceso de fabricación del led se utiliza un material de alta calidad en la zona de recombinación, el intervalo de energía prohibida será muy pequeño cosa que provocará que la corriente de recombinación también lo sea, llegando a eficiencias de inyección próximas a 1.

### **Energía de los fotones emitidos**

Cada fotón emitido tendrá asociada una energía que dependerá de la composición química de los materiales que forman la región intermedia del LED. Los fotones pueden tener una amplia gama de valores de energía, pero los que el ojo humano puede percibir están comprendidos solamente dentro del espectro de luz visible, es por eso que la selección de la combinación de materiales que forman la región central será un factor clave a la hora de determinar los colores a obtener, siendo el color rojo propio de energías más bajas y el color violeta para energías más altas.

El gran avance en la tecnología de la iluminación LED ha sido el descubrimiento de materiales capaces de producir luz azul de forma eficiente, la mayoría de los leds

usados en iluminación están compuestos por un led azul recubierto por una sustancia fosforescente, con la capacidad de absorber parte de la luz azul y reemitirla con longitudes de onda mayores, esta mezcla da como resultado luz blanca y es la responsable de la TTC, ésta puede tener un tono frío o cálido, dependiendo si predominan los fotones de mayor o menor energía respectivamente.

A continuación, se muestra una tabla con las combinaciones semiconductoras empleadas en los leds, junto los colores del espectro electromagnético emitidos.

**Tabla 5. Color de emisión, longitud de onda y energía de diferentes combinaciones semiconductoras**

Compuesto	Color	Long. De onda	Energía gap (eV)
GaAs	infrarrojo	870	1.42
GaAlAs	rojo e infrarrojo	800-900	1.38-1.55
AlInGaP	rojo y amarillo	700 y 580	1.77-2.13
GaAsP	rojo, naranja y amarillo	770, 600 y 590	1.61-2.1
GaP	rojo, amarillo y verde	750, 580 y 550	1.65-2.25
GaN	verde, azul y ultravioleta	570, 470 y 380	1.75-3.26
InGaN	verde y azul	550, 500, 470 y 450	2.25-2.75

Los espectros emitidos por estos compuestos semiconductores son de líneas, aunque en algún caso un compuesto determinado es capaz de emitir varios colores.

### Partes de un led

Se denomina led al conjunto de componentes donde se encuentra nuestra fuente de luz o el chip led propiamente dicho, a continuación, se muestra la figura 10, dónde se pueden apreciar cada uno de los componentes que lo forman.

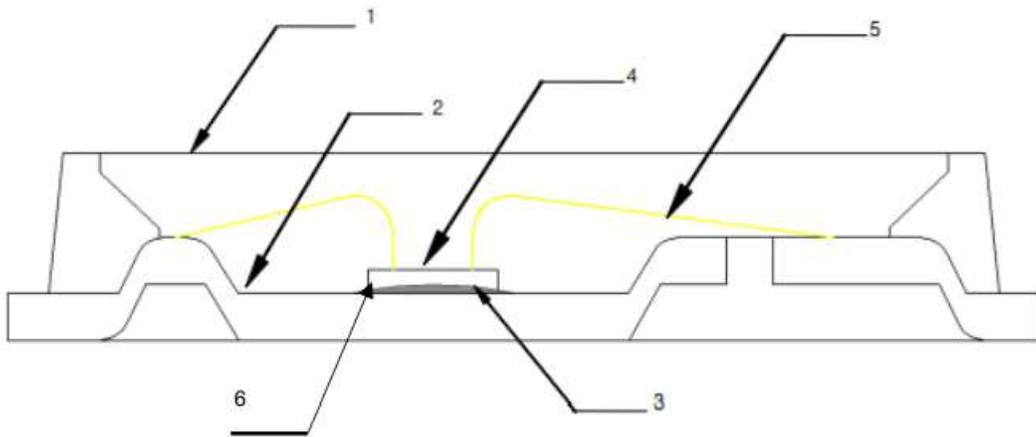


Figura 10. Partes de un encapsulado LED.

Tabla 6. Partes del LED correspondientes a la figura 10.

Nº	Parte	Descripción
1	Encapsulado	Carcasa envolvente del chip
2	Electrodo	Contactos de conexión
3	Adhesivo	Adhesivo para conducir la calor y fijación del chip
4	Chip LED	Fuente luminosa
5	Cable	Unión electrodo-chip
6	Sustrato	Base disipadora de calor y soporte

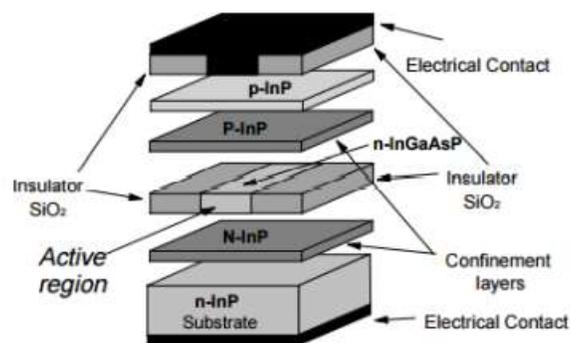


Figura 11. El chip LED.

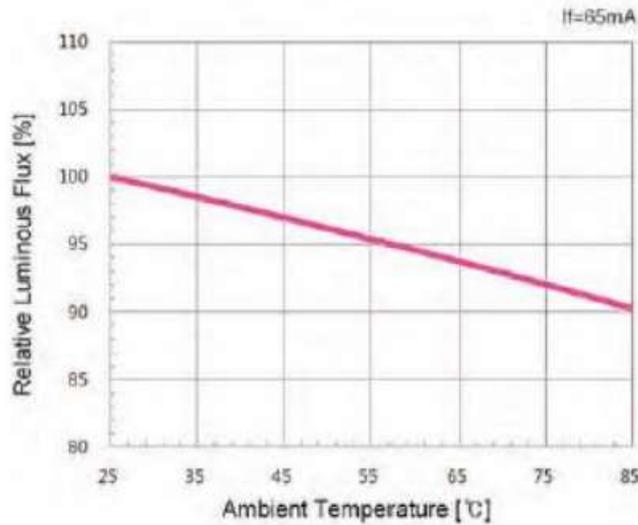
## **VII. Parámetros más influyentes en el LED**

Principalmente el LED es muy sensible a dos factores, estos son la temperatura y la corriente que circula por él. Si se mantiene un buen control de estos dos factores se conseguirán obtener las prestaciones deseadas del LED pero en cambio, si no se hace una buena gestión de temperatura o de corriente, el flujo luminoso y la vida útil se verán enormemente afectados.

### **Influencia de la Temperatura**

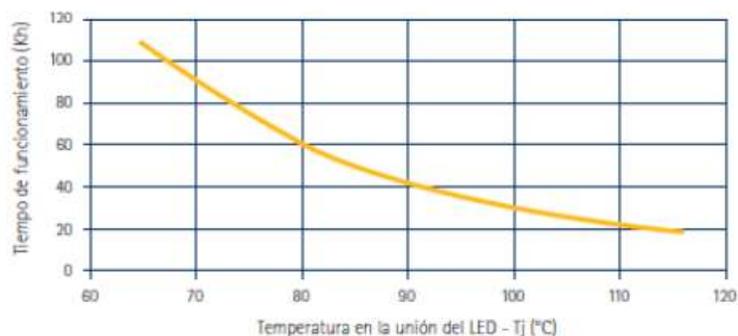
La temperatura es el parámetro más crítico a la hora de utilizar luminarias LED ya que tiene una gran influencia en su vida útil. Es lógico que el led se caliente como todo componente electrónico debido al paso de corriente a través de él pero si no se disipa bien el calor que éste genera, la luz emitida se irá degradando gradualmente hasta acortar rápidamente su vida. La temperatura de funcionamiento también depende de otro factor como la temperatura ambiente ya que ésta, si es muy elevada, incrementará más la temperatura de funcionamiento y no ayudará en el proceso de disipación. A más temperatura más degradación luminosa habrá.

Para asegurarse de que la disipación se produce de manera correcta es de vital importancia mantener una buena unión entre el diodo y la superficie de disipación, la temperatura en este punto la llamaremos temperatura de la unión ( $T_j$ ). Esta unión se mejora mediante el uso de grasas térmicas conductoras u otros materiales adhesivos (TIM) que facilitan esta disipación, si el área de disipación es insuficiente es normal el uso de disipadores



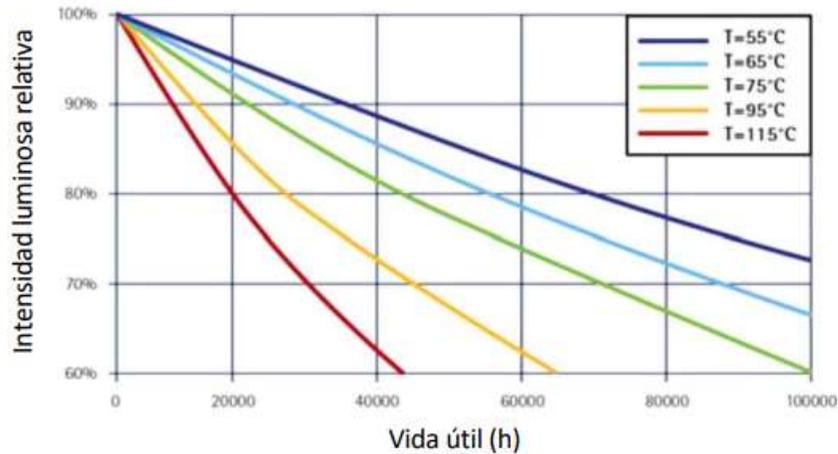
**Figura 12. Variación del flujo luminoso según la temperatura ambiente.**

En la figura 12 se ve que para un incremento de 25° en la temperatura de la unión se reduce la vida útil del LED de 50.000 a 20.000 horas.



**Figura 13. Influencia de la temperatura de unión en la vida útil.**

A pesar de conseguir un buen control de la temperatura en la luminaria, es prácticamente imposible eliminar la depreciación luminosa que sufren las fuentes LED durante su servicio, pero si no se gestiona correctamente la temperatura hará que esta depreciación incremente a un ritmo vertiginoso, se puede comprobar en la figura 14.



**Figura 14. Influencia de la temperatura en la intensidad y vida útil del LED.**

### **Influencia de la Intensidad.**

La intensidad es otro de los parámetros más influyentes en la vida útil del LED ya que está estrechamente relacionada con la temperatura, contra más corriente más temperatura y a su vez menos horas de vida. Por otro lado, la intensidad está relacionada con el voltaje, los diodos son componentes muy sensibles a las variaciones de corriente ya que trabajan a voltajes muy bajos por lo que cualquier pequeño incremento de corriente puede hacer sobrepasar el voltaje para el que el led está diseñado.

Normalmente cuando queremos que un LED emita más flujo luminoso se aumenta la intensidad ya que estos dos parámetros son directamente proporcionales. Es por esta razón que al jugar con la relación intensidad-lúmenes, algo muy habitual en la iluminación LED, hay que tener sumo cuidado de no sobrepasar los límites permitidos por el diodo, entorno a los 700 mA y tener en cuenta que al aumentar la intensidad, también se reducirá su vida útil.

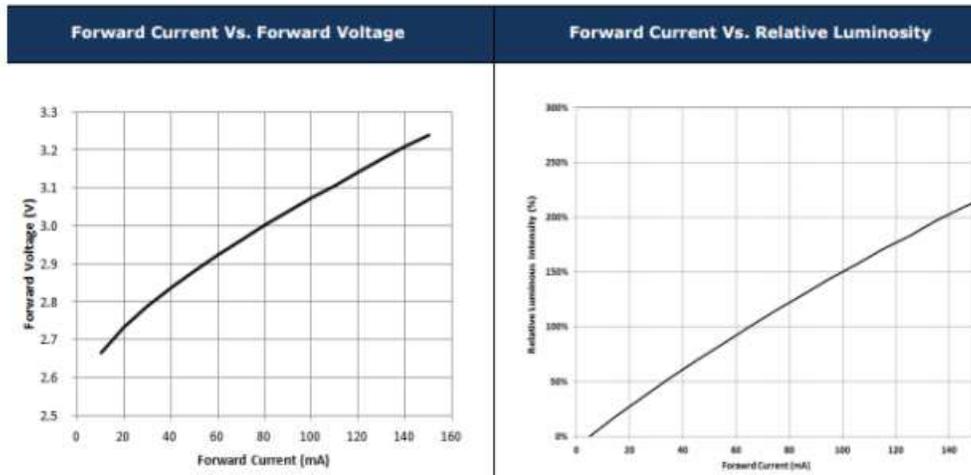


Figura 15. Influencia de la intensidad en el voltaje y en el flujo luminoso relativo.

## Vida útil del LED

La vida útil de una luminaria convencional se define como el porcentaje de falla completa para un porcentaje determinado de lámparas, pero se sabe que para la tecnología LED no es una definición práctica ya que aparece el fenómeno de depreciación luminosa. Entonces para definir el término de vida útil aparecen diferentes parámetros:

- Valor L: Este valor nos indica la disminución del flujo luminoso respecto a su valor inicial al cabo de un determinado tiempo.
- Valor B: El valor B se introdujo para representar las posibles variaciones del valor L, por lo tanto, este parámetro nos describe el porcentaje de módulos que no llegan a alcanzar el valor L especificado.
- Valor C: Es el porcentaje representativo del número de fallas, es decir cuando la lámpara led ya no emite luz.

-Valor F: El valor F representa la combinación de fallas, ya sea por fallo gradual (valor B) o por fallo total (valor C).

Por lo tanto, si ese encuentra una depreciación luminosa de L90F10 querrá decir que un 10% de los módulos fallarán o estarán por debajo del 90% del flujo luminoso inicial y tendrá asociado un valor determinado de horas.

La vida útil de una lámpara LED se define como el tiempo que dura el producto hasta que el flujo inicial alcanza una degradación del 30% por lo tanto la vida útil corresponde a un número determinado de horas para L70, dónde el número de horas normalmente está establecido en 50.000h.

## Evolución

En la tabla 7, están los parámetros más relevantes en cuanto a iluminación LED, es una tabla de valores solo para luces blancas cálidas y se observan las estimaciones que se hacen respecto a rendimientos y eficacias en puntos clave como la gestión térmica del chip, el driver y las luminarias. Se estima que se llegará a un total de 202 lm/W de eficacia para el conjunto total de la luminaria siendo este un dato increíble ya que se esperan rendimientos de hasta el 76%.

**Tabla 7. Evolución de los parámetros más característicos en iluminación LED.**

	2011	2013	2015	2020	Máximo esperado
Eficacia chip LED (lm/W)	97	129	162	224	266
Eficiencia térmica	86%	87%	88%	90%	90%
Eficiencia del driver	85%	87%	89%	92%	92%
Eficiencia de la luminaria	65%	66%	69%	76%	76%
Eficacia luminaria (lm/W)	61	85	112	170	202

## Tipologías de LED

Para montar el LED en la superficie de un circuito impreso o PCB existen dos tecnologías diferentes, la tecnología Chip on board (COB) y la tecnología Surface Mounted Device o montaje en superficie (SMD).

En los COB los chips LED, su hilo de unión, el fósforo y la lente primaria se montan sobre la placa de circuito impreso directamente, formando un único módulo. Al ser un ensamblaje de varios chips el COB abarca una gran área de emisión luminosa y niveles de flujos superiores al SMD.

Además, estos dispositivos usan un solo circuito con dos contactos para realizar la conexión de todos los chips y se requieren menos componentes para su funcionamiento, lo que provocará una generación menor de calor por parte de cada uno de los chips y a su vez una mejora de su intensidad lumínica.

Otra ventaja que presenta es la reducción de las fallas en el dispositivo debido a la reducción de los controladores para cada chip y la no necesidad de soldadura del chip ya que estos están directamente montados en el sustrato, cosa que permite una mayor durabilidad.



**Figura 16. Módulo LED de tipo COB**

En cambio, en los chips SMD los diferentes componentes son premontados en cápsulas individuales y es esta cápsula la que se suelda en la PCB como una única pieza. A diferencia de los COB se necesitará un circuito para cada uno de los chips

cosa que provoca un incremento del uso de dispositivos de control y, como consecuencia un aumento en la generación de calor que a su vez reducirá la eficiencia luminosa y un menor número de horas en servicio.



**Figura 17. Módulo LED del tipo SMD.**

### **Obtención de luz blanca**

En el uso del LED como fuente de iluminación no existe ningún material que pueda generar luz blanca directamente, para obtener luz blanca se recurre a la mezcla de varios colores y existen dos maneras de conseguirla, una mediante el uso simultáneo de varios LED RGB monocromáticos y la otra mediante la utilización de un chip azul recubierto de fósforo, llamado así por su color fluorescente.

### **Método RGB**

Para obtener luz blanca se recurre a la mezcla de luz emitida por un chip rojo, un chip verde y un chip azul cuya luz resultante es luz blanca. Es un método poco utilizado ya que es un sistema con una reproducción de la luz bastante pobre además de tener un precio elevado.

A pesar de que con una combinación de RGB son posibles todas las TTC, ofrecen la desventaja de tener un control de la luz bastante complejo porque cada uno de los colores tiene una dependencia de la temperatura distinta

## **Método del chip azul**

Este método emplea el uso de un chip azul con una capa de fósforo de un color determinado que recubre la superficie del chip. Este principio luminiscente es común tal y como se hizo con la iluminación fluorescente, se emplea un recubrimiento para modificar el color de luz emitida.

Si el color del fósforo es amarillo se obtienen TTC frías con una buena reproducción del color aproximadamente de 70. Si por el contrario se utilizan fósforos de color rojo o verde lo que se obtiene son luces cálidas con una mejor reproducción cromática igual o superior a 80 pero con un flujo luminoso ligeramente inferior.

Por lo tanto, el color del fósforo también influye en la eficiencia del LED, un material luminiscente amarillo tiene un rendimiento mayor que uno rojo, entonces, las luces con TTC más frías tendrán una mayor eficiencia que no las cálidas.

## **Elementos de Luminarias LED:**

- El Chip:

Es el corazón de una lámpara LED. Es una pieza de un material semiconductor (normalmente carburo de silicio) de unos 5 milímetros, capaz de generar luz cuando se le aplica corriente. Sobre esta base de carburo de silicio (o en ocasiones de zafiro) se depositan en forma de vapores diferentes materiales, cuya mezcla es la que da el color y la calidad de la luz. El chip se protege del exterior mediante una carcasa de cristal o policarbonato de alta resistencia. De la calidad de esta pequeña pieza dependerá la calidad y duración de nuestra lámpara. Por lo tanto, es muy importante comprobar que es de un fabricante con garantías. [4]

- Driver y Fuente de Alimentación:

Un LED no se puede conectar directamente a la corriente, sino que necesita de un equipo electrónico denominado Driver o Fuente de alimentación. Este componente, se ocupa de transformar la tensión que recibe de la red eléctrica adaptándola a las necesidades de la luminaria.

Para ello, un Driver transforma la corriente alterna en corriente continua, rebajando la intensidad de salida a miliamperios (que es lo que necesita un LED), sin desperdiciar energía, estabilizando la tensión y atenuando la generación de calor (la correcta disipación de calor, es primordial para un funcionamiento óptimo de los LED).

El Driver, por lo tanto, es esencial, ya que de él depende en gran medida el aprovechamiento real de la energía eléctrica consumida por un LED. Una fuente de alimentación apropiada influye en la eficiencia y la estabilidad de la luminaria. Además, optimizará la vida del LED

- Placa Base:

Es la placa de circuito impreso que soporta las conexiones de los componentes electrónicos. Según el sistema de evacuación del calor utilizado, puede componerse de distintas capas y materiales (principalmente aluminio y cobre además de otros materiales conductores).

- Sistema de Disipación de Calor:

Como ya hemos comentado anteriormente, es muy importante el sistema de disipación de calor para que la duración de la luminaria sea la prevista. [4]

Es importante indicar que los LED no emiten calor (podéis probar a tocar un LED y no os quemaréis), pero eso no significa que no lo generen.

El calor, a diferencia de las bombillas incandescentes, sale en la dirección contraria a la luz, lo que influye en la duración y el funcionamiento del LED. Por este motivo, es necesario extraer este calor, alargando la vida del chip.

- La Óptica:

Es el conjunto de lentes exteriores que determinan la distribución de la luz. Las lámparas basadas en tecnología Led, están sufriendo una rápida evolución. En la actualidad son una alternativa a las demás tecnologías por razón de coste, alcanzando valores de rendimientos de 90 lm/W, lo que ya las hace muy competitivas desde el punto de vista técnico.

Teniendo en cuenta que, a diferencia de otras luminarias convencionales, sólo una pequeñísima parte de la energía se desperdicia en forma de calor, se obtienen ahorros de energía que se pueden situar entre el 60% y el 80%.

Son de poco consumo, se consiguen niveles de iluminación similares a tecnologías que consumen muchos más. El ahorro es considerable. Como orientación, mostramos una tabla de equivalencia entre bombillas. Ver Tabla 8.

**Tabla 8. Equivalencia de Potencia.**

Bombilla Incandescente	Bombilla Fluorescente Compacta	Leds	Lúmenes
40 W	8-12 W	4-6 W	400-500
60 W	13-15 W	6,5-8 W	700-900
75-100W	18-22 W	9-11 W	1.100-1.750
100 W	23-30 W	11-15 W	1.800
150 W	30-55 W	15-25 W	2.750

- Ventajas de Instalar Led´s

- Un gran ahorro energético (60%-80%).
  - Una gran vida útil (hasta 50.000 horas) (\*). Una lámpara de bajo consumo está entre las 6.000-8000 horas.
  - Reducido mantenimiento.
  - Tiempo de encendido inapreciable (ms.). Una lámpara de bajo consumo, tarda varios segundos.
  - Nula carga inductiva en la red.
  - Sin parpadeo lumínico.
  - Posibilidad de regulación de intensidad de la luz con sistemas DMX.
  - Toda la graduación de temperaturas de color.
  - Reducimos la potencia instalada.
  - Reducimos consumo por energía reactiva.
- Ejemplo práctico de ahorro energético.

Se puede ver el ahorro que podemos obtener en un supermercado, sustituyendo 600 luminarias fluorescentes de 58 W por unidad, por lámparas LED de 20W. 10 Horas de funcionamiento durante 6 días a la semana. [4]

**Tabla 9. Potencia ahorrada.**

Iluminación Actual (Wat por cada punto de luz)	Wattios por Led	Wattios Ahorrados por punto de luz	Número de puntos de luz a sustituir	Wattios totales Ahorrados
58 W	20 W	38 W	600	22.800 W
(*)Podríamos revisar la potencia contratada para reducir el término de potencia				

**Tabla 10. Energía ahorrada anualmente.**

kiloWattios totales Ahorrados	Horas/día	Días de utilización /semana	Semanas de Consumo/año	kWh totales ahorrados/año
22,8 kW	10 horas	6 días	50	68.400 kWh
(*)Se reducirá la factura en consumo de energía reactiva (kVAr)				

## VIII. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

### Localización del proyecto

Almesa está inmersa en un proceso constante de mejora en el mercado internacional. Por ello, garantizan una respuesta rápida y personalizada a sus, contando con una excelente infraestructura y una amplia red de proveedores de servicio.

En el presente proyecto, tiene como propósito la implementación de infraestructura para servicios de iluminación basada en tecnología LED.



Figura 18. Vista aérea de ALMESA en Chinandega. Imagen tomada de Google Earth.

## Estudio Lumínico

El modelo matemático que se utiliza para el cálculo del flujo luminoso es:

$$\Phi_t = \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m}$$

Donde,

$E_m$  = nivel de iluminación medio

$\Phi_t$  = flujo luminoso que una determinada zona necesita

$S$  = área a iluminar

$C_u$  = coeficiente de utilización.

$C_m$  = coeficiente de mantenimiento.

Para el cálculo tendremos que:

$$E_m = 60 \text{ lum}$$

$$\Phi_t = ?$$

$$S = 2,282.88 \text{ m}^2$$

$$C_u = 0.98.$$

$$C_m = 0.96$$

Entonces:

$$\Phi_t = \frac{(60) \times (2,282.88)}{(0.98) \times (0.96)}$$

$$\Phi_t = \frac{136,972.8}{0.9406}$$

$$\Phi_t = 145,622.794$$

### **Cálculo del número de luminarias**

$$NL = \frac{\Phi_t}{n \cdot \Phi_L}$$

*NL: número de luminarias.*

*$\Phi_t$ : flujo luminoso que una determinada zona necesita.*

*$\Phi_L$ : flujo luminoso de una lámpara.*

*n: número de lámparas que tiene una luminaria.*

$$NL = \frac{145,622.794}{(2) * (10,400)}$$

$$NL = 7$$

Por tanto, se requieren 7 luminarias con doble lámpara. El modelo de lámpara tiene potencia de 80W y 10,400 lm. En la siguiente figura se muestra las especificaciones:

## Luminaria LED Alumbrado público HF-RL1037-2



LED CHIP COB

Numero de parte	HF-RL1037-B 80W
Potencia	80W
Voltaje	AC85-265V 50-60Hz
LED	Epistar COB
Lúmenes	10400 lm, 130lm/w
Protección	IP65
Temp. De trabajo	-40 °C; -50 °C
Fuente de alimentación	AC
Temperatura de color	Luz fría 6500k
Horas vidas	20,000 horas
Tamaño mm	720*280*90mm
Material	*Carcasa de aluminio *lente de vidrio
Angulo de haz °	120



\*\*fuente de alimentación de alta calidad, chip COB de 50 w/unids, que garantiza alta estabilidad y altos lúmenes y también reduce la tasa de muerte de los LED y funciona sin estroboscópico, respuesta rápida transitorio; una amplia gama de voltaje de funcionamiento.

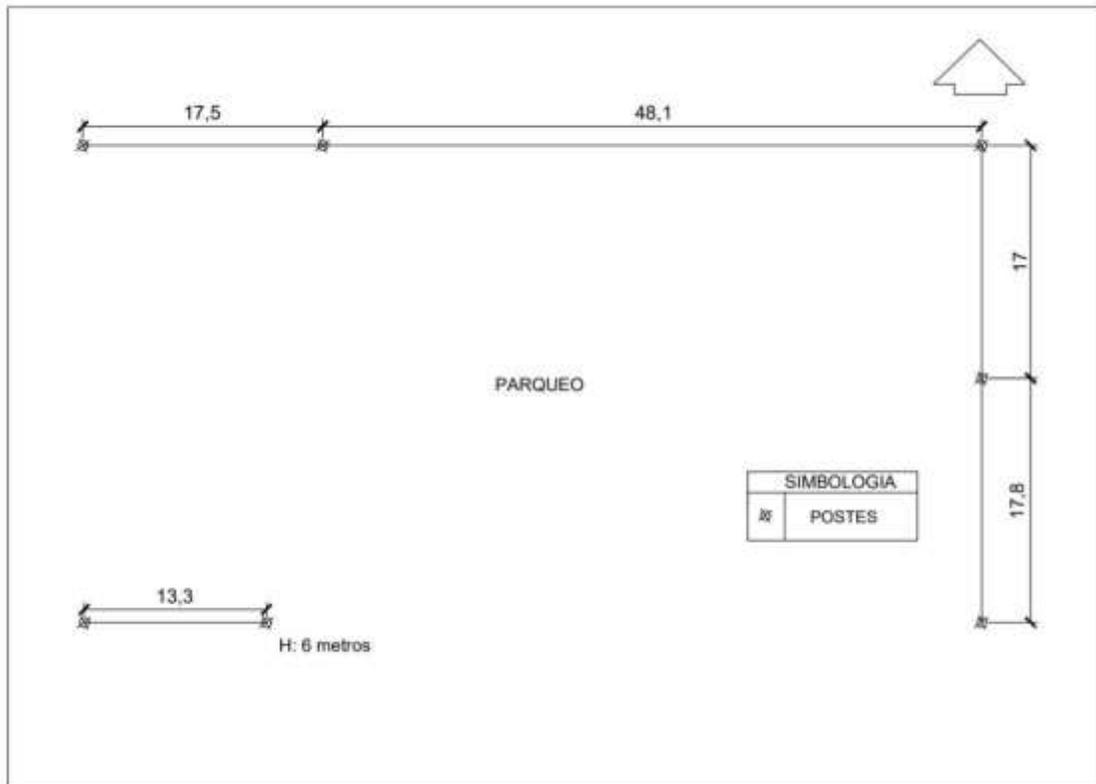


\*\*Diseño térmico interior, reduce el peso de la luz y garantiza una buena disipación del calor, menor decaimiento luminoso y también alarga la vida útil de los LED, reduce de forma efectiva el siguiente mantenimiento.

	IP20	IP54	IP65	IP67
Sólidos	Protección Sólidos hasta 12.5 mm	Protección total contra contacto y sedimento de polvo	Protección total contra contacto y polvo	Protección total contra contacto y polvo
Líquido	Sin Protección	Protección gotas dispersa	Protección contra chorros	Protegido al sumergirse en agua

CUBAS ELECTRICA S.A  
ROTONDA EL PERIODISTA 400 METROS AL SUR EDIFICIO EL AGUILA. Managua, Nicaragua

**Figura 20. Especificaciones del tipo de luminaria a utilizar.**

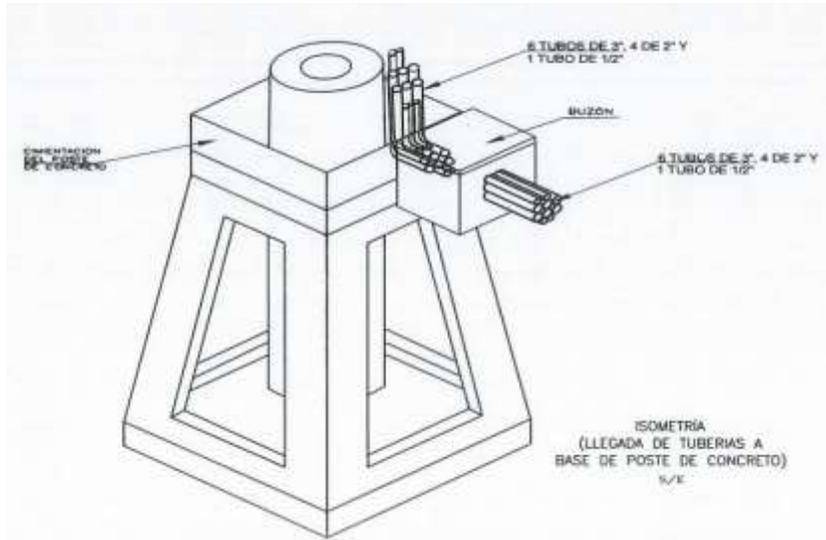


**Figura 19. Área de parqueo de ALMESA donde se ubicaron las luminarias.**

### **Distribución de postes**

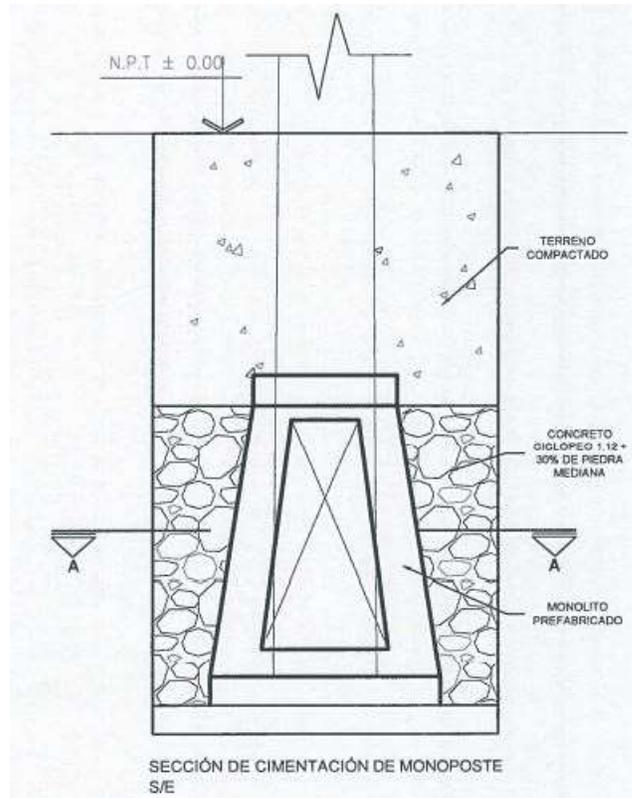
Los postes están elaborados por materiales resistentes a la intemperie, dichos postes no permiten la entrada del agua, debido a la lluvia. La cimentación, está en función de forma que resistan las acciones del viento.

Los trabajos de concreto armado y construcciones metálicas están dimensionados dentro de los parámetros establecidos para la instalación de luminarias para el parqueo de ALMESA CARGILL en Chinandega.



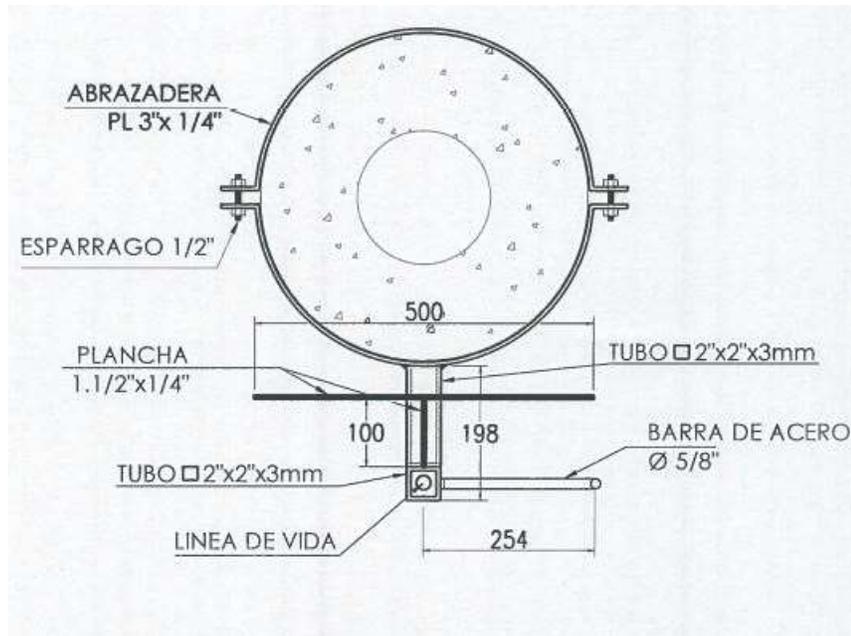
**Figura 20. Estructura base del poste**

A continuación, se muestra la sección de cimentación del poste.



**Figura 21. Sección de cimentación del poste.**

Además, se muestra el detalle de fijación de pasos a poste.



**Figura 22. Fijación de pasos a poste.**

Esta etapa del proyecto consiste en acondicionar un área para la instalación de 7 estructuras de 12 mts de altura expuestas a la intemperie. Por tanto, se cumplió con el siguiente alcance:

- Instalación de 7 postes de 12mts de altura con sus anclajes y pernería respectiva.
- Instalación de pastorales para luminarias a instalar.
- La luminaria está optimizada para montaje post-top en el poste y se fija con cuatro tornillos Allen.
- Remate superior poste pintando en gris
- Juego 4 pernos anclaje.

## IX. Estudio Económico

El costo del proyecto, es el siguiente:

Tabla 11. Costo del proyecto

Concepto	Costo
Suministro e instalación de 14 lámparas de LED de 180w 90-277V	C\$ 154,970.00
Suministro e instalación de 7 postes metálicos de 5" diámetro x 12 mts de altura se le soldaran varillas 3/8" de crucetas	C\$ 36,270.00
Suministro e instalación de 7 brazos metálicos tipo/ENEL de 8'x11/2" galvanizado para instalar luminarias LED.	C\$16,870.00
Instalación de 30 mts de acometida aérea de aluminio 3x6 para alimentación de lámparas LED del parqueo, incluyen accesorios de instalación para acometida, aisladores de carrete, estribos y retenidas para cable #6 de aluminio	C\$ 17,270.00
Costo de transporte de materiales, postes, lámparas y personal técnico	C\$ 27,370.00
<b>Total</b>	<b>C\$ 252,750.00</b>

### Viabilidad Económica del Proyecto

Es de suma importancia, determinar la viabilidad económica a partir del ahorro. Anteriormente se tenían 7 luminarias, con doble lámparas, con un total de 14 lámparas de mercurio que consumía 250w/h cada una de ellas.

En esta propuesta, se implementaron 7 luminarias, con doble lámparas, con un total de 14 lámparas de 80w/h, que además satisfacen técnicamente el nivel de iluminación en el área donde están alumbrando.

Se puede notar, el nivel de ahorro energético de un 68% en la tarifa de energía eléctrica. La tarifa eléctrica por kw/h para sector “Industrial Mayor” es de C\$ 5.8648, según datos presentando por el Instituto Nicaragüense de Energía. [6]

Por tanto, al realizar una comparación del consumo energético mensual del modelo lámpara anterior con respecto a la actual se tiene lo siguiente:

**Tabla 12. Comparación de consumo energético**

<b>Tipo de lámpara</b>	<b>P (w)</b>	<b>N° Lamp</b>	<b>P (w)</b>	<b>T (h)</b>	<b>Mes</b>	<b>kw/h</b>	<b>Tarifa por kw/h</b>	<b>Costo Total (C\$)</b>
Mercurio	250	14	3500	11	30	1155	5.8648	6773.844
LED	80	14	1120	11	30	369.6	5.8648	2167.63008

Se puede notar que, hay un ahorro mensual de C\$ 4,606.21. Para determinar la cantidad de meses que se recuperaría la inversión, se hace una relación de costo/beneficio.

$$T = \frac{252,750}{4,606.21} = 54 \text{ meses}$$

El tiempo de recuperación de la inversión es de 54 meses. La vida de cada lámpara es de 60 meses. Sin embargo, a pesar que solamente se tiene una ganancia de 6 meses. En el primer presupuesto, se consideró la infraestructura de los postes, lo que implica que cuando haya cambio de las luminarias, se incurrirá únicamente en el reemplazo de las mismas. Por esa razón, el proyecto tiene viabilidad técnica y económica.

## **X. Conclusiones**

Las investigaciones de carácter aplicado, juega un papel muy importante para la sociedad, debido a que todo tema de proyecto monográfico, debe estar en función de dar una solución a una problemática o necesidad en un determinado escenario.

Se puede decir, que se han cumplido con todos los objetivos propuesta en este proyecto, se realizó un estudio documental respecto a la tecnología LED para sistemas de iluminación a la intemperie, además se estableció una propuesta de número de luminarias a partir del área del parqueo, que requería iluminarse.

Se presentó el diseño de la distribución de luminarias en función de la cantidad de lumen de cada una de las lámparas. También, se hizo un estudio técnico de la infraestructura donde estarán ubicadas las luminarias, donde se presentan el estudio de cimentación que se requirió.

Se presentó un estudio económico donde se presenta el presupuesto del proyecto, además de la rentabilidad del mismo, se demostró que es viable económicamente y técnicamente el proyecto, ya que permite un ahorro de la tarifa de energía eléctrica de un 68%.

## BIGLIOGRAFÍA

[1] De la Peña, Luis. "La naturaleza de la luz". Revista Digital Universitaria, Vol 19. UNAM. México. 2018. Disponible en: [http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19\\_n3\\_a1-Luis-de-la-Pen%CC%83a.pdf](http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19_n3_a1-Luis-de-la-Pen%CC%83a.pdf)

[2] Gómez, Emilio. "Guía Básica de Conceptos de Radiometría y Fotometría". Universidad de Sevilla. España. 2006.

[3] Del Río, Iciar. "Diseño de una Luminaria LED". Universidad Politécnica de Cataluña. UPC. España. 2017.

[4] LED. Ahorro energético en iluminación. Disponible en: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/led-ahorro-energetico-en-iluminacion/>

[5] Conceptos Básicos Diseño de Iluminación Exterior. Universidad de Coimbra. 2017.

[6] Disponible en: [https://www.ine.gov.ni/DGE/tarifasdge/2021/05/baja\\_tension\\_1\\_mayo21.pdf](https://www.ine.gov.ni/DGE/tarifasdge/2021/05/baja_tension_1_mayo21.pdf)